

Energetska učinkovitost brodskih postrojenja

Vrkić, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:963186>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-24**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek

Brodstrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

Matija Vrkić

Energetska učinkovitost brodskih postrojenja

Završni rad

Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek
Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

Energetska učinkovitost brodskih postrojenja

Završni rad

Student/ica:

Matija Vrkić

Mentor/ica:

Prof. dr. sc. Jelena Čulin

Komentor/ica:

Mag. ing. nav. mech. Vlatko Knežević

Zadar, 2024.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Matija Vrkić**, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom **Energetska učinkovitost brodskih postrojenja** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 31. listopada 2023.

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Projektni indeks energetske učinkovitosti | 3 |
| 2.1 Postignuti EEDI | 4 |
| 2.2 Zahtijevani EEDI | 6 |
| 2.3 Implementacija EEDI-ja | 7 |
| 3. Indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova | 10 |
| 3.1 Mjerenje EEXI-a | 11 |
| 3.2 Primjer izračuna postignutog EEXI-a i usporedba sa zahtijevanim EEXI-jem | 12 |
| 3.3 Korisnost EEXI-a | 15 |
| 3.4 Poboljšanje EEXI-a broda | 15 |
| 4. Operativni indeks energetske učinkovitosti | 16 |
| 4.1 Svrha EEOI-a | 16 |
| 4.2 Razlika između EEDI-a i EEOI-a | 17 |
| 4.3 Mjerenje EEOI-a | 17 |
| 4.4 Korisnost EEOI-a | 18 |
| 5. Brodski plan upravljanja energetsom učinkovitošću | 21 |
| 5.1 Svrha SEEMP-a | 21 |
| 5.2 Okvir SEEMP-a | 22 |
| 5.3 Planiranje | 23 |
| 5.3.1 Mjere specifične za brod | 24 |
| 5.3.2 Mjere specifične za kompaniju | 24 |
| 5.3.3 Razvoj ljudskih resursa | 25 |
| 5.3.4 Postavljanje cilja | 25 |
| 5.4 Implementacija | 25 |
| 5.5 Praćenje | 26 |
| 5.6 Samoprocjena i poboljšanje | 27 |
| 6. Indikator intenziteta ugljika | 28 |
| 6.1 Ocjena CII-a | 28 |
| 6.2 Strategija za poboljšanje CII ocjene broda | 29 |
| 7. Zaključak | 30 |
| 8. Literatura | 31 |
| 9. Popis slika | 33 |
| 10. Popis tablica | 34 |

Sažetak

Energetska učinkovitost brodova postala je predmetom intenzivne pažnje i razvoja zbog sve veće svijesti o utjecaju pomorske industrije na okoliš. Pomorstvo je odgovorno za značajan udio globalnih emisija stakleničkih plinova, što izravno doprinosi klimatskim promjenama i globalnom zatopljenju. S obzirom na to da pomorski transport igra ključnu ulogu u globalnoj trgovini, poboljšanje energetske učinkovitosti brodova smatra se vitalnim za smanjenje ovog utjecaja. Ovaj rad prikazuje instrumente koje je uvela Međunarodna pomorska organizacija s ciljem smanjenja onečišćenja i povećanja učinkovitosti brodskih postrojenja. U radu su opisani Projektni indeks energetske učinkovitosti (EEDI) i Indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova (EEXI). Također se razmatra Brodski plan upravljanja energetsom učinkovitošću (SEEMP), Operativni indeks energetske učinkovitosti (EEOI) i Indikator intenziteta ugljika (CII). Ove mjere su ključne u stremljenju da se poboljša energetska učinkovitost i smanji ekološki otisak pomorskog sektora.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, Međunarodna pomorska organizacija, Projektni indeks energetske učinkovitosti, Indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova, Brodski plan upravljanja energetsom učinkovitošću, Operativni indeks energetske učinkovitosti, Indikator intenziteta ugljika.

Energy Efficiency of Ship Installations

Summary

Ship energy efficiency has become a subject of intense attention and development due to the growing awareness of the maritime industry's impact on the environment. Shipping is responsible for a significant share of global greenhouse gas emissions, which directly contributes to climate change and global warming. Given that maritime transport plays a crucial role in global trade, improving the energy efficiency of ships is considered vital to reducing this impact. This paper presents the instruments introduced by the International Maritime Organization with the aim of reducing pollution and increasing the efficiency of ship installations. The paper describes the Energy Efficiency Design Index (EEDI) and the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). It also considers the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), and the Carbon Intensity Indicator (CII). These measures are crucial in the effort to improve energy efficiency and reduce the ecological footprint of the maritime sector.

Keywords: energy efficiency, International Maritime Organisation, Energy Efficiency Design Index, Energy Efficiency Existing Ship Index, Energy Efficiency Management Plan, Energy Efficiency Operational Indicator, Carbon Intensity Indicator.

1. Uvod

Svante Arrhenius, švedski znanstvenik i pionir u području fizikalne kemije, postigao je značajne spoznaje u vezi s klimatskim promjenama, posebno u kontekstu uzroka ledenih doba. Njegova istraživanja, koja su se razvila iz debata o uzrocima ledenih doba, vodila su ga do dubljeg razumijevanja uloge ugljikovog dioksida (CO₂) i njegovog utjecaja na globalnu klimu. Arrhenius je u svojim radovima istraživao povezanost između klimatskih promjena i geoloških razdoblja, posebno ledenih doba, te je radio na odgovorima na pitanja vezana uz te prirodne fenomene. Kroz svoje istraživanje, on je postao jedan od ključnih članova znanstvene zajednice koji su se bavili ovom tematikom. Jedan od ključnih zaključaka njegovog rada bio je da sagorijevanje fosilnih goriva i oslobađanje CO₂ iz morske vode mogu imati značajne posljedice na klimatske promjene.

Globalno zatopljenje predstavlja spor i postepen proces čije posljedice mogu biti dugotrajne i katastrofalne. Povećanje temperatura može uzrokovati porast razine mora, smanjenje uspješnosti usjeva te promjene u biljnim i životinjskim populacijama. [1,2]

U današnjem kontekstu, postizanje visoke energetske učinkovitosti postalo je iznimno važno jer potrošnja energije znatno doprinosi globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Jedan od najvećih izvora ekološkog rizika su emisije stakleničkih plinova (eng. *greenhouse gasses*, GHG), posebice CO₂. Najčešći izvor CO₂ su reakcije sagorijevanja, a većina suvremenih transportnih sustava koristi motore s unutarnjim izgaranjem, uključujući i pomorski sektor. Pomorski sektor u globalnoj ekonomiji je jedan od najefikasnijih načina prijevoza s obzirom na potrošnju energije. Međutim, s druge strane, pomorski promet je također značajan izvor emisija stakleničkih plinova. Pomorski sektor čini oko 78 % globalne trgovine, dok emisije iz ovog sektora doprinose s približno 2,4 % globalnih GHG emisija u međunarodnoj trgovini. Ako se ne poduzmu mjere, očekuje se da će emisije iz ovog sektora nastaviti rasti, povećavajući se od 50 % do čak 250 % u razdoblju od 2012. do 2050. godine. [2]

Odbor za zaštitu morskog okoliša (eng. *Marine Environment Protection Committee*, MEPC) je unaprijedio Prilog VI Međunarodne konvencije o sprečavanju onečišćenja mora s brodova (eng. *The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*, MARPOL) dodavanjem 4. poglavlja 2011. godine.

Cilj poglavlja 4 bio je unapređenje energetske učinkovitosti brodova postavljanjem standarda za tehničke performanse. Ovi standardi su dizajnirani da smanje emisije štetnih tvari koje nastaju sagorijevanjem brodskog goriva, uključujući i one emisije koje su već regulirane postojećim odredbama Priloga VI. Strategija IMO-a je da do 2050. godine smanji emisiju CO₂ za 50 % (slika 1) u usporedbi s 2008. godinom. Kako bi postigli cilj, IMO je implementirao Projektni indeks energetske učinkovitosti (EEDI), Brodski plan za upravljanje energetskom učinkovitošću (SEEMP). Ako brod ima SEEMP i udovoljava zahtjevima EEDI-a, tad se brodu izdaje Međunarodna svjedodžba energetske učinkovitosti (eng. *International Energy Efficiency Certificate*, IEEC) od strane administracije ili bilo koje ovlaštene organizacije. [3]

Od 2011. Prilog VI je dopunjen novim mjerama za unapređenje energetske učinkovitosti i smanjenje emisija u pomorskom sektoru. Među tim mjerama ističu se Indeks intenziteta ugljika, Indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova koji je stupio na snagu 2023. godine i Operativni indeks energetske učinkovitosti koji je IMO predložio da se koristi na dobrovoljnoj osnovi.

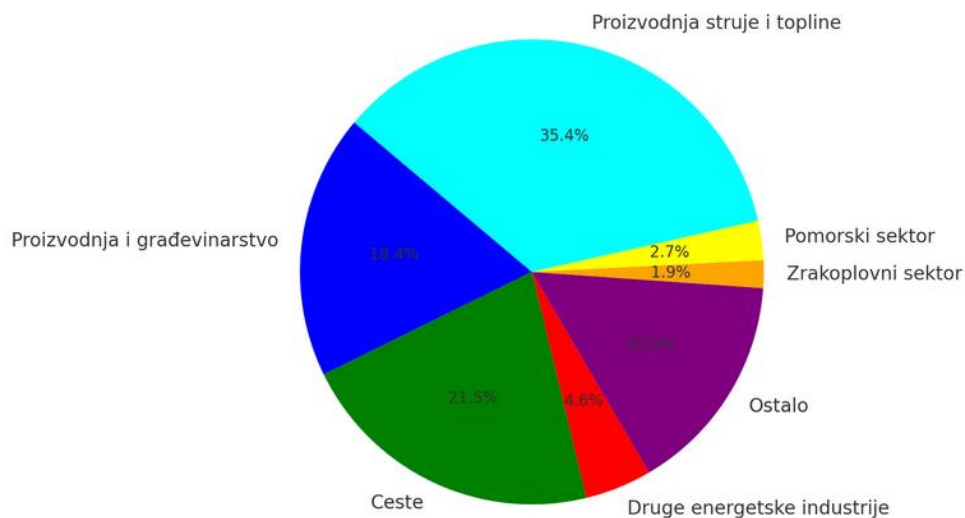
Usvajanje novih mjera temelji se na prethodno usvojenim obaveznim mjerama energetske učinkovitosti IMO-a. [4]



Slika 1. Plan za poboljšanje učinkovitosti brodova od 2013. godine do 2050. godine. [4]

2. Projektni indeks energetske učinkovitosti

Projektni indeks energetske učinkovitosti (eng. *Energy Efficiency Design Index*, EEDI) je jedan od bitnijih alata korišten za mjerenje energetske učinkovitosti novih brodova. Izražava količinu emisije CO₂ po toni prijeđenog puta s teretom, izračunatu pod specifičnim operativnim uvjetima za referentni brod. Glavna funkcija projektnog indeksa je promoviranje korištenja energetski učinkovitije opreme i strojeva na novoizgrađenim brodovima, jer je pomorska industrija odgovorna za 2-3 % globalne emisije stakleničkih plinova (slika 2). EEDI je prvi put uveden od strane IMO-a 2011. godine kao dio Priloga VI MARPOL-a i stupio na snagu 2013. godine. Postignuti EEDI i zahtijevani EEDI su dva ključna pokazatelja za energetska učinkovitost brodova. Postignuti EEDI predstavlja stvarnu energetska učinkovitost novog broda kako je izračunata prema specifikacijama i karakteristikama samog broda. Zahtijevani EEDI je standard ili ciljna vrijednost. Zahtijevani EEDI varira ovisno o tipu i veličini broda te postavlja granicu koju novi brodovi moraju zadovoljiti ili premašiti. [3]



Slika 2. Globalna emisija CO₂ po sektorima. [5]

2.1 Postignuti EEDI

Postignuti EEDI je mjera koja izračunava energetska učinkovitost novog dizajna broda, označava stvarni EEDI broda nakon izgradnje i testiranja. Osim postignutog EEDI-a imamo i zahtijevani EEDI. Zahtijevani EEDI je vrijednost koja se mora dobiti, točnije ispuniti kako bi se brod smatrao energetska učinkovitim prema propisima IMO-a, zahtijevani EEDI ovisi o vrsti i veličini broda kao i njegovoj namjeni. Zahtijevani EEDI je postavljen kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova. Nakon izračuna postignutog EEDI-a, rezultat uspoređujemo sa zahtijevanim EEDI-om, te ako smo dobili da je postignuti niži od zahtijevanog, to ukazuje da je brod energetska učinkovit prema propisima IMO-a. Ako se zahtjevi EEDI-a ispunjavaju (uključujući i zahtjeve SEEMP-a), brodu se izdaje IEEC. Postignuti EEDI predstavlja osnovni izračun energetske učinkovitosti broda, koji se definira kao omjer emisije CO₂ i gospodarskog učinka broda. Jednadžba za postignuti EEDI se sastoji od doprinosa glavnog pogonskog stroja, pomoćnih strojeva, inovativnih uređaja za proizvodnju električne energije na brodu, inovativnih tehnologija koje osiguravaju mehaničku snagu za pogon broda, te nosivosti broda i brzine broda koji zajedno daju vrijednost transportnog rada. Postignuti EEDI se računa jednadžbom:

$$\begin{aligned}
 EEDI[g - CO_2/tona \times nautička\ milja] = & \\
 & \frac{(\prod_{j=1}^M f_j)(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} + SFC_{AE})}{f_i \times f_C \times f_l \times kapacitet \times f_w \times V_{ref}} \\
 & + \frac{\{(\prod_{j=1}^M f_j \times \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \times P_{AE_{eff(i)}}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}\}}{f_i \times f_C \times f_l \times kapacitet \times f_w \times V_{ref}} \\
 & - \frac{(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \times P_{eff(i)} \times C_{FME} \times SFC_{ME})}{f_i \times f_C \times f_l \times kapacitet \times f_w \times V_{ref}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

gdje su:

P_{ME} : 75 % od P_{MCR} (maksimalne kontinuirane snage) instaliranih glavnih motora, umanjeno za snagu generatora na vratilu, izraženo u kilovatima

P_{AE} : snaga pomoćnih motora koja je isključivo za zadovoljavanje energetska zahtjeva sustava pogona i potreba smještaja tijekom normalnog stanja plovidbe, izražena u kilovatima

P_{PTI} : 75 % nominalne snage instaliranih vratilnih motora, podijeljeno s prosječnim stupnjem korisnosti dizel-električnih agregata, izraženo u kilovatima

P_{eff} : doprinos inovativnih energetska učinkoviti mehaničkih tehnologija pri 75 % P_{MCR} glavnog motora, izražen u kilovatima

P_{AEff} : tehnologije koje proizvode električnu energiju te doprinose smanjenju snage pomoćnih motora, izražen u kilovatima

Cf : koeficijent pretvorbe između potrošnje goriva i emisije CO₂, kg CO₂/kg goriva

SFC : specifična potrošnja goriva (g/kWh)

V_{ref} : brzina broda

f_i : faktor smanjene nosivosti koji proizlazi iz tehničkih ili regulatornih ograničenja

f_j : korekcijski faktor koji se primjenjuje zbog specifičnih konstrukcijskih karakteristika broda

f_c : korekcijski faktor za umanjenu zapreminu

f_l : faktor smanjene nosivosti zbog opreme za teret

f_w : faktor stanja mora

f_{eff} : faktor dostupnosti inovativnih energetski efikasnih tehnologija

kapacitet: DWT ili nosivost broda (eng. *deadweight tonnage*) se koristi za brodove za sipki teret, tankere, brodove za ukapljene plinove, ro-ro teretne brodove, ro-ro putničke brodove, brodove za opći teret, brodove za rashlađeni teret i brodove za mješoviti teret, GT ili bruto tonaža (eng. *gross tonnage*) primjenjuje se na putničke brodove. [3]

Jednadžba (1) se ne može koristiti za dizel-električni pogon, turbinski pogon i hibridne pogone. Kad se izračuna postignuti EEDI, tad se postignuti EEDI uspoređuje sa zahtijevanim EEDI-jem. Zahtijevani EEDI ovisi o vrsti broda, te o veličini i namjeni broda. Ako je postignuti EEDI manji od zahtijevanog EEDI-a to ukazuje na to da brod udovoljava energetskim standardima IMO-a. Ako je postignuti EEDI veći od zahtijevanog EEDI-a, tad brod ne udovoljava energetskim standardima. [3]

2.2 Zahtijevani EEDI

Zahtijevani EEDI predstavlja regulatorni standard koji definira maksimalnu dopuštenu razinu emisije CO₂ za novogradnje brodova. Ovaj standard je uspostavljen kako bi se potaknulo projektiranje i izgradnja energetske učinkovitijih brodova.

Izračunavanje zahtijevanog EEDI za pojedini brod temelji se na referentnoj vrijednosti EEDI-a (eng. *EEDI reference line value*) i faktoru smanjenja (eng. *reduction factor*) x . Jednadžba za zahtijevani EEDI glasi: [3]

$$\text{zahtijevani EEDI} = \left(1 - \frac{x}{100}\right) \times \text{referentna vrijednost EEDI} \quad (2)$$

Faktor smanjenja x , u jednadžbi (2), označava postotak smanjenja referentne vrijednosti EEDI-a u specifičnom vremenskom razdoblju. Faktor smanjenja ovisi o tipu i veličini broda.

Referentna vrijednost EEDI-a određuje se pomoću jednadžbe :

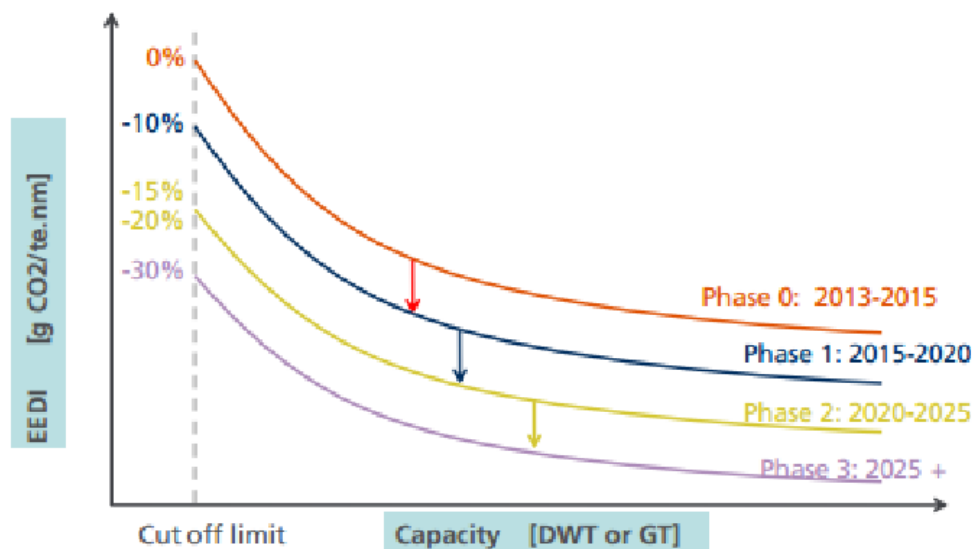
$$\text{referentna vrijednost EEDI} = a \times b^{-c} \quad (3)$$

Jednadžba (3) je metoda za stvaranje standardne vrijednosti koja se može koristiti za usporedbu energetske učinkovitosti različitih brodova unutar iste kategorije. Parametri a i c su ključni za prilagodbu referentne vrijednosti EEDI-a specifičnim karakteristikama različitih tipova brodova. Parametar b se odnosi na veličinu broda. [3,6]

2.3 Implementacija EEDI-ja

EEDI je usvojen 2011. godine, a stupio je na snagu 2013. godine. Provodi se kao obavezna mjera za sve nove brodove, bez obzira na zastavu, vrstu i veličinu broda. Standard ili osnovna linija je prosječna učinkovitost brodova izgrađenih između 1999. i 2009. godine i postavlja maksimalnu dopuštenu količinu CO₂ po tipu i veličini broda za obavljanje jedinice transportnog rada. Zahtjevi variraju ovisno o vrsti broda, veličini, kao i godini izgradnje ili preinake. Kako bi se poticali bolji, učinkovitiji dizajni, EEDI je implementiran u fazama (slika 3). Os x predstavlja kapacitet broda, koji može biti izražen kroz nosivost (eng. *deadweight tonnage*, DWT) ili bruto tonažu (eng. *gross tonnage*, GT). Os y prikazuje EEDI koji je pokazatelj energetske učinkovitosti broda. Os y ide u negativnom smjeru kako bi pokazala postotak smanjenja EEDI u usporedbi s referentnom linijom ili baznom linijom, što je početna točka za mjerenje poboljšanja. Vrijednosti na osi y kreću se od 0 % do -30 %, što znači da što je broj niži, energetska učinkovitost broda je veća.

Slika 3 prikazuje kako se sa svakom novom fazom (označenom različitim bojama) očekuje veće smanjenje EEDI, što implicira strožije standarde energetske učinkovitosti za brodove. Faze su raspoređene kronološki, počevši od faze 0 (2013.-2015.), preko faze 1 (2015.-2020.) i faze 2 (2020.-2025.), do faze 3 koja počinje 2025. godine i nadalje. [7]



Slika 3. EEDI faze. [8]

Faze za novoizgrađene brodove:

1. Faza 0

Brodovi izgrađeni između 2013.-2015. Ova faza predstavlja referentnu točku ili „baznu liniju“ od koje se mjeri poboljšanje energetske učinkovitosti. U fazi 0 nije bilo obaveznih zahtjeva za smanjenje, ali služi kao usporedna osnova za kasnije faze.

2. Faza 1

U fazi 1, EEDI je zahtijevao od brodova da postignu smanjenje intenziteta CO₂ za 10 % u usporedbi s baznim nivoom. Cilj faze 1 bio je potaknuti brodatelje i graditelje brodova da počnu primjenjivati energetske učinkovitije tehnologije. Faza 1 se primjenjivala na sve nove brodove, potičući industriju na razvoj i primjenu tehnologija koje smanjuju emisiju CO₂.

3. Faza 2

U fazi 2, EEDI zahtijeva povećanje učinkovitosti, postavljajući cilj smanjenja intenziteta CO₂ za 20 %. To znači da brodovi trebaju biti 20 % energetski učinkovitiji u odnosu na bazni nivo. Faza 2 je podrazumijevala daljnje inovacije i unapređenja u dizajnu brodova i njihovim operativnim procedurama.

4. Faza 3

Faza 3 zahtijeva još ambicioznije smanjenje emisije CO₂, gdje svi brodovi moraju postići najmanje 30 % smanjenje intenziteta CO₂. Za neke tipove brodova, cilj je čak 50 % smanjenje. Ova faza je ključna za postizanje dugoročnih ciljeva IMO-a u smanjenju emisija stakleničkih plinova u pomorstvu. Podrazumijeva primjenu naprednijih tehnologija i možda čak i radikalne promjene u načinu konstrukcije i operacija brodova.

Za faze EEDI-a također ovisi nosivost broda i tip broda u pitanju (tablica 1). Faze pomažu u usmjeravanju industrije prema dizajniranju i izgradnji energetski učinkovitijih brodova, što će rezultirati smanjenjem ukupnih emisija GHG iz pomorskog sektora. [7]

Tablica 1. Faze implementacije zahtjeva EEDI-a za različite tipove brodova na temelju njihove nosivosti i perioda. [9]

| Tip broda | Nosivost (DWT) | Faza 0 2013-2014 | Faza 1 2015-2019 | Faza 2 2020-2022 | Faza 2 2020- 2024 | Faza 3 2022 i kasnije | Faza 3 2025 i kasnije |
|---------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Brod za rasuti teret | 20000 i više | 0 | 10 | | | | 30 |
| | 10000-20000 | N/P | 0-10* | | 0-20* | | 0-30* |
| Tanker | 20000 i više | 0 | 10 | | 20 | | 30 |
| | 4000-20000 | N/P | 0-10* | | 0-20* | | 0-30* |
| Brod za opći teret | 15000 i više | 0 | 10 | 15 | | 30 | |
| | 3000-15000 | N/P | 0-10* | 0-15* | | 0-30* | |
| Tanker za ukapljeni prirodni plin *** | 10000 i više | N/P | 10** | 20 | | 30 | |
| Ro-ro teretni brod*** | 2000 i više | N/P | 5** | | 20 | | 30 |
| | 1000-2000 | N/P | 0-5*** | | 0-20* | | 0-30* |
| Ro-ro putnički brod | 1000 i više | N/P | 5** | | 20 | | 30 |
| | 250-1000 | N/P | 0-5*** | | 0-20* | | 0-30* |

Koeficijent smanjenja se linearno interpolira između dvije vrijednosti u ovisnosti o nosivosti broda.

N/P – zahtijevani EEDI nije primjenjiv

* - ** Faza 1 počela je 1. rujna 2015.

*** Koeficijent smanjenja se primjenjuje na brodove isporučene 1. rujna 2019. ili kasnije.

3. Indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova

Indeks energetske učinkovitosti postojećih brodova (eng. *Energy Efficiency Existing Ship Index*, EEXI) je standard koji je uveden u studenom 2020. godine kako bi se osiguralo da postojeći brodovi, bez obzira na godinu izgradnje, zadovoljavaju određene zahtjeve u pogledu energetske učinkovitosti. EEXI je postao operativan 1. siječnja 2023. godine za brodove 400 bruto tonaže i teže. EEXI je sličan EEDI-u koji se odnosi na nove brodove, dok se EEXI odnosi na postojeće brodove. Razlike između EEXI-a i EEDI-a proizlaze prvenstveno iz njihovih različitih svrha. EEXI i EEDI su slični po svojoj osnovnoj jednadžbi i cilju smanjenja emisija CO₂, ali se razlikuju u načinu na koji se primjenjuju i tumače u kontekstu energetske učinkovitosti brodova. EEDI je usmjeren na novogradnje, te se koristi za procjenu energetske učinkovitosti broda u fazi dizajna, prije nego što brod započne operativnu službu. Cilj EEDI-a je potaknuti proizvođače brodova da integriraju energetske učinkovitije tehnologije i dizajne već u ranoj fazi izgradnje broda. S druge strane, EEXI se primjenjuje na postojeće brodove. EEXI ocjenjuje energetske učinkovitost brodova koji su već u operativnoj službi, bez obzira na njihovu starost. Cilj EEXI-a je identificirati brodove koji možda zahtijevaju tehničke izmjene ili nadogradnje kako bi se poboljšala njihova energetska učinkovitost. EEXI zahtijeva da postojeći brodovi poduzmu određene tehničke mjere kako bi poboljšali svoju energetske učinkovitost i smanjili emisiju stakleničkih plinova. Ove mjere mogu uključivati optimizaciju motora, ugradnju energetske učinkovitijih sustava, korištenje napredne tehnologije kao što su sustavi za povrat topline i druge slične intervencije. Brodovi koji ne udovoljavaju standardima EEXI moraju poduzeti korake da se usklade s njima, što može uključivati tehničke preinake ili prilagodbe. Implementacija EEXI je dio šireg okvira IMO-a za poboljšanje energetske učinkovitosti i redukciju ispuštenih stakleničkih plinova iz međunarodnog pomorskog prometa, s ciljem da ukupna emisija stakleničkih plinova 2050. godine bude 50 % manja u odnosu na 2008. [4,10]

3.1 Mjerenje EEXI-a

EEXI igra ključnu ulogu u ocjenjivanju i usmjeravanju brodova prema održivijim operativnim metodama. U narednim stranicama, detaljno će se analizirati jednadžba za izračun EEXI, njezine ključne komponente, te proces izračunavanja i primjene ovog indeksa na postojeće brodove. Ovo poglavlje posvećeno je detaljnom objašnjenju mehanizma EEXI i demonstraciji njegove praktične primjene kroz hipotetičke izračune, čime se omogućava dublje razumijevanje njegove važnosti u svakodnevnom upravljanju flotom.

Za mjerenje EEXI-ja, prvo je potrebno prikupiti tehničke informacije o brodu, uključujući podatke o motorima, potrošnji goriva i kapacitetu broda. Emisije se računaju na temelju instalirane snage glavnog motora, pripadajuće specifične potrošnje goriva glavnog motora i pomoćnih motora te konverzijskog faktora između goriva i odgovarajuće mase CO₂. Transportna sposobnost određuje se kapacitetom, što je obično nosivost broda, dok je brzina broda povezana s instaliranom snagom. Prilikom izračuna ne uzima se u obzir maksimalna snaga motora, ali za većinu vrsta brodova to je 75 % MCR ili 83% MCRLim (u slučaju instaliranog ograničenja snage). Kao i EEDI, postignuti EEXI mora biti manji ili jednak zahtijevanom EEXI-u. Formulacija postignutog EEXI-a varira od broda do broda, naravno, i može se jednostavno sažeti kao emisija ugljika po jedinici težine i jedinici prijeđene udaljenosti. [11]

Jednadžba glasi:

$$\begin{aligned}
 EEXI[g - CO_2/tona \times nautička\ milja] = & \\
 & \frac{(\prod_{j=1}^M f_j)(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} + SFC_{AE})}{f_i \times f_C \times f_l \times capacity \times f_w \times V_{ref} \times f_m} \\
 & + \frac{\{(\prod_{j=1}^M f_j \times \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \times P_{AE_{eff(i)}}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}}{f_i \times f_C \times f_l \times capacity \times f_w \times V_{ref} \times f_m} \\
 & - \frac{(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \times P_{eff(i)} \times C_{FME} \times SFC_{ME})}{f_i \times f_C \times f_l \times capacity \times f_w \times V_{ref} \times f_m}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Nakon izračuna postignutog EEXI-ja (4), slijedi usporedba sa zahtijevanim EEXI-em. Jednadžba za zahtijevani EEXI je:

$$zahtijevani\ EEXI = \left(1 - \frac{x}{100}\right) \times referentna\ vrijednost\ EEDI \tag{5}$$

U jednadžbi (5) faktor smanjenja ovisi o tipu i veličini broda (tablica 2).

Tablica 2. Faktor smanjenja. [12]

| Tip broda | Veličina | Faktor smanjenja |
|---------------------|------------------------|------------------|
| Ro-ro (za vozila) | DWT \geq 10000 | 15 |
| Ro-ro teretni brod | DWT \geq 2000 | 5 |
| | 10000 \leq DWT<2000 | 0-5 |
| Ro-ro putnički brod | DWT \geq 1000 | 5 |
| | 250 \leq DWT<1000 | 0-5 |
| LNG brod | DWT \geq 10000 | 30 |
| Kruzer | GT \geq 85000 | 30 |
| | 25000 \leq DWT<85000 | 0-30 |

Referentna vrijednost EEDI-a računa se jednadžbom (6), a parametri za određivanje nalaze se u tablici 3. Jednadžba (6) i (3) su identične po svojoj strukturi, s tim da se parametri unutar obje jednadžbe raspoređuju na isti način.

$$\text{referentna vrijednost EEDI} = a \times b^{-c} \quad (6)$$

Tablica 3. Parametri za određivanje referentne vrijednosti EEDI-a. [3]

| Tip broda | A | B | C |
|---------------------|---------|---|-------|
| Tanker za plin | 1120,00 | Nosivost broda (DWT) | 0,456 |
| Kontejnerski brod | 172,22 | Nosivost broda (DWT) | 0,201 |
| Brod za opći teret | 107,48 | Nosivost broda (DWT) | 0,216 |
| Tanker | 1218,80 | Nosivost broda (DWT) | 0,488 |
| Ro-ro putnički brod | 752,16 | Nosivost broda (DWT) | 0,381 |
| | 902,59* | Nosivost broda (DWT) gdje je DWT \leq 10000 *10000 gdje je DWT > 10000* | |

* koristi se od druge faze i kasnije

3.2 Primjer izračuna postignutog EEXI-a i usporedba sa zahtijevanim EEXI-jem

Za precizno izračunavanje zahtijevanog i postignutog EEXI-ja, neophodni su detaljni podaci o brodu (tablica 4). Ovi podaci uključuju specifikacije glavnog motora, karakteristike pomoćnih motora, kao i opće podatke o brodu. Ove informacije su ključne za utvrđivanje EEXI-ja broda i njegove usklađenosti s međunarodnim standardima za smanjenje emisija. Sveobuhvatni pregled ovih podataka osigurava točnost izračuna EEXI-ja i pruža osnovu za eventualne mjere poboljšanja energetske efikasnosti.

Tablica 4. Osnovni podatci broda.

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| Vrsta broda | Ro-ro putnički brod |
| DWT (nosivost broda u tonama) | 2152 |
| Brzina Vref (čvorovi) | 14 |
| MCRme (kW) | 7000 |
| MCRme,lim (kW) | 2625 |
| Pme (kW) | 3500 |
| Vrsta goriva | Dizelsko gorivo |
| Cfme | 3.206 |
| SFCme (g/kWh) | 216 |
| Paе | 500 |
| Vrsta goriva | Dizelsko gorivo |
| Cfae | 3.206 |
| SFCae (g/kWh) | 220 |

Kada računamo EEXI broda, prvi korak je izračunati postignuti EEXI. Postignuti EEXI se računa na temelju stvarnih podataka o brodu. Ovaj proces uključuje nekoliko koraka i potrebno je prikupiti relevantne informacije o brodu, te ih uvrstiti u jednadžbu (7):

$$\begin{aligned}
 & \text{Postignuti EEXI}[g - CO_2/\text{tona} \times \text{nautička milja}] = \\
 & \frac{(\prod_{j=1}^M f_j) (\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} + S_1 = C_{AE})}{f_i \times f_c \times f_l \times \text{capacity} \times f_w \times V_{ref} \times f_m} \\
 & + \frac{\{(\prod_{j=1}^M f_j \times \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \times P_{AE_{eff(i)}}) \times C_{FAE} \times SFC_{AE}\}}{f_i \times f_c \times f_l \times \text{capacity} \times f_w \times V_{ref} \times f_m} \\
 & - \frac{(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \times P_{eff(i)} \times C_{FME} \times SFC_{ME})}{f_i \times f_c \times f_l \times \text{capacity} \times f_w \times V_{ref} \times f_m} \\
 & = \frac{1 \times (3500 \times 3.206 \times 216) + (500 \times 3.206 \times 220) + 0 - 0}{1 \times 1 \times 1 \times 2152 \times 1 \times 14 \times 1} \quad (7) = \\
 & 92.15(g - CO_2/\text{tona} \times \text{nautička milja})
 \end{aligned}$$

Sljedeći korak u procesu je izračunavanje zahtijevanog EEXI za brod. Jednadžba za izračun zahtijevanog EEXI-ja glasi:

$$\text{zahtijevani EEXI} = \left(1 - \frac{x}{100}\right) \times \text{referentna vrijednost EEDI} \quad (8)$$

U kontekstu izračuna, faktor smanjenja, označen kao x u jednadžbi (8), igra ulogu ključne varijable i određuje se na osnovu standardizirane tablice vrijednosti. Za konkretni primjer u razmatranju, vrijednost faktora smanjenja se nalazi u tablici 2 i iznosi 5. Prije nego što se

pristupi izračunu zahtijevanog EEXI-a, neophodno je odrediti referentnu vrijednost EEDI-a koja se računa primjenom sljedeće jednadžbe:

$$\text{referentna vrijednost EEDI} = a \times b^{-c} \quad (9)$$

$$\text{referentna vrijednost EEDI} = 902.59 \times 2152^{-0.381}$$

$$\text{referentna vrijednost EEDI} = 48.49$$

Korištenjem referentne vrijednosti EEDI-a i faktora smanjenja, moguće je izračunati zahtijevani EEXI prema jednadžbi (8):

$$\text{zahtijevani EEXI} = \left(1 - \frac{5}{100}\right) \times 48.49$$

$$\text{zahtijevani EEXI} = 46.07$$

Nakon što je određena vrijednost zahtijevanog EEXI-ja (8), sljedeći esencijalni korak u procesu jest usporedba te vrijednosti s postignutim EEXI-em (7). Ova usporedba ključna je za procjenu stvarne energetske učinkovitosti broda u svjetlu zahtjeva i ciljeva postavljenih od strane relevantnih međunarodnih zajednica. Provodeći ovu usporedbu, osigurava se da brodovi ne samo da ispunjavaju postojeće norme energetske efikasnosti, već da ih i premašuju.

$$\text{postignuti EEXI} < \text{zahtijevani EEXI} \quad (10)$$

$$92.15 > 46.07$$

Postignuti EEXI je veći od zahtijevanog EEXI-ja (10), te brod u primjeru ne udovoljava trenutnim zahtjevima. U ovom slučaju, s obzirom na to da je postignuti EEXI znatno viši od zahtijevanog EEXI, potrebno je poduzeti mjere za smanjenje energetske potrošnje i emisija CO₂ broda kako bi se postigla usklađenost s propisima. To može uključivati promjene u dizajnu broda, poboljšanja u efikasnosti motora, korištenje alternativnih goriva, ili druge strategije za smanjenje energetske potrošnje i emisija.

3.3 Korisnost EEXI-a

EEXI kao sredstvo za smanjenje potrošnje goriva i emisija ugljičnog dioksida u sklopu početne strategije IMO-a za smanjenje stakleničkih plinova, daje mali doprinos klimatskim ciljevima IMO-a. EEXI smanjuje emisije CO₂ s brodova za samo 0.7 % do 1.3 %. To je zbog nastavka prakse sporog plovljenja (eng. *slow steaming*), gdje su većina brodova radila s opterećenjem motora na koje tehnički standard učinkovitosti ne utječe. Velik broj kontejnerskih brodova, tankera plove brzinama između 11 i 14 čvorova, ili 38 % do 50 % MCR-a, što je znatno ispod nominalnog opterećenja motora koji se kreće od 65 % do 77 % MCR-a. Ako se ne ograniči snaga ispod razine koju brodovi već koriste, EEXI neće dovesti do smanjenja zagađenja. [10]

3.4 Poboljšanje EEXI-a broda

Brod se smatra neprikladnim ako ne zadovoljava zahtjevima EEXI-a i stoga mu nije dopušteno ploviti prema zakonskim zahtjevima. S tehničkog stajališta, glavna bit poboljšanja postignutog EEXI-a je smanjenje indeksa emisija i, ako je potrebno, i potrošnje goriva.

Poboljšanje EEXI-a broda može se postići različitim tehničkim i operativnim mjerama. Evo nekoliko strategija i pristupa za poboljšanje EEXI broda: [11]

- ugradnja energetski učinkovitih tehnologija uključuje uvođenje novih tehnologija i sustava kako bi se optimizirale količine ispuštenih emisija
- operativno ograničenje snage: ograničenje snage motora (eng. *engine power limitation*, EPL) jedan je od najjednostavnijih načina za ispunjavanje EEXI zahtjeva za starije brodove jer zahtijeva minimalne promjene u prilagođavanju broda i ne utječe na motor
- prelazak na alternativna goriva s nižim udjelom ugljika također je održiva opcija

4. Operativni indeks energetske učinkovitosti

Operativni indeks energetske učinkovitosti (eng. *Energy Efficiency Operational Index*, EEOI) je tehnička mjera koja omogućuje brodovlasnicima i operatorima mjerenje učinkovitosti potrošnje goriva broda u službi i mjerenje učinka bilo kakvih promjena u radu poput poboljšanog planiranja putovanja ili češćeg čišćenja propelera, te djeluje kao pokazatelj energetske učinkovitosti u operativnoj fazi broda. EEOI ima za cilj pružanje uvida u ukupnu energetske učinkovitost brodskih operacija, omogućavajući praćenje i optimizaciju potrošnje energije tijekom redovnog rada broda. EEOI prvi je put uveden 2013. godine kao zahtjev prema Prilogu VI MARPOL-a. EEOI je razvijen kao dio napora IMO-a za poboljšanje energetske učinkovitosti i smanjenja emisija stakleničkih plinova iz pomorske industrije. IMO je prepoznao potrebu za standardiziranom metodom procjene energetske učinkovitosti brodova, a EEOI je razvijen kao alat za tu svrhu. Prema zahtjevima EEOI-a, brodovi preko 400 bruto tona (BT) moraju prikupljati i izvješćivati podatke o svojoj potrošnji goriva i transportnom radu, te se podaci zatim koriste za izračun EEOI broda, koji daje mjeru energetske učinkovitosti broda i emisije CO₂. [13]

4.1 Svrha EEOI-a

Svrha EEOI-a, prema uputama IMO-a, jest omogućiti uniformiran način izračunavanja energetske učinkovitosti brodova za svako pojedinačno putovanje ili unutar određenog perioda. Očekuje se da će EEOI biti koristan u ocjenjivanju operativne učinkovitosti flote brodova za njihove vlasnike i operatore. Također, predviđa se da će EEOI omogućiti nadgledanje performansi svakog broda tijekom njegovog korištenja, kao i praćenje učinkovitosti bilo kakvih izmjena koje su provedene na brodu ili u njegovom poslovanju. U praksi, preporučuje se upotreba EEOI-a kao alata za praćenje u okviru SEEMP-a. Regulatori također koriste EEOI za praćenje usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, kao što je Prilog VI MARPOL-a koji zahtijevaju da brodovi održavaju određenu razinu energetske učinkovitosti i ograničavaju svoje emisije ugljikovog dioksida. Osim toga, organizacije trećih strana kao što su klasifikacijska društva i brodarska udruženja koriste EEOI za pružanje usluga certificiranja i akreditacije povezanih s ekološkim učinkom u pomorskoj industriji. Investitori i kupci također mogu koristiti EEOI kao alat za procjenu ekološke učinkovitosti brodarskih kompanija i donošenje informiranih odluka o ulaganjima ili poslovnim partnerstvima. EEOI je vrijedan alat koji

koriste ulagači u pomorskoj industriji za promicanje energetske učinkovitosti, smanjenje emisija stakleničkih plinova i poboljšanje ekološke učinkovitosti. [13,14]

4.2 Razlika između EEDI-a i EEOI-a

EEDI i EEOI su dva različita pokazatelja koja se koriste za procjenu energetske učinkovitosti broda. EEOI, slično EEDI-u, predstavlja količinu emisije ugljičnog dioksida s broda po jedinici prijeđene udaljenosti teretno-transportne usluge. Za razliku od EEDI-a koji uzima u obzir samo jednu radnu točku broda, EEOI računa stvarnu emisiju ugljičnog dioksida izgaranjem svih vrsta goriva tijekom svakog putovanja. Ova vrijednost se dobiva množenjem ukupne potrošnje goriva za svaku vrstu goriva (destilatno gorivo, rafinirano gorivo ili LNG, itd.) s odgovarajućim ugljičnim faktorom svakog goriva. Obavljeni transportni rad računa se množenjem stvarne mase tereta (tone, broj putnika, itd.) i odgovarajuće stvarne udaljenosti u nautičkim miljama koju je plovilo prešlo. EEOI je razvijen kako bi se vlasnici i operatori brodova potaknuli da ga koriste na dobrovoljnoj osnovi i da prikupljaju informacije. [4,13]

4.3 Mjerenje EEOI-a

Osnovna jednačba za EEOI (11) se koristi za računanje jednog putovanja, jednačba za prosječni EEOI (12) koristi se za više putovanja.

Osnovna jednačba za EEOI je definirana kao:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D} \quad (11)$$

Jednačba za prosječni EEOI:

$$EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo,i} \times D)} \quad (12)$$

gdje su:

j – vrsta goriva

i – broj putovanja

FC_{ij} – masa goriva j potrošeno na putovanje i

FC_j – masa potrošenog goriva j na putovanju i

C_{Fj} – faktor konverzije mase goriva u masu CO₂ za gorivo j

m_{cargo} – prevezeni teret ili obavljeni rad ili bruto tone za putničke brodove.

D – udaljenost koja se izražava u nautičkim miljama, a odgovara prevezenom teretu ili obavljenom radu

Ovisno o načinu izračuna (prevezeni teret ili obavljeni rad) EEOI se izražava u tonama CO₂/(TEU·nautičke milje) ili tonama CO₂/(broj putnika·nautičke milje).

Jednadžba za prosječni EEOI ne daje jednostavan prosjek EEOI-a među brojem putovanja; zato se jednostavni prosjek EEOI-a putovanja mora izbjegavati, te se koristi izračun klizećeg prosjeka EEOI-a za dobivanje prosječne vrijednosti kao pokazatelja učinka. Za korištenje klizećeg prosjeka potrebno je odabrati odgovarajuće razdoblje za evaluaciju; npr. jedna godina (najbliže kraju putovanja), broj putovanja, itd. S pomoću jednadžbe za prosječni EEOI izračunava se klizeći prosjek EEOI-a sljedećom tehnikom:

- prosječna vrijednost putovanja 1, 2 i 3 dati će prvi element klizećeg prosjeka
- prosječna vrijednost putovanja 2, 3 i 4 dati će drugi element klizećeg prosjeka
- prosječna vrijednost putovanja 3, 4 i 5 dati će treći element klizećeg prosjeka

Primjer:

U nizu od petnaest putovanja, prvi element klizećeg prosjeka za podskup od tri putovanja dobiva se uzimanjem prosjeka početnih tri putovanja. Zatim se podskup mijenja „pomakom unaprijed” gdje se isključuje prvo putovanje u inicijalnom podskupu i uključuje sljedeće putovanje. Novi podskup će dati drugi element klizećeg prosjeka. Proces se nastavlja do zadnjeg putovanja. [13]

4.4 Korisnost EEOI-a

EEOI predstavlja ključni alat u pomorskoj industriji za mjerenje operativne energetske učinkovitosti brodova i flota. Ovaj indikator donosi nekoliko značajnih prednosti: [14]

- Standardizirana metodologija
EEOI pruža standardiziranu metodu za kvantificiranje energetske učinkovitosti brodova ili flote. Ovo omogućava precizno mjerenje i usporedbu energetske učinkovitosti

različitih brodova, čime se olakšava procjena i usklađivanje s međunarodnim standardima.

- Fokus na učinkovitost bez nametanja pravila
EEOI nije nametnut i baziran je isključivo na učinku. Ovaj pristup omogućava brodarima da sami odrede najučinkovitije metode za poboljšanje svojih operacija, dajući im fleksibilnost u izboru strategija za postizanje bolje energetske učinkovitosti.
- Konkurentska prednost i marketing
Dobri rezultati EEOI mogu se koristiti kao marketinški alat i konkurentska prednost. Brodovi ili flote s visokom energetskom učinkovitošću mogu privući klijente koji vode računa o ekološkoj održivosti, poboljšavajući tako reputaciju i imidž kompanije.
- Poticaj za kontinuirana poboljšanja
Redovito praćenje i analiza EEOI-a omogućuje brodarima da identificiraju područja za poboljšanje, potičući kontinuirani napredak u operativnoj učinkovitosti. Ovaj proces ne samo da smanjuje operativne troškove, već i pridonosi smanjenju utjecaja na okoliš.

Iako EEOI pruža značajne koristi u mjerenju energetske učinkovitosti brodova, postoje i određeni nedostaci koji se ne smiju zanemariti: [14]

- EEOI nije obavezan
EEOI još uvijek nije obavezno propisan, što znači da njegovo izračunavanje nije nužno. Ovaj nedostatak može smanjiti njegovu primjenu i utjecaj u pomorskom sektoru.
- Preciznost podataka
Točnost izračunatog EEOI-a ovisi o podacima koji se koriste za njegovo izračunavanje. Netočni ili nepotpuni podaci mogu dovesti do netočnih rezultata, što dovodi u pitanje pouzdanost ovog indikatora.
- Potreba za suradnjom
Slično kao i sa SEEMP-om, smanjenje potrošnje goriva i maksimizacija kapaciteta tereta zahtijeva uspješnu komunikaciju i suradnju između svih sudionika, posebno između naručitelja, brodskih operatora, pomoraca i ostalih. Ovo može biti izazovno postići u praksi.
- Raznolikost među brodovima
Različite varijacije u dizajnu brodova, operativnim modelima, ugovorima o teretu, uvjetima plovidbe (uključujući vremenske uvjete) te potencijalnim promjenama u vrsti trgovine pridonose značajnim razlikama u EEOI-u.

EEOI predstavlja važan alat za unapređenje energetske učinkovitosti u pomorskom sektoru, ali njegova učinkovitost i utjecaj ovise o točnosti podataka, suradnji između ključnih dionika i dosljednoj primjeni u industriji. Budući da pomorstvo nastoji biti održivije i energetske učinkovitije, EEOI će i dalje igrati važnu ulogu, ali njegov puni potencijal može biti ostvaren samo uz sveobuhvatno rješavanje navedenih izazova. [14]

5. Brodski plan upravljanja energetsom učinkovitošću

Brodski plan upravljanja energetsom učinkovitošću (eng. *Ship Energy Efficiency Management Plan*, SEEMP) je dokument koji opisuje mjere koje se mogu poduzeti na brodu kako bi se smanjila potrošnja goriva i poboljšala energetska učinkovitost. Poboljšava učinkovitost kroz operativna poboljšanja, a primjenjiv je na nove i postojeće brodove. SEEMP se obično priprema za svaki brod posebno. Prema odredbi 22 Priloga VI MARPOL-a, SEEMP je obavezan za brodove većih od 400 BT od 1. siječnja 2013. godine. Postojeći brodovi će dobiti IEEC kada se potvrdi postojanje SEEMP-a na brodu. SEEMP mora biti razvijen prema smjernicama MEPC-a 346(78). [15]

5.1 Svrha SEEMP-a

Svrha SEEMP-a je uspostaviti mehanizam za kompanije i/ili brodove kako da poboljšaju energetska učinkovitost svojih operacija. SEEMP pruža način za praćenje energetske učinkovitosti broda tijekom vremena, a potiče i vlasnike i operatore brodova da razmotre poboljšanje operativnih praksi i nadogradnje tehnologije kako bi se optimizirala energetska učinkovitost broda. SEEMP bi se specifično prilagodio svakom brodu, što je potrebno jer nijedna brodarska kompanija nije ista, a brodovi rade u različitim uvjetima, uključujući geografske i komercijalne. Svrha SEEMP-a je smanjiti emisije stakleničkih plinova i troškova potrošnje goriva, poboljšati profitabilnost kompanija koje posjeduju, upravljaju ili kontroliraju brodove. SEEMP je važan alat za postizanje globalnih ciljeva održivog razvoja i smanjenja štetnih utjecaja plovidbe na okoliš.

Mnoge kompanije već primjenjuju sustav upravljanja okolišem (eng. *Environmental Management System*, EMS) usklađen s normom ISO 14001, koja uključuje postupke za biranje najučinkovitijih rješenja za specifične brodove. To uključuje određivanje ciljeva za praćenje ključnih ekoloških parametara, kao i implementaciju mehanizama kontrole i povratnih informacija. Zbog toga se praćenje ekološke efikasnosti u operacijama treba smatrati bitnim dijelom općih upravljačkih sistema unutar kompanija. Dodatno, brojne kompanije već su uspostavile i primjenjuju sustav za upravljanje sigurnošću. U tom kontekstu, SEEMP može biti integriran kao dio broskog sustava upravljanja sigurnošću (Safety Management System, SMS).

[13]

5.2 Okvir SEEMP-a

Okvir SEEMP-a usmjeren je na poboljšanje energetske učinkovitosti brodova kroz četiri faze (slika 4). Svaka faza ima svoju specifičnu svrhu i doprinosi cjelokupnom procesu upravljanja energetsom učinkovitošću: [13]

1. Planiranje

Ova faza uključuje identifikaciju i razvoj strategija i mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti broda. U planiranju se određuju ciljevi, razrađuju se metode za postizanje tih ciljeva i razvijaju se planovi za njihovu provedbu.

2. Implementacija

Nakon planiranja, slijedi faza implementacije gdje se planirane mjere stvarno provode. To može uključivati uvođenje novih tehnologija, promjene u operativnim procedurama, obuku posade i druge inicijative koje su identificirane u fazi planiranja.

3. Praćenje

Praćenje je ključno za ocjenjivanje učinkovitosti primijenjenih mjera. U ovoj fazi se kontinuirano skupljaju i analiziraju podaci o potrošnji energije, emisijama i drugim relevantnim pokazateljima.

4. Samoprocjena i poboljšanje

Konačna faza uključuje samoprocjenu i identifikaciju područja za daljnje poboljšanje. Na temelju podataka prikupljenih tijekom praćenja, provodi se analiza učinkovitosti trenutnih mjera te se razvijaju strategije za njihovo poboljšanje u sljedećem ciklusu.

U nastavku će se analizirati komponente SEEMP-a. [13]



Slika 4. Faze SEEMP-a. [16]

5.3 Planiranje

Planiranje je najbitnija faza SEEMP-a. Definira trenutni status potrošnje energije na brodu i kako se potrošnja energije još može smanjiti. U okviru svakog SEEMP-a, odgovornost vlasnika broda je analizirati postojeće postupke i razinu potrošnje energije na svakom brodu s namjerom otkrivanja slabih točaka ili područja gdje se može postići poboljšanje energetske efikasnosti. Ovaj korak predstavlja esencijalni uvod u kreiranje djelotvornog plana upravljanja i trebao bi obuhvatiti različite elemente: [13,15]

- mjere specifične za brod
- mjere specifične za kompaniju
- razvoj ljudskih resursa
- postavljanje cilja

5.3.1 Mjere specifične za brod

Postoje različite mogućnosti za poboljšanje energetske učinkovitosti brodova, kao što su optimizacija brzine broda, odabir najbolje rute ovisno o vremenskim uvjetima i održavanje trupa broda. Međutim, najbolji skup mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti ovisi o različitim čimbenicima poput tipa broda, vrsta tereta, ruta itd. Stoga, prvi korak u poboljšanju energetske učinkovitosti broda je identificirati specifične mjere koje će biti implementirane kako bi se osigurao pregled aktivnosti potrebnih za poboljšanje energetske učinkovitosti za taj brod. Tijekom ovog procesa je ključno odrediti i razumjeti trenutno stanje potrošnje energije na brodu. Kroz SEEMP se zatim identificiraju mjere za uštedu energije koje su poduzete i procjenjuje se koliko su efikasne u poboljšanju energetske učinkovitosti. SEEMP predlaže i druge mjere koje se mogu primijeniti za dodatno poboljšanje energetske učinkovitosti broda. Sve mjere nisu primjenjive na svim brodovima, čak ni na istom brodu u različitim uvjetima rada. Idealno bi bilo da se početne mjere pokažu učinkovitima u uštedi energije (i troškova), pa se ta ušteda može investirati u zahtjevnije ili skuplje nadogradnje za poboljšanje učinkovitosti koje je SEEMP prepoznao kao potencijalno korisne. [17]

5.3.2 Mjere specifične za kompaniju

Unaprjeđenje energetske efikasnosti brodskih operacija ne ovisi isključivo o upravljanju samim brodom. Često je potrebna suradnja brojnih dionika, uključujući brodogradilišta, vlasnike brodova, operatore, naručitelje, vlasnike tereta, luke i servise za upravljanje prometom. Što je bolja komunikacija među sudionicima, to se očekuje veće poboljšanje. Primjerice, pristup „upravo na vrijeme“ (eng. *just in time*) zahtijeva efikasnu i pravovremenu komunikaciju između operatora, luke i servisa za upravljanje prometom. U većini slučajeva, takva koordinacija bolje se obavlja putem kompanije nego pojedinačnog broda. Zato se traži da kompanija također uspostavi plan upravljanja energijom za upravljanje svojom flotom i da obavlja potrebnu koordinaciju među sudionicima. [17]

5.3.3 Razvoj ljudskih resursa

Razvoj ljudskih resursa treba se smatrati ključnim elementom u procesu planiranja. Ovo podrazumijeva osiguravanje adekvatne obuke kako za osoblje na kopnu tako i za posadu na brodu, s ciljem postizanja efikasne i konzistentne implementacije usvojenih mjera. Takva obuka osigurava da sve uključene strane imaju neophodne vještine i znanje za uspješno provođenje energetske strategije, čime se doprinosi sveukupnom uspjehu inicijativa za energetske učinkovitost. [17]

5.3.4 Postavljanje cilja

Za brodove koji podliježu pravilu 28 Priloga VI MARPOL-a postavljanje ciljeva treba biti u skladu s traženim kontinuiranim poboljšanjima CII-ja. Ovi se brodovi također potiču da razmotre postavljanje dodatnih ciljeva koji teže dodatnom poboljšanju energetske učinkovitosti i smanjenju intenziteta ugljika. Za brodove ili tvrtke koje ne podliježu pravilu 28, ne postoje zahtjevi za definiranje cilja i njegovo priopćavanje javnosti. Također, ti brodovi ne podliježu vanjskoj inspekciji, pregledima ili revizijama u odnosu na SEEMP. Međutim, treba definirati smisleni cilj koji će pokazati predanost tvrtke poboljšanju energetske učinkovitosti i intenziteta ugljika broda. Cilj se može postaviti pomoću različitih pokazatelja, uključujući godišnju potrošnju goriva, godišnji omjer učinkovitosti, EEOI itd. [18]

5.4 Implementacija

Dva područja su važna za implementaciju: [17]

- uspostava implementacijskog sustava
- vođenje evidencije

Nakon što se izaberu mjere koje će se implementirati, ključan je korak „uspostava implementacijskog sustava” koji podrazumijeva stvaranje okvira za provedbu odabranih mjera energetske učinkovitosti. Ovaj sustav se uspostavlja definiranjem specifičnih zadataka i dodjeljivanjem tih zadataka kvalificiranom osoblju. SEEMP igra ključnu ulogu u ovom procesu, jer detaljno opisuje način implementacije svake mjere, osobu odgovornu za njezinu

implementaciju, kao i vremenski okvir za realizaciju odabranih mjera. Efikasno rješavanje ovog segmenta najčešće se obavlja u fazi planiranja. [17,18]

Za provedbu planiranih mjera energetske učinkovitosti, neophodno je slijediti sustav implementacije koji je definiran unaprijed. Vođenje evidencija o provedbi svake mjere energetske učinkovitosti je korisno za samoprocjenjivanje. [17,18]

U implementaciji mjera energetske učinkovitosti postoje 3 ključna aspekta:

1. Značaj pravilne provedbe

Uspješno ostvarenje ciljeva izravno ovisi o adekvatnoj implementaciji mjera. Stoga, nije dovoljno samo formirati planove, ključna je i njihova efikasna realizacija. Nedostatak u provedbi može značajno umanjiti učinkovitost i rezultate planiranih mjera.

2. Dodjela odgovornosti i proces implementacije

Pravilna dodjela odgovornosti za različite mjere, uz pažljivo planiranje procesa implementacije i rasporeda, ključni su za uspješno upravljanje brodom. Jasno određivanje odgovornosti i pridržavanje zadanih rokova omogućava učinkovito praćenje i upravljanje provedenim mjerama energetske učinkovitosti.

3. Značaj vođenja evidencije

Sustavno vođenje evidencije nije samo važno za praćenje i nadzor, već je i neophodno za proces samoocjene i planiranje sljedećih faza u ciklusu kontinuiranog poboljšanja. Vođenje precizne evidencije omogućava uvid u napredak, identificiranje područja koja zahtijevaju poboljšanja i pruža temelj za buduće strategije planiranja.

5.5 Praćenje

U okviru SEEMP-a, ključno je već na samom početku, tijekom faze planiranja, precizno definirati postupak nadzora. Temelj za uspješno praćenje čini redovito i sustavno prikupljanje relevantnih podataka. Da bi se postigao učinkovit sustav nadzora, neophodno je uspostaviti metode i procedure za prikupljanje podataka, te jasno odrediti i raspodijeliti odgovornosti među osobljem. Razvoj ovakvog sustava nadzora trebao bi biti neodvojivi dio procesa planiranja i dovršen unutar te faze. Da se umanjuje teret administrativnih zadataka na brodskom osoblju, praćenje bi, kad god je to moguće, trebalo prenijeti na obalno osoblje, koje bi koristilo podatke

dobivene iz postojećih brodskih evidencija i informacijskih sustava. EEOI se u ovom kontekstu praćenja može upotrijebiti kao glavni instrument za provjeru da li ciklus upravljanja energijom postiže očekivane ishode. Pored EEOI-a, brodovi ili kompanije mogu, ako je to pogodno ili korisno, primijeniti dodatne alate za mjerenje. Dodatni alati trebaju biti potvrđeni u fazi planiranja. [18]

5.6 Samoprocjena i poboljšanje

Faza samoprocjene i poboljšanja predstavlja završni dio ciklusa i ima za cilj procijeniti svaku od mjera koje su implementirane za poboljšanje energetske učinkovitosti. U ovoj fazi, svaka mjera se detaljno analizira kako bi se utvrdila njena efikasnost. Ovo uključuje ocjenu procesa implementacije i nadzora mjera, istraživanje njihove prikladnosti i identifikaciju načina na koje se mogu dalje poboljšati.

Osim toga, u ovoj fazi, svaka mjera se procjenjuje redovito i individualno, omogućujući precizno praćenje i razumijevanje razine poboljšanja koja svaki brod postiže. Ovi rezultati se zatim koriste za informiranje sljedećeg ciklusa planiranja, čime se osigurava da se proces upravljanja energetske učinkovitošću kontinuirano poboljšava i prilagođava prema potrebama i rezultatima svakog broda. [18]

6. Indikator intenziteta ugljika

Indikator intenziteta ugljika (eng. *Carbon Intensity Indicator*, CII) predstavlja godišnju emisiju ugljičnog dioksida s broda. CII se ističe kao značajan alat u pomorskoj industriji i predstavlja mjerilo koje ocjenjuje ekološku učinkovitost brodova u pogledu njihovih emisija CO₂. Izražava se u gramima CO₂ emitiranog po kapacitetu broda i nautičkoj milji. Za svaku godinu, postignuti radni CII mora biti zabilježen i uspoređen sa zahtijevanim godišnjim radnim CII-om, što omogućuje određivanje ocjene radnog intenziteta ugljika. [19]

6.1 Ocjena CII-a

Prva godina verifikacije postignutog godišnjeg operativnog CII-a bit će 2024. godina za operacije u kalendarskoj godini 2023. Na osnovi svojih performansi, brodovi će biti rangirani i dobit će ekološku ocjenu. Brod će biti ocijenjen s ocjenama A, B, C, D ili E, gdje je A najbolja ocjena. Pragovi ocjenjivanja postat će progresivno stroži sve do 2030. godine. Ocjene ukazuju na razinu performansi koja može biti znatno iznad prosjeka (A), malo iznad prosjeka (B), umjerena (C), malo ispod prosjeka (D) ili ispod prosjeka (E). Razine performansi bit će zabilježene u „izjavi o sukladnosti“ (eng. *Statement of Compliance*), koja se nalazi u SEEMP-u. Ako brod tri uzastopne godine dobije ocjenu D, ili ocjenu E jednom, tada je brodarska kompanija dužna podnijeti plan korektivnih mjera. Ovaj plan treba pokazati kako će brod unaprijediti svoje performanse kako bi dostigao ili premašio ocjenu C, koja predstavlja umjerenu razinu učinkovitosti u smanjenju emisija. Brodovi koji ostvaruju visoke ocjene u skladu s CII sustavom, posebno oni s ocjenama A ili B, preporučuju se za primanje poticaja. Različiti akteri unutar pomorskog sektora, uključujući pomorske uprave, lučki autoriteti i druge relevantne zainteresirane strane, mogu pružiti ove poticaje. Cilj ovih poticaja je priznati i nagrađivati brodove koji demonstriraju izvrsnost u smanjenju emisija ugljika, čime doprinose održivim praksama unutar pomorske industrije. Ovakav pristup poticanja visokih standarda energetske učinkovitosti služi kao motivacija i primjer za ostatak sektora u nastojanjima za postizanjem održivosti. [20]

6.2 Strategija za poboljšanje CII ocjene broda

Postoji niz mjera koje brodovi mogu primijeniti kako bi poboljšali svoju CII ocjenu i time doprinijeli globalnim naporima za zaštitu okoliša. Brod može koristiti gorivo s niskim udjelom ugljika kako bi postigao višu ocjenu u usporedbi s brodom koji koristi fosilna goriva, no postoje brojne strategije koje brod može primijeniti kako bi poboljšao svoju ocjenu: [20]

1. Čišćenje trupa broda za smanjenje otpora

Redovito održavanje i čišćenje trupa može smanjiti otpor koji brod doživljava tijekom plovidbe, čime se smanjuje potrošnja goriva i emisije ugljika.

2. Optimizacija rute i brzine

Pažljivo planiranje brzine i rute može značajno utjecati na potrošnju goriva. Korištenjem optimalnih ruta i održavanjem efikasne brzine, brodovi mogu smanjiti emisije ugljika.

3. Instalacija žarulja s niskom potrošnjom energije

Zamjena standardnih žarulja s energetski učinkovitijim opcijama može smanjiti potrošnju električne energije na brodu.

4. Instalacija uređaja za dobivanje energije iz obnovljivih izvora za smještajne potrebe

Upotreba obnovljivih izvora energije za napajanje smještajnih usluga na brodu može doprinijeti smanjenju ukupne potrošnje fosilnih goriva i emisija ugljika.

Primjenom ovih i sličnih mjera, brodovi ne samo da poboljšavaju svoje CII ocjene, već i doprinose općim naporima za smanjenje utjecaja pomorskog sektora na okoliš. [20]

7. Zaključak

Kao odgovor na sve veće zahtjeve za energetske učinkovitost u pomorskom sektoru, mehanizmi poput EEDI, EEXI, EEOI, SEEMP i CII igraju ključnu ulogu u ostvarivanju cilja. Ove mjere, svaka s definiranim svrhom, implementacijom, metodama poboljšanja i proračunom, predstavljaju osnovu za postizanje održivijeg pomorskog sektora. EEDI postavlja norme energetske učinkovitosti za novoizgrađene brodove, EEXI ocjenjuje postojeće brodove i usklađuje ih s trenutnim standardima energetske učinkovitosti. EEOI mjeri operativnu učinkovitost brodova u stvarnom vremenu. SEEMP služi kao plan za upravljanje energijom na brodu, koji brodarima omogućuje da sustavno prate i poboljšavaju energetske učinkovitost na brodu. CII prati i cilja na smanjenje intenziteta emisija CO₂ u pomorskim operacijama. Stoga, s integracijom EEDI, EEXI, EEOI, SEEMP i CII u svakodnevne operacije, pomorski sektor poboljšava održivost, otvarajući novo poglavlje u kojem energetska učinkovitost i smanjenje emisija postaju ključni faktori uspjeha u globalnoj pomorskoj industriji.

8. Literatura

1. Elisabeth Crawford: Arrhenius' 1896 Model of the Greenhouse Effect in Context. Royal Swedish Academy of Sciences. 2009. Available from: <https://www.jstor.org/stable/4314543> (zadnji put pristupljeno: [10.10.2023])
2. Julio Barreiro, Sonia Zaragoza, Vicente Diaz-Casas: Review of ship energy efficiency. Ocean Engineering. 2022. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111594> (zadnji put pristupljeno: [10.10.2023])
3. Ivica Ančić: Energetska učinkovitost i ekološka prihvatljivost brodskih integralnih energetske sustava. Doktorska disertacija. fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb, 2016.
4. George Mallouppas, Elias Ar. Yfantis: Decarbonization in Shipping Industry: A Review of Research, Technology Development, and Innovation Proposals. Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Available from: <https://doi.org/10.3390/jmse9040415> (zadnji put pristupljeno: [10.10.2023])
5. Carbon Emissions from Aircraft and Ships. Available from: https://petrolog.typepad.com/climate_change/2009/09/carbon-emissions-from-aircraft-and-ships.html (zadnji put pristupljeno: [12.10.2023])
6. Rezolucija MEPC.231(65), Međunarodna pomorska organizacija, 2013.
7. Transport & Environment: Statistical analysis of the energy efficiency performance (EEDI) of new ships. 2017. Available from: <https://www.transportenvironment.org/discover/statistical-analysis-energy-efficiency-performance-eedi-new-ships/> (zadnji put pristupljeno: [20.10.2023])
8. Romanas Puisa: Uncertainty in design and operational parameters: Application of Real Options for valuation of ship design alternatives. Available from: https://www.researchgate.net/publication/279447378_Uncertainty_in_design_and_operational_parameters_Application_of_Real_Options_for_valuation_of_ship_design_alternatives (zadnji put pristupljeno: [20.10.2023])
9. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_09_109_1614.html (zadnji put pristupljeno: [20.10.2023])
10. Dan Rutherford, Xiaoli Mao, Bryan Comer: Potential CO₂ reductions under the Energy Efficiency Existing Ship Index. 2020.
11. ClassNK: Outlines of EEXI regulation. 2021.

12. Ricco Wiliyan, Made Ariana, Dhimas Widhi: Evaluation of Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) on Container Ship in Indonesian Shipping. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1198/1/012025> (zadnji put pristupljeno: [25.10.2023])
13. IMO: Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. 2016.
14. Önder Canbulat: Integrated energy efficiency of shipping. University of Strathclyde. 2021.
15. Lloyd's Register: Implementing a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP): Guidance for shipowners and operators. 2012.
16. What is Ship Energy Efficiency Management Plan?. Marine Insight. Available from: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-ship-energy-efficiency-management-plan/> (zadnji put pristupljeno: [08.11.2023])
17. Rezolucija MEPC.213(63), Međunarodna pomorska organizacija, 2012.
18. Rezolucija MEPC.346(78), Međunarodna pomorska organizacija, 2022.
19. Rezolucija MEPC.352(78), Međunarodna pomorska organizacija, 2022.
20. IMO: EEXI and CII: ship carbon intensity and rating system. Available from: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx> (zadnji put pristupljeno: [08.11.2023])

9. Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Plan za poboljšanje učinkovitosti brodova od 2013. godine do 2050. godine. [4]..... | 2 |
| Slika 2. Globalna emisija CO ₂ po sektorima. [5] | 3 |
| Slika 3. EEDI faze. [8] | 7 |
| Slika 4. Faze SEEMP-a. [16] | 23 |

10. Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Faze implementacije zahtjeva EEDI-a za različite tipove brodova na temelju njihove nosivosti i perioda. (9)..... | 9 |
| Tablica 2. Faktor smanjenja. (12)..... | 12 |
| Tablica 3. Parametri za određivanje referentne vrijednosti EEDI-a. (3)..... | 12 |
| Tablica 4. Osnovni podatci broda. | 13 |