

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
JŪRŲ INŽINERIJOS KATEDRA

**LAIVŲ ENERGETINIO EFEKTYVUMO INDEKSO (EEDI) GERINIMAS
OPTIMIZUOJANT LAIVO JĖGAINĖS IR PROPULSINIO KOMPLEKSO
DARBĄ**

Magistro baigiamasis darbas

Darbo autorius

Tomas Čepaitis

Vadovas

Prof. Sergejus Lebedevas

Klaipėda, 2019 m.

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

Tomas Čepaitis

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Laivų energetinio efektyvumo indekso (EEDI) gerinimas optimizuojant laivo jėgainės ir
propulsinio komplekso darbą

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas magistro baigiamasis darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

Tomas Čepaitis

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

Tomas Čepaitis

(magistro darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....

(data)

.....

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

(data)

.....

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....

(data)

.....

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriu

.....

(įrašyti recenzento(u) vardą, pavardę)

.....

(data)

.....

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Turinys

1. Anotacija	6
2. ANNOTATION	7
3. ĮVADAS	8
Problemos aktualumas	8
Darbo tikslas	8
Darbo uždaviniai	8
4. Jūrų transport CO ₂ emisijų įtaka pasaulinei aplinkosaugai	9
5. IMO Organizacijos įtaka	10
6. Energijos efektyvumo projekavimo indeksas	10
7. Laivo energijos efektyvumo valdymo planas	11
8. Laivo energijos efektyvumo reglamentavimas bei gairės	12
8.1. Taisyklė 19 – Taikomumas	12
8.2. Taisyklė 20 – EEDI	13
8.3. Taisyklė 21 - Reikalaujamas EEDI	14
8.4. Taisyklė 22 – Laivo energijos efektyvumo valdymo planas (LEEVP)	16
8.5. Taisyklė 23 – Techninis bendradarbiavimas ir technologijų perdavimas	16
9. EEDI reikalavimų atitikimas	16
9.1. Korpuso pasipriešinimo mažinimas	16
9.2. Perėjimas prie kitų kuro tipų	17
9.3. Aukšto efektyvumo sraigtas	19
9.4. Šilumos išsiskyrimo utilizavimo sistemos	19
9.5. Projektinio greičio mažinimas	21
9.6. Hibridiniai propulsiniai kompleksai	21
9.7. Saulės energijos panaudojimas	23
9.8. Vėjo energijos panaudojimas	23
10. EEDI taikymas pasirinktam objektui	25
10.1. Darbo objektas	25
10.2. Pagrindiniai laivo duomenys	26
10.3. Eigos variklių pagrindiniai duomenys	26
10.4. Pagalbinės jėgainės duomenys	28
10.5. EEDI skaičiavimas objektui su esama jėgaine	29
11. Darbo objekto EEDI gerinimas	32
11.1. Technologijų parinkimas	32
11.2. Hibridinės jėgainės panaudojimas	33
11.3. SGD varomų variklių pritaikymas objektui	36
11.5. Teorinis objekto modernizavimas	42

11.6. Teorinio modernizavimo rezultatų darbų analizė.....	48
12. Technologijų palyginamoji analizė.....	49
13. Išvados	52
14. Literatūros sąrašas	53

Paveikslų sąrašas

<i>1 pav. CO₂ emisijų galimi scenarija pagal IMO.....</i>	<i>9</i>
<i>2 pav. MARPOL VI priedo nauji reikalavimai.....</i>	<i>12</i>
<i>3 pav. Konceptinis reikalaujamo EEDI, sumažėjimo lygio ir įgyvendinimo etapų kreivės</i>	<i>15</i>
<i>4 pav. CO₂ emisijos pagal naudojamą kurą.....</i>	<i>18</i>
<i>5 pav. Įprastas sraigtas ir Kappel tipo sraigtas.....</i>	<i>19</i>
<i>6 pav. Šilumos balanso palyginimas</i>	<i>20</i>
<i>7 pav. Hibridinės energijos sistemos su PTO / PTI ir akumuliatoriais konfigūravimas.</i>	<i>22</i>
<i>8 pav. Specifinis mazuto sunaudojimas (SFOC) kaip galios pasirinkimo funkcija.</i>	<i>22</i>
<i>9 pav. Burės bei aitvarai naudojami šiuolaikiniuose laivuose.....</i>	<i>24</i>
<i>10 pav. Flettnerio rotorius</i>	<i>25</i>
<i>11 pav. WARTSILA 12V46 Pagrindinis variklis</i>	<i>26</i>
<i>12 pav. Pagalbinis Wartsila 9L20D variklis.....</i>	<i>28</i>
<i>13 pav. Victoria Seaways apskaičiuotas esamas EEDI</i>	<i>32</i>
<i>14 pav. Hibridinio propulsinio komplekso principinė schema</i>	<i>34</i>
<i>15 pav. Darbo principas dujomis.....</i>	<i>37</i>
<i>16 pav. NO_x susidarymo priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento.....</i>	<i>37</i>
<i>17 pav. Dujų įpurškimo sistema</i>	<i>38</i>
<i>18 pav. Dvigubų sienelių dujų vamzdyno sistema.....</i>	<i>39</i>
<i>19 pav. Išorinė dujų padavimo bei laikymo sistema</i>	<i>39</i>
<i>20 pav. Rankine ciklo utilizacinės jėgainės schema.....</i>	<i>40</i>
<i>21 pav. Kalinos ciklo utilizacinės jėgainės schema</i>	<i>42</i>
<i>22 pav. EEDI rezultatai pritaikius WARTSILA 12V46DF eigos variklius.....</i>	<i>43</i>
<i>23 pav. EEDI rezultatai su hibridine jėgaine bei WARTSILA 9L46DF eigos varikliais .</i>	<i>45</i>
<i>24 pav. EEDI rezultatai papildomai su WARTSILA 6L20DF pagalbiniais varikliais... </i>	<i>46</i>
<i>25 pav. EEDI rezultatai papildomai sumontavus efektyvia šilumos utilizavimo sistemą</i>	<i>47</i>

<i>26 pav. nelaimingų atsitikimų 2000-2012 metų statistika pagal laivų tipus</i>	49
<i>27 pav. Pritaikytų technologijų palyginimas</i>	51

Lentelių sąrašas

<i>1 lentelė. Projektinis energijos vartojimo efektyvumo indeksas (PEVEI) sumažinimo veiksniai (procentais), palyginti su PEVEI referencine linija</i>	13
<i>2 lentelė. Parametrų lentelė atskaitos linijos nustatymui</i>	15
<i>3 lentelė. Laivo duomenys</i>	26
<i>4 lentelė. Pagrindinio variklio duomenys</i>	27
<i>5 lentelė. Pagalbinio variklio duomenys</i>	28

1. ANOTACIJA

Šiame “Laivyno techninės eksploatacijos valdymo” Magistrantūros studijų specialybės baigiamajame darbe bus tiriamas TJO (Tarptautinės Jūrų Organizacijos) įsteigto 4-to skyriaus MARPOL 6-to priedo reikalavimas, kuriuo siekiama pagerinti pasaulio laivyno efektyvumą su energijos efektyvumo projektavimo indeksu (EEDI). Daugeliui naujai statomiems laivams ar laivams, kuriems atliekama didelė modernizacija, turi būti nustatomas EEDI, kuris privalo būti mažesnis už reikalaujamą pagal IMO MARPOL 6-to priedo reikalavimus. Darbe bus aprašoma EEDI svarba bei įtaka pasauliniam laivynui, apžvelgti reglamentavimą bei reikalavimus. Taip pat apžvelgiamos technologijos, kurios padeda gerinti laivo energijos efektyvumo indeksą.

Pagrindinis tikslas šio energijos efektyvumo projektavimo indekso – sukurti metodą skirtą apskaičiuoti laivo energijos efektyvumą dar projekto stadijoje. Šis indeksas naudojamas kaip atskaitos linija efektyvumo prasme, kurią privalo pasiekti kiekvienas naujas laivo projektas.

Energijos efektyvumo projektavimo indekso apribojimo reikalavimai bus vykdomi trimis etapais. Šiuo metu eina į pabaigą 1-asis etapas nuo 2015 m. iki 2019 m. galo. Antrasis etapas prasidės nuo 2020 m. pradžios ir baigsis 2024 m. gale. O trečiasis etapas bus pradėtas nuo 2025 m.

Taip pat bus apžvelgtos technologijos, kuriomis vykdomas šio indekso gerinimas. Analizuojamos technologijos:

- Korpuso pasipriešinimo mažinimas;
- Perėjimas prie švaresnių kuro rūšių;
- Aukšto efektyvumo sraigtai;
- Išmetamųjų dujų šilumos utilizavimo sistemos;
- Projektinio greičio mažinimas;
- Hibridiniai propulsiniai kompleksai;
- Saulės energijos panaudojimas;
- Vėjo energijos panaudojimas;

Baigiamajame darbe taip pat bus atliekamas teorinis pasirinkto objekto modernizavimas, kurio tikslas nustatyti, kokių technologijų reikia laivui, kuris pastatytas kuomet EEDI reikalavimai nebuvo reglamentuojami, kad šis atitiktų griežčiausius reikalavimus, kurie įsigalios 2025 metais, jei laivo savininkui prireiktų laivo modernizacijos. Darbo objektas tyrime RO-PAX tipo laivas, skirtas pervežti riedančius ir (arba) ridenamus krovinius bei keleivius “VICTORIA SEAWAYS”. Šis laivas pastatytas 2009 metais Italijoje, Marina Di Carrara mieste „Nuovi Cantieri Apuania“ laivų statykloje ir priklauso „DFDS“ kompanijai. Tyrime pritaikomos apžvelgtos technologijos, siekiama pagerinti EEDI iki aukščiausių normų.

2. ANNOTATION

In this Master degree thesis on Fleet technical operation management will be examined the requirement of MARPOL Annex 6, Chapter 4 of the IMO (International Maritime Organization) to improve the efficiency of the world fleet with the Energy Efficiency Design Index (EEDI). For many newly built vessels or vessels undergoing major modernization, EEDI must be established at least less than the minimum required by IMO MARPOL Annex 6 requirements. The thesis will describe the importance of EEDI and its impact on the global fleet; described the regulation and requirements of this index. It also reviews technologies that help improve the ships energy efficiency index.

The main objective of this energy efficiency design index is to develop a method for calculating the energy efficiency of a ship at the design stage. This index is used as a reference line in terms of efficiency that every new ship project needs to achieve.

The energy efficiency design index restriction requirements will be implemented in three steps. At the moment we have stage 1 which started in 2015 and is going to be finished in the end of 2019. The second stage will begin at the beginning of 2020 and will be finished in the end of 2024. Finally the third stage will start in 2025.

In addition there will be reviewed and the technologies for improving this index.

There are the names of technologies that will be reviewed:

- Reducing of the ships' hull resistance;
- Moving towards cleaner fuels usage;
- Usage of the higher efficiency propellers;
- Usage of the exhaust gas heat recovery systems;
- Reducing of the ships' design speed;
- Hybrid propulsion complexes;
- Solar energy use;
- The use of wind energy.

The thesis will also include a theoretical modernization of the selected object, which aims to identify the technology required for a ship that was built when EEDI requirements were not regulated. The object of this study is a RO-PAX type vessel for the transportation of rolling and / or rolling cargoes and passengers "VICTORIA SEAWAYS". This ship was built in 2009 at Marina Di Carrara, Italy, at the "Nuovi Cantieri Apuania" shipyard, it belongs to "DFDS" Company. The survey uses all reviewed technologies in order to improve EEDI to the highest standards.

3. *IVADAS*

Problemos aktualumas

Jūrų laivyba yra neatsiejama pasaulinės ekonomikos dalis, daugiau nei 80 % prekių yra gabenamos jūrų transportu. Transporto sektorius atsakingas už 24% globalinio masto CO₂ emisijas ir yra vienas iš nedaugelio sektorių, kuriame emisijos nuolat didėja. Didėjant transporto prekių bei keleivių gabenimo tendencijoms privalo būti aptarti ir reguliuojami laivų išmetamų dujų kiekiai.

Šiuolaikinės aplinkosaugos problemos reikalauja permainų bei didelių pastangų norint užtikrinti darnų laivyno vystymąsi. Kad pasaulio laivynas nuolat tobulintu savo energijos efektyvumą Tarptautinė Jūrų Organizacija reglamentavo naują energijos efektyvumo projektavimo indekso reikalavimą.

Tarptautine Jūrų organizacija į oro taršą iš laivų susikoncentravo nuo 1980 metų. Paskutiniu metu ypač susikoncentruota į emisijas iš laivų, kurie sukelia šiltnamio efektą. TJO Jūrų aplinkos apsaugos komiteto diskusijose buvo įdėmiai išnagrinėti pagrindiniai faktoriai, kurie įtakoja šiltnamio efektą įtakojančių veiksnių susijusių su laivyba.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – išanalizuoti energijos efektyvumo projektavimo indekso gerinimo technologijas naujai statomiems bei esamiems laivams, jei ateityje prireiktų didelės apimties modernizacijos. Pritaikyti pasirinktam objektui šias technologijas bei palyginti jas.

Darbo uždaviniai

1. Išanalizuoti energijos efektyvumo projektavimo indekso reikšmę bei CO₂ emisijų problematiką.
2. Išsiaiškinti EEDI reglamentavimą, taikomumą bei susipažinti su šio indekso analitine struktūra.
3. Apžvelgti šiuolaikines technologijas, kurių pagalba yra didinamas laivo energijos efektyvumas.
4. Pasirinkus objektą, kuris neatitinka EEDI reikalavimų, atlikti tyrimą teorinės modernizacijos pagal aprašytas technologijas, kad šis objektas atitiktų griežčiausius EEDI reikalavimus (jei objektui ateityje prireiktu modernizacijos).
5. Technologijų naudingumo palyginamoji analizė

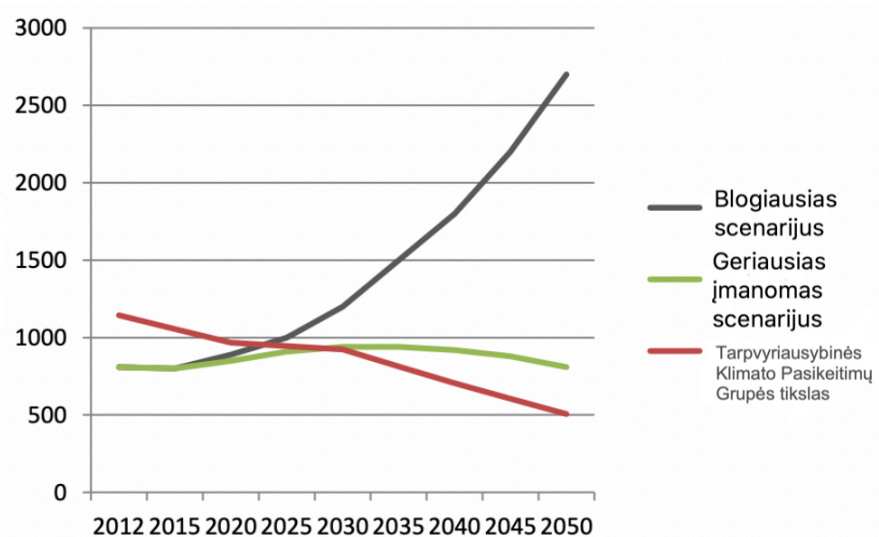
4. Jūrų transport CO₂ emisijų įtaka pasaulinei aplinkosaugai

Dėl globalizacijos bei ekonomikos kilimo jūrų transportu kasmet pergabenama daugiau nei 80% viso pasaulio krovinių. Kaip ir kitos transporto priemonės laivai naudoja iškastinį kurą, kaip energijos šaltinį gabenant krovinius. Jūrų transporto sektorius yra vienas iš nedaugelio, kuriame kenksmingų emisijų kiekis nemažėjo, bet tik didėjo.

Dėl įvairių vidaus degimo įrenginių bei energijos transformavimo procesų laivuose, ypač propulsiniame komplekse bei pagalbinėje jėgainėje, laivai yra didžiulis kenksmingų aplinkai emisijų šaltinis. Kaip tiesioginis rezultatas į atmosferą yra išmetama sieros oksidai SO_x, azoto oksidai NO_x, kietosios dalelės PM ir anglies dioksidai CO₂.

Anglies dioksidai labiausiai įtakoja iš šių emisijų pasaulio klimato atšilimui sukeledama šiltnamio efektą, kuris sparčiai įtakoja vidutinei metinei temperatūrai pasaulyje, sukeldamas ledynų tirpsmą. Šiltnamio efektas pasižymi savybe, neišleisti šilumos iš atmosferos. Saulės spindulių energija prasiskverbusi pro atmosferą šildo žemės paviršių, o dalis kuri nėra sugeriama žemės paviršiaus atsimuša nuo paviršiaus ir grįžta atgal į kosmosą, tačiau dėl per didelio anglies dioksido CO₂ kiekio bei kitų šiltnamio dujų, dalis saulės energijos negali išeiti atgal į kosmosą dėl šių dujų sukeliama infraraudonojo spinduliavimo, ši energijos dalis gražinama atgal žemės paviršiui, sukeldama klimato kaitą.

Dėl didėjančio krovinių kiekio Tarptautinė Jūrų organizacija nustatė, kad CO₂ emisijos sparčiai didės bei nubrežė tris scenarijus:



1 pav. CO₂ emisijų galimi scenarija pagal IMO

Blogiausias įmanomas scenarijus laukia jei CO₂ emisijos nebus niekaip apribotos bei padides keliasdešimt kartų per keletą metų. Geriausiu atveju CO₂ emisijos vistiek turės tendenciją didėti, bet jų kiekis atitinkamai būtų normalizuotas CO₂ emisijų reikalavimų įvedimu. Šiam tikslui TJO papildė MARPOL 6-to priedo reikalavimus energijos efektyvumo projektavimo indeksu.

5. IMO Organizacijos įtaka

Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencijos (UNFCCC) tikslas – stabilizuoti šiltnamio efektą sukeliančias dujas atmosferoje. Kioto protokolas nuo 1997 gruodžio mėnesio yra pagrindinis įrankis kovoje su klimato kaita, 2.2 straipsnyje numato: „Šalys, įtrauktos į I priedą, privalo įvesti apribojimus ar užtikrinti šiltnamio efektą sukeliančių emisijų sumažinimą iš aviacijos ar laivyno degalų dirbančioms su Tarptautine civiline aviacijos organizacija ir Jungtinių Jūrų organizacija“.

Šiame kontekste Tarptautinė Jūrų organizacija yra atsakinga už visuotini aspektų, susijusių su tarptautine laivyba, reguliavimą. Organizacija priėmė 1973 m. MARPOL (tarptautinė taršos iš laivų konvencija). 1997 metai ši konvencija buvo papildyta VI protokolo priedu, kuriame aprašoma oro taršos iš laivų apribojimai. Šis priedas buvo patvirtintas 2005 metais Gegužės 19d. (J. Larrucea. Prof. *Energy efficiency design index (eedi) marpol annex vi: legal framework and regulatory problems*)

6. Energijos efektyvumo projektavimo indeksas

Energijos efektyvumo projektavimo indeksas yra vienas iš svarbiausių techninių parametru naujiems laivams. Šiuo parametru siekiama skatinti naudoti efektyvesnę, mažiau teršiančią aplinką įrangą, variklius. Energijos efektyvumo projektavimo indeksas nurodo minimalaus energijos efektyvumo lygį vienai jūrmylei skirtingiems laivų tipams ir dydžio segmentams.

Nuo 2013 metų sausio 1 dienos, naujo laivo konstrukcijos turės atitikti laivo tipo tam tikrą konstrukcijos lygį, kuris planuojamas palaipsniškai griežtinamas kas penkis metus. Energijos efektyvumo projektavimo indeksas turėtų suteikti spartesnę technologijų vystymąsi, kurios įtakoja laivo degalų naudojimo efektyvumą, skatins naujoves bei techninę plėtrą nuo pat projektavimo pradžios.

Energijos efektyvumo projektavimo indeksas, tai nenurodantis, našumu pagrįstas mechanizmas, kuriuo paliekama galimybė pasirinkti technologijas konkrečiam laivų tipui. Laivų projektuotojai ir statytojai gali laisvai pasirinkti efektyviausius sprendimus bei technologijas, kol bus pasiektas reikiamas energijos efektyvumo vartojimo lygis. EEDI pateikia konkretų individualaus laivo energijos efektyvumo projektavimo skaičių, išreikštą anglies dioksido gramais pagal laivo krovininę mylią. Kuo mažesnis yra EEDI, tuo efektyvesnis yra laivas. Jis yra apskaičiuojamas pagal formulę, kuri paremta techniniais laivo projekto parametrais tam tikram laivui.

Pirmame etape CO₂ privaloma sumažinti 10 procentų (CO₂ gramai tonai jūrmylei), toliau šis skaičius bus didinamas kas penkerius metus, kad būtų pasiekta optimali technologijų efektyvumo plėtra. Emisijų mažėjimo normos nustatytos iki 2025-2030 metų periodo, kuomet pagal taikomų laivų tipus bus nustatytas 30 procentų CO₂ emisijų sumažėjimas, laivams kurie buvo pastatyti 2000-2010 metų laikotarpyje. EEDI yra taikomas didžiausiems ir daugiausiai energijos vartojantiems

pasaulio prekybos laivyno segmentams, ir apima šiuos laivų tipus: tanklaiviai, burių krovinių laivai, dujovežiai, generalinius krovinius vežantys laivai, konteinervežiai, Ro-Ro, RO-PAX, šaldytuvus, multi paskirties laivai. Laivų tipai, kuriems netaikoma dabartinė formulė, , tikimasi, kad ateityje bus parengtos tinkamos formulės, kuriose pirmiausia bus pateikti didžiausi teršėjai. (MARPOL Annex VI, Resolution MEPC.203(62))

Trumpai apibendrinus, EEDI tikslai yra šie:

- Pasiiekti minimalų energijos sunaudojimą naujiems laivams;
- Skatinti spartų technologijų vystymąsi, susijusiu su laivų kuro efektyviu panaudojimu;
- Atskirti technines ir projektines priemones, nuo komercinių ir operacinių;

Paprastiau tariant EEDI skaičiuoja laivo emisijas pagal laivo tipą (esamą jėgainės galią, plaukiojimo greitį ir t.t.) padalinant iš atlikto darbo tomis pačiomis sąlygomis. Žemiau pateikiama preliminari formulė:

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emisijos}}{\text{Atliktas darbas}} =$$

$$= \frac{(\prod_{j=1}^M f_j) * (\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} * C_{FME(i)} * SFC_{ME(i)}) + (f_{AE} * C_{FAE} * SFC_{AE}) + (\prod_{j=1}^M f_j * \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} * P_{AEff(i)}) * C_{FAE} * SFC_{AE} - (\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} * P_{eff(i)} * C_{FME} * SFC_{ME})}{f_i * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Formulė priklauso nuo kelių veiksnių ir koeficientų. Taip pat egzistuoja Energijos efektyvumo operacijų indeksas (EEOI), kuris taip pat paremtas faktiniu CO₂ emisiju išmetimu ir atliktu darbu. Bet EEOI turi įtakos laivų eksploatavimo operacijos, o EEDI yra tik susijęs su laivo konstrukcinėmis savybėmis. (S. M. RASHIDUL HASAN *Impact of EEDI on Ship Design and Hydrodynamics*)

Ši formulė netaikoma visiems laivams, ji nėra tinkama visiems laivų tipams (ypač tiems laivų tipams, kuriems nėra skirti gabenti krovinius) bei propulsiniams kompleksų tipams.

7. Laivo energijos efektyvumo valdymo planas

Laivo energijos efektyvumo valdymo planas (LEEVP) – tai operacinė priemonė, kuria sudaromas mechanizmas padedantis efektyviai pagerinti laivo energetinį efektyvumą. LEEVP taip pat suteikia laivybos kompanijoms galimybę valdyti ir planuoti laivyno našumą per tam tikrą laiką, pavyzdžiui, energijos efektyvumo operacijų indeksas kaip stebėjimo priemonė. Gairėse (MEPC.1 / Circ.684), EEOI tobulinimui naujiems bei esamiems laivams, pateikiama geriausia degalų taupymo operacijų praktika. EEOI leidžia laivyno vadovams išmatuoti degalų naudojimo efektyvumą ir vertinti bet kokių eksploatavimo pasikeitimų poveikį, pavyzdžiui geresnis maršruto planavimas ar dažnesnis

laivo korpuso bei sraigto valymas arba įvestų naujų technologijų poveikis. LEEVP skatina laivo savininkus bei operatorius kiekviename plano etape apsvarstyti naujas technologijas bei veiksmus, siekiant optimizuoti laivo charakteristikas. MARPOL Annex VI, Resolution MEPC.203(62)).

8. Laivo energijos efektyvumo reglamentavimas bei gairės

2011 metais MARPOL konvencijos 6-asis priedas (MEPC.203(62) rezoliucija) buvo papildytas nauju 4-tu skyriumi „Energijos efektyvumo laivams reglamentavimas“. Jame išsamiai aprašomas MARPOL konvencijos VI priedo 4-tas skyrius, bei konkrečiai paaikšina energijos efektyvumo projektavimo indekso bei energijos efektyvumo operacijų indekso reikšmė ir svarbą naudojant TJO gaires.

Resolution MEPC.176(58)	Resolution MEPC.203(62)
Chapter III Reg. 12 Ozone Depleting Substances Reg. 13 Nitrogen Oxides(NOx) Reg. 14 Sulphur Oxides(SOx) and Particular Matter Reg. 15 Volatile Organic Compounds (VOCs) Reg. 16 Shipboard Incineration Reg. 17 Reception Facilities Reg. 18 Fuel Oil Availability and Quality	Chapter III Reg. 12 Ozone Depleting Substances Reg. 13 Nitrogen Oxides(NOx) Reg. 14 Sulphur Oxides(SOx) and Particular Matter Reg. 15 Volatile Organic Compounds(VOCs) Reg. 16 Shipboard Incineration Reg. 17 Reception Facilities Reg. 18 Fuel Oil Availability and Quality
	Chapter IV Reg. 19 Application Reg. 20 Attained EEDI Reg. 21 Required EEDI Reg. 22 SEEMP Reg. 23 Promotion of technical co-operation and transfer of technology relating to the improvement of energy efficiency of ships
Appendix I ~VI	Appendix I ~VI Appendix VII Form of International Energy Efficiency(IEE) Certificate

2 pav. MARPOL VI priedo nauji reikalavimai (raudona spalva)

Diskusijose dėl energijos efektyvaus suvartojimo laivyboje TJO susitarimuose, buvo pridėtas naujas 4 skyrius VI MARPOL priede. 2 pav. Raudona spalva pažymėti nauji priedo reikalavimai:

8.1. Taisyklė 19 – Taikomumas

Šis reglamentas nustato energijos efektyvumo taisyklių taikomumą laivams sritį. Pagal MARPOL VI priedo 4 skyrių, taisyklės taikomos visiems laivams, kurių bendrasis tonažas yra 400 tonų ir daugiau dirbantiems tarptautiniuose vandenyse. Administracijoms suteikiama ribota teisė atsisakyti EEDI reikalavimų naujam laivui iki 2019 m. liepos 1 dienos, apie tai pranešus TJO ir kitoms šalims apie šį sprendimą. Atsisakymo sąlyga atsirado dėl didelių diskusijų Jūrų aplinkos apsaugos komitete, kur buvo pabrėžta, jog kai kurie laivai gali neatitikti šių TJO reikalavimų, nors pats laivas laikomas geros konstrukcijos. Svarbu pabrėžti, kad atsisakymas būtų taikomas konkrečioms laivams, o ne visiems valstybės vėliavos laivams.

8.2. Taisyklė 20 – EEDI

Šiame reglamente kalbama apie pasiektą EEDI ir nurodo jo skaičiavimo poreikį bei patikrinimą. Pasiektas faktinis EEDI, tai apskaičiuotas laivo EEDI naudojant formules. Pagal šį reglamentavimą:

- EEDI turi būti paskaičiuotas visiems naujiems laivams, bei laivams, kuriems yra atliekami dideli pakitimai;
- EEDI yra taikomas daugumai tipų laivų, bet ne visiems. Pavyzdžiui, žvejybinio tipo laivams EEDI netaikomas;
- EEDI privalo būti apskaičiuotas pagal TJO gaires;
- Laive privalo būti pasiekto EEDI techninis dokumentas, kuriame pateikiama visa reikalinga informacija, reikalinga EEDI skaičiavimui bei pats skaičiavimo procesas;
- Laivo EEDI turi būti patvirtintas remiantis EEDI technine dokumentacija administracijos arba autorizuotos organizacijos;

Kaip aukščiau minėta, nevisiems laivams taikomas EEDI, žemiau pateikiamas sąrašas taikomiems laivų tipams:

- Birių krovinių ;
- Dujovežiams;
- Tankeriams;
- Konteinervežiams;
- Generalinių krovinių;
- Šaldytuvams;
- Ro-Ro, Ro-Pax
- SGD laivams;
- Kruiziniams laivams.

1 lentelė. Projektinis energijos vartojimo efektyvumo indeksas (PEVEI) sumažinimo veiksniai (procentais), palyginti su PEVEI referencine linija

Laivo tipas	Dydis	0 etapas	1 etapas	2 etapas	3 etapas
		2013 01 01-2014 12 31	2015 01 01-2019 12 31	2020 01 01-2024 12 31	2025 01 01 ir vėliau
Balkeris	20 000 ir didesnės dedveito talpos	0	10	20	30
	10 000-20 000 dedveito talpos	netaikoma	0-10*	0-20*	0-30*
Dujoms vežti skirtas laivas	10 000 ir didesnės dedveito talpos	0	10	20	30
	2 000-10 000 dedveito talpos	netaikoma	0-10*	0-20*	0-30*
Tanklaivis	20 000 ir didesnės dedveito talpos	0	10	20	30
	4 000-20 000 dedveito talpos	netaikoma	0-10*	0-20*	0-30*
Konteinerinis laivas	15 000 ir didesnės dedveito talpos	0	10	20	30
	10 000-15 000 dedveito talpos	netaikoma	0-10*	0-20*	0-30*

Bendrosios paskirties kroviniškas laivas	15 000 ir didesnės dedveito talpos	0	10	15	30
	3 000-15 000 dedveito talpos	netaikoma	0-10*	0-15*	0-30*
Šaldytiems kroviniams vežti skirtas laivas	5 000 ir didesnės dedveito talpos	0	10	15	30
	3 000-5 000 dedveito talpos	netaikoma	0-10*	0-15*	0-30*
Ro-Ro (automobilius gabenantys)	10 000 ir didesnės dedveito talpos	0	5	15	30
Ro-Ro (krovinių gabenantys)	2000 ir didesnės dedveito talpos	0	5	20	30
	1000-2000 dedveito talpos	0	*0-5	*0-20	*0-30
Ro-Ro (keleivius gabenantys)	1000 ir didesnės dedveito talpos	0	5	20	30
	250-1000 dedveito talpos	0	*0-5	*0-20	*0-30
Kruiziniai su nekonvencinę propulsija	85000 ir didesnės bruto talpos	0	5	20	30
	25000-85000 bruto talpos	0	*0-5	*0-20	*0-30

* Sumažinimo veiksnys yra skalėje tarp abiejų kraštinių dydžių, atsižvelgiant į laivo dydį. Mažesnis sumažinimo veiksnys taikomas mažesniems laivams.

8.3. Taisyklė 21 - Reikalaujamas EEDI

Šiame reglamente nurodoma skaičiavimo metodika ir visi susijusių dokumentų detalės reikalaujamo EEDI. Reikalaujamas EEDI yra riba, o jos skaičiavime atsižvelgiama ankstesnę patirtį ir įtakojančius veiksnius.

Pagrindinės šio reglamento nuostatos yra šios:

- Atskaitos linija – tai bazinė EEDI linija kiekvienam laivo tipui, kuri parodo EEDI kaip laivo dydžio funkciją. Išsamiau kaip yra parengiamos atskaitos linijos, įskaitant duomenų šaltinius, duomenų kokybes patikrinimus yra aprašyta atitinkamai TJO gairėse MEPC.231 (65). Kaip nurodyta aukščiau, atskaitos linija yra paskaičiuota daugelio duomenų ir rezultatų regresinės analizės būdu, regresijos lygtis yra parodoma kiekvienoje diagramoje. Šios regresijos lygtis įformintos 21-os taisyklės formule:

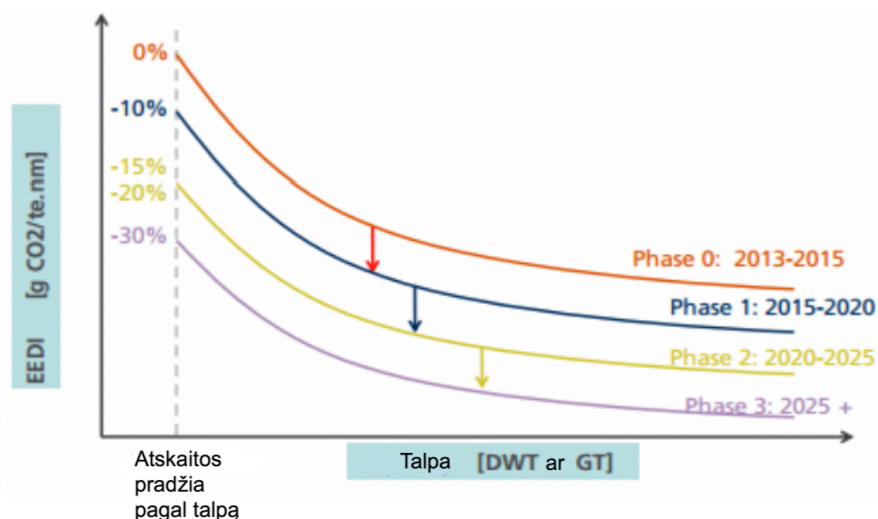
$$\text{Reference EEDI} = a \cdot b^{-c}$$

Parametrai a, b ir c priklauso nuo laivo tipo ir yra pateikiami 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Parametrų lentelė atskaitos linijos nustatymui

Ship type defined in regulation 2		a	b	c
2.25	Bulk carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
2.26	Gas carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
2.27	Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
2.28	Container ship	174.22	DWT of the ship	0.201
2.29	General cargo ship	107.48	DWT of the ship	0.216
2.30	Refrigerated cargo carrier	227.01	DWT of the ship	0.244
2.31	Combination carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488
2.33	Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	$(DWT/GT)^{-0.7} \cdot 780.36$ where $DWT/GT < 0.3$	DWT of the ship	0.471
		1812.63 where $DWT/GT \geq 0.3$		
2.34	Ro-ro cargo ship	1405.15	DWT of the ship	0.498
2.35	Ro-ro passenger ship	752.16	DWT of the ship	0.381
2.38	LNG carrier	2253.7	DWT of the ship	0.474
2.39	Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	170.84	GT of the ship	0.214

- Sumažėjimo koeficientas – tai procentinis dydis EEDI sumažėjimo lyginant su atskaitos linija. Šis faktorius leidžia palaispniui griežtinti EEDI reglamentaciją. 2-oje lentelėje yra pateikiami laivų tipų sumažėjimo koeficientai.
- Atskyrimo lygis – mažesnio tipo laivams netaikomas EEDI reglamentavimas dėl techninių charakteristikų, dėl šios priežasties normatyve yra nurodomas dydžio ribos. Šios ribos ir yra atskyrimo lygis.
- Įgyvendinimo etapai – EEDI bus įgyvendinamas keliais etapais. Šiuo metu eina į pabaigą 1-asis etapas nuo 2015 m. iki 2019 m. Antrasis etapas prasidės nuo 2020 m. ir baigsis 2024 m. O trečiasis etapas bus pradėtas nuo 2025 m.



3 pav. Konceptinis reikalaujamo EEDI, sumažėjimo lygio ir įgyvendinimo etapų kreivės

8.4. Taisyklė 22 – Laivo energijos efektyvumo valdymo planas (LEEVP)

Kiekvienas laivas daugiau kaip 400 bruto talpos privalo turėti denyje laivo energijos efektyvumo valdymo planą (LEEVP). Šis planas taip pat gali būti dalis laivo saugos valdymo plano. Šis planas privalo būti parengtas atsižvelgiant į TJO rekomendacijas MEPC Resolution 203(62). Šiam planui nėra poreikio institucijoms jį peržiūrėti ir patikrinti, tačiau, pats planas būti laive privalo.

8.5. Taisyklė 23 – Techninis bendradarbiavimas ir technologijų perdavimas

Šis reglamentas buvo parengtas besivystančiu šalių prašymu po diskusijų su TJO MEPC dėl šalių vaidmenų, susijusių su šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo, techninėmis ir finansiniais sunkumais, kuriuos besivystančio šalys gali patirti dėl EEDI plano taisyklių.

Administracijos, bendradarbiaudamos su TJO organizacija ir kitomis tarptautinėmis įstaigomis, tiesiogiai per TJO organizacija, jei reikia gali prašyti techninės pagalbos.

Šalies administracijos, bendradarbiaudamos su kitomis šalimis, priklausomai nuo jos nacionalinių įstatymų, reglamentų bei politikos, skatina technologijų plėtra, jų perdavimą, keitimąsi informacija su besivystančioms šalimis. (IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation, Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines).

9. EEDI reikalavimų atitikimas

Kad laivai atitiktų EEDI reikalavimus, laivai turi būti aprūpinti veiksmingomis, efektyviomis ir gerai suprojektuotomis technologijomis. Pavyzdžiui „MAN Diesel & Turbo” , „Wartsila” bei kitos kompanijos siūlo platų sprendimų spektrą, įskaitant variklius, turbokompresorius ir sraigtus. Jų technologijos atitinka aukščiausios kokybės standartus.

Pagerinti laivo efektyvumą galima keliais būdais:

- Mažinant korpuso pasipriešinimą su vandeniu;
- Naudojant mažiau taršų kurą;
- Gerinant eigos bei pagalbinių variklių efektyvumą;
- Mažinti propulsinio komplekso elementų trinties faktorius;
- Mažinant projekcinį greitį;
- Naudojant inovatyvias technologijas;

9.1 Korpuso pasipriešinimo mažinimas

Kad pasiekti šiuos būsimus EEDI reikalavimus pirmiausia yra skirti laivo korpuso pasipriešinimui vandeniui sumažinti, kad būtų pasiektas pageidaujamas greitis su mažesne galia. Laivai yra

suprojektuoti plaukinti ribiniais greičiais. Bet kuriai laivo korpuso formai ribinis greitis gali būti apibrėžiamas kaip greičio diapazonas, per kurį pasipriešinimo koeficientai keičiasi nuo beveik pastovaus iki sparčiai didėjančio su augančia eksploataavimo savikaina (*Silverleaf ir Dawson, 1966*). *Kristensen (2010), Stott ir Wright (2011), Lindstad 2013) ir Lindstadas (2015)* ištyrė, kaip korpuso formos gali būti padarytos labiau efektyvesnėmis, keičiant pagrindinius santykius tarp sijos, grimzlės ir ilgio, kad sumažinti blokų koeficientus išlaikant nekintančius krovinių gabenimo pajėgumus.

Rezultatai rodo, kad šie nauji korpuso projektai, kurie vadinami siauro dizaino (*slender designs*) ir yra mažesnės apimties, o tai žymiai sumažina traukos ir reikalingos energijos poreikius bei degalų sąnaudas.

Tokios priemonės, kaip bendro svorio mažinimas, patobulintos korpuso dangos ir geresnis tepimas, gali prisidėti prie laivo korpuso pasipriešinimo savybių tobulinimo (mažinimo).

EEDI parametrus galima pasiekti mažinant korpuso pasipriešinimą vandeniui, kuris mažina varomąją jėgą. Vienas iš būdų, kaip tai pasiekti, yra padidinti korpuso ilgį, spindulį arba abu taip sumažinant bloko koeficientą, leidžiantį mažinti konstrukciją, bet išlaikant nepakitusį laivo krovos pajėgumą.

9.2 Perėjimas prie kitų kuro tipų

Perėjimas prie kuro tipų su mažesniu anglies dioksido kiekiu tiesiogiai sumažina išmetamo CO₂ kiekius (*Bengtsson, 2011; Chryssakis, 2014; Gilbert, 2014; Taljegard, 2014; Thomson, 2015; Psaraftis, 2016*).

Suskystintos gamtinės dujos (SGD) yra labiausiai tinkamos dėl savo vandenilio ir anglies santykio, dėl kurio sumažėja išmetamas anglies kiekis vienam kW per valandą maždaug 25%, palyginti su dyzelinu.

Tačiau SGD sudegant laivų varikliuose, nesudegantis metanas CH₄ turės 28–34 kartus didesnę šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) poveikį nei CO₂ šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetamas kiekis per šimto metų perspektyvą. (*IPCC, 2013*), (*angl. IPG, 2013*). *Verbeek ir kt., 2011; Verbeek ir Verbeek, 2015*.

Biokuroi degant išmetamas CO₂ yra nulinis (IPCC), nes jis pirmiausia yra išskiriamas iš atmosferos ir absorbuojamas pasėliais, kurie naudojami biokuro gamybai. Biodegalų anglies neutralumo prielaida labai priklauso nuo šaltinio pasėlių ciklą, jų geografinės padėties ir tiesioginių bei netiesioginių pokyčių, atsiradusių dėl derliaus nuėmimo (*Cherubini, 2013*).

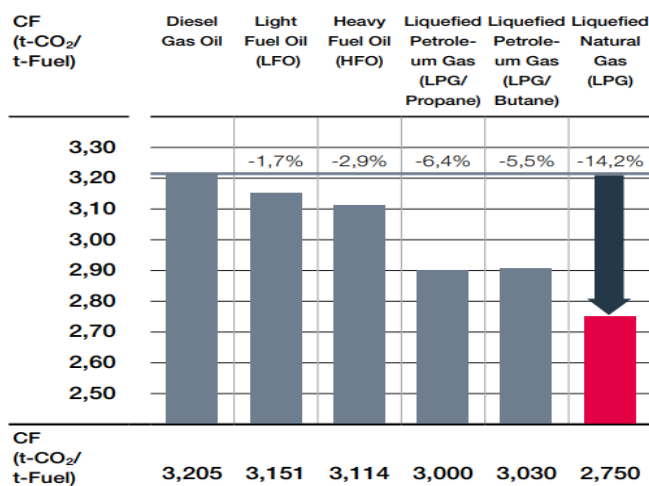
Vis daugiau dėmesio pritraukia Vandenilis (*Bouman, 2017*), nes jį deginant nesusidaro CO₂, taip pat atsinaujinantys energijos šaltiniai, tokie kaip pvz., vėjas (*Perkins, 2004; Clauss, 2007; Traut, 2014; Teeter ir Cleary, 2014; Tillig, 2015; Psaraftis, 2016*) ir saulės energija (*Sjöbom ir Magnus, 2014*).

Plačiau apžvelgsime galimybę gerinti EEDI skystas gamtines dujas (SGD), turinčias didesnę vandenilio ir anglies santykį, palyginus su įprastomis alyvomis ir dyzelinu. Yra dvi pagrindinės SGD variklių koncepcijos: aukšto ir žemo slėgio. Aukšto slėgio dviejų tipų degalų SGD koncepcijoje SGD įpurškiamos su aukštu slėgiu ir uždegamos nedideliu dyzelino kiekiu. Šio proceso metu dujos praktiškai visiškai sudega ir dėl to beveik nelieta nesudegusio metano.

Žemo slėgio sistemoje SGD įpurškiamos su žemu slėgiu ir uždegamos nedideliu dyzelino kiekiu. Rezultate susidaro nedidelis NOx kiekis, atitinkantis TJO III pakopai su griežčiausiais NOx reikalavimais, o aukšto slėgio SGD koncepcija reikalauja papildomų taršos mažinimo technologijų, kad tarša atitiktų TJO III pakopai. Tačiau žemo slėgio SGD įpurškimo varikliai išskiria didelį kiekį nesudegusio metano. Naujausiame Norvegijos NOx fondo tyrime (*Stenersen ir Thonstad, 2017*), remiantis reprezentatyviu esamų dujomis varomų laivų su žemo slėgio dujų varikliais pavyzdžiu, vidutinė metano emisija buvo 5,3 g CH₄ už pagamintą kWh, o tai iš esmės panaikina išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų naudą, palyginti su tradiciniais degalais (600 g/kW h * 0.75 + 5.3 g/kW h * 30 = 609 g/kW h, kur 600 yra g CO₂ kW h). Šiuolaikiniuose (SoA) žemo slėgio dujų varikliuose su pažangesnėmis variklio valdymo sistemomis, vidutinė metano emisija gali būti sumažinta iki 3–4 g CH₄ už kWh.

Dėl šių priežasčių žemo slėgio dvigubo kuro technologijoje, gaunamas vidutiniškai 5 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimas.

„MAN Diesel & Turbo“, „Wartsila“ bei kiti gamintojai siūlo platų variklių pasirinkimą su dvigubo kuro technologija. Tai varikliai, kurie yra itin veiksmingi, universalūs, tinkami daugumai laivybos tipų. Šie varikliai leidžia laivų savininkams pasinaudoti prieinamumu, dujų kainos patrauklumu, bet ir tuo pačiu metu, suteikti degalų pasirinkimo lankstumą. 3-čiame paveiksle pateikiamas CO₂ emisijų sumažėjimas naudojant SGD kaip kurą.



4 pav. CO₂ emisijos pagal naudojamą kurą

9.3 Aukšto efektyvumo sraigtas

Dar vienas iš efektyvių EEDI optimizavimo variantų – aukšto efektyvumo sraigtas. Kappel sraigto tipas – šiuolaikiško ir inovatyvaus propulsinio komplekso dalis. Šio tipo sraigtas pasižymi aukštu efektyvumu lyginant su įprastu, įprastų sraigčių mentys modeliuojamos spiralines formos pagrindu, o Kappel sraigto mentys sklandžiai lenktos į įsiurbimo pusę, siekiant sumažinti energijos nuostolius nuo sūkurinės srovės srauto.



5 pav. Įprastas sraigtas ir Kappel tipo sraigtas

Šie propelerių tipai buvo suprojektuoti atsižvelgiant į naujus EEDI reikalavimus. Lyginant Kappel sraigtus su įprastais tomis pačiomis eksploatacijos sąlygomis, Kappel sraigtas yra 5 % efektyvesnis, o jei dar papildomai naudojant prie jo vairo gaubtą, efektyvumą galime padidinti iki 9-10 %.

9.4 Šilumos išsiskyrimo utilizavimo sistemos

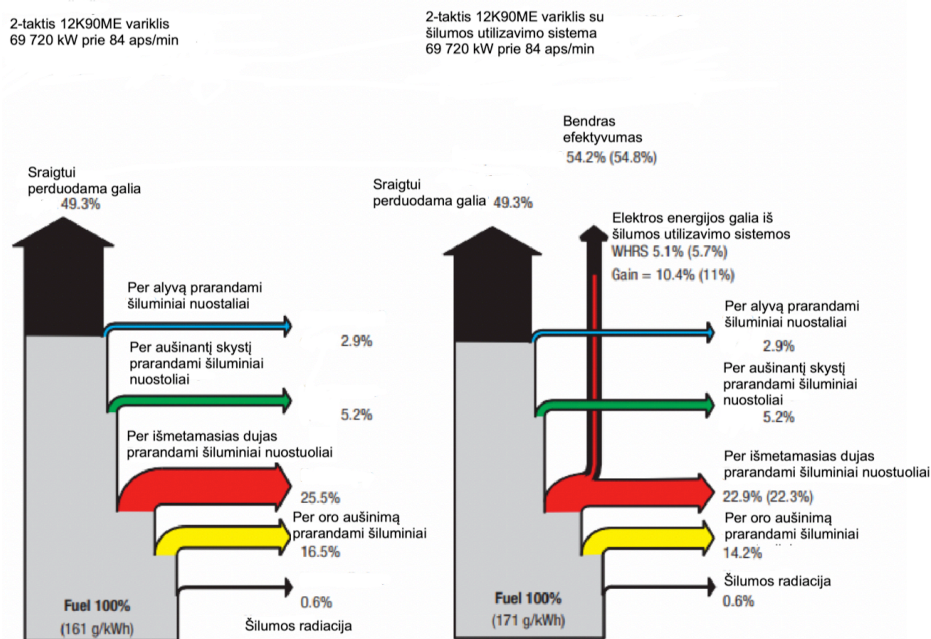
Naujos priimtos EEDI taisyklės, padidino susidomėjimą ieškant sprendimų mažinant laivų emisijas. Pagrindinių laivo variklių išmetamųjų dujų energija yra vienas iš labiausiai patrauklių variantų norint pagerinti laivo EEDI.

Nors pagrindinių variklių degalų energijos sąnaudų efektyvumas sudarantis daugiausiai 50% ir yra palyginti didelis, laivo savininko pagrindiniu tikslu vis tiek išlieka laivo eksploatavimo sąnaudų mažinimas, tame tarpe kaip pagrindinė to priemonė yra bendrų laivo degalų sąnaudų mažinimas. O tai veda prie tolesnio išmetamųjų dujų CO₂ mažinimo, o ši užduotis tampa dar svarbesnė įvedus naujas TJO EEDI taisykles nuo 2013 m.

Pagrindinis variklių šilumos (energijos) praradimo šaltinis yra variklių išmetamųjų dujų šilumos išsiskyrimas, kuris sudaro apie pusę visų šilumos praradimų ir apie 25% viso kuro energijos praradimų. Standartinio didelio naudingumo variklio atveju išmetamųjų dujų temperatūra po turbokompresoriaus yra santykinai maža, bet pakankamai didelė, kad būtų galima gaminti reikalingą garą laivo šildymui, naudojant standartinį išmetamųjų dujų šildymą.

Tačiau egzistuoja šilumos utilizavimo sistemos, kurios suteikia galimybes gaminti elektros energiją iš išmetamųjų dujų. Kaip rezultatas bus šioks toks pagrindinio variklio efektyvumo sumažėjimas, tačiau turi pagerėti bendras efektyvumo lygis.

6 paveiksle parodytas dviejų variklių šilumos balansų palyginimas - vieno su šilumos utilizavimo sistema, o kito be jos. Paveikslėlyje matome, kad variklis su šilumos utilizavimo sistema gali padidinti bendrą efektyvumą iki maždaug 55%.



6 pav. Šilumos balanso palyginimas

TJO EEDI reglamentas leidžia naudoti šilumos utilizavimo sistemas, vertinant ir atliekant laivo EEDI skaičiavimus ir galutinius EEDI nustatymus. Kadangi EEDI yra laivo išmetamųjų dujų CO₂ kiekio matavimo priemonė, todėl išmetamųjų dujų CO₂ kiekio sumažinimas gali būti pasiektas naudojant šilumos utilizavimo sistema.

Šiandien yra keletas skirtingų šilumos utilizavimo sistemų. Priklausomai nuo savininkui ir laivų statyklai priimtino sudėtingumo lygio ir faktinio elektros energijos suvartojimą laive, galima pasirinkti iš žemiau išvardintų sistemų:

- ST-PT (Steam turbine – Power turbine) – garo-galios turbinos generatorius;
- STG (Steam turbine generator) – garo turbinos generatoriaus;
- Garo turbinos autonominis generatorius (vieno ar dviejų slėgio kontūrų);
- PTG (Power turbine generator) – galios turbinos autonominis generatorius.

Taip pat įmanomas šių sistemų kombinavimas siekiant pasiekti aukštą efektyvumą.

(Waste heat recovery systems for reduction of fuel consumption, emission and EEDI, MAN B&W)

9.5 Projektinio greičio mažinimas

Galimybė - sumažinti projektinį greitį, įdiegiant mažiau energijos. Kadangi varomosios jėgos poreikis reikalingas varančiajai jėgai išvystyti didėja didinant greitį trigubu greičiu ir daugiau („Silverleaf“ ir „Dawson“, 1966 m.), tai tokiu atveju mažinant projektinį greitį degalų sąnaudos vienai jūrmylei taip pat sumažėja maždaug per ketvirtį greičio. Šiuo metu esant didesnėms kuro kainos, palyginti su 1990 m. ir 2000 m. pradžioje kombinacijoje su pertekliniais pajėgumais laivybos rinkose, dabar laivai paprastai dirba apie 50% arba dar mažiau nuo jų turimo galingumo (Smith, 2014).

Kalbant apie EEDI, darbinio greičio mažinimas yra nesvarbus, kai tuo tarpu įdiegto galingumo mažinimas yra vienas iš būdų išlaikyti leistinas EEDI ribas. Paaiškinimas yra sekantis: jei sumažinsime įdiegtą galią maždaug 30%, tiek greitis, tiek nuplauktas atstumas sumažės maždaug 10%, o tai reiškia, kad išmetamų teršalų kiekis sumažės 20% per toną jūrmylei.

TJO taip pat turi papildomą savanorišką reguliavimą, vadinamą energijos vartojimo efektyvumo rodikliais (EEOI). EEOI yra indeksas, kurį operatoriai gali naudoti laivų eksploatacijos efektyvumo įvertinimui (priešingai nei EEDI, kurie vertina projektą).

9.6 Hibridiniai propulsiniai kompleksai

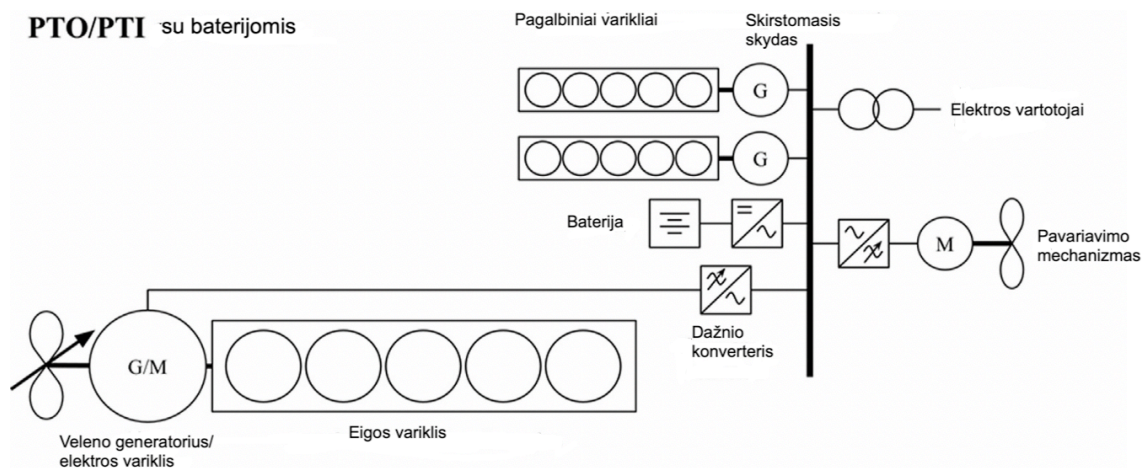
Naudojant hibridinį propulsinį kompleksą, pagrindinis variklis gali užtikrinti tiek varomąją jėgą, tiek ir pagalbines, apgyvendinimo palaikymui reikiamas apkrovas ramioje jūroje, o akumulatoriai naudojami kompensuoti apkrovos svyravimus ir padidinti varomąją galią kritinėse situacijose. Be to, sugedus pagrindiniam varikliui, akumulatoriai kartu su pagalbinais varikliais gali užtikrinti pakankamą varomąją jėgą, kad laivas galėtų nuplaukti į uostą („palydėk mane namo“ „take me home“ funkcija).

Maitinimas nuo akumuliatorių taip pat gali būti kaip pirminis energijos šaltinis, kai laivas stovi naktį krantinėje. Pav. 3 iliustruoja hibridinį galios nustatymą Aframax tanklaiviuose su vienu pagrindiniu varikliu, veleno generatoriumi ir varikliu (PTO / PTI), kintamojo žingsnio sraigtu, akumulatoriais ir pagalbinais varikliais.

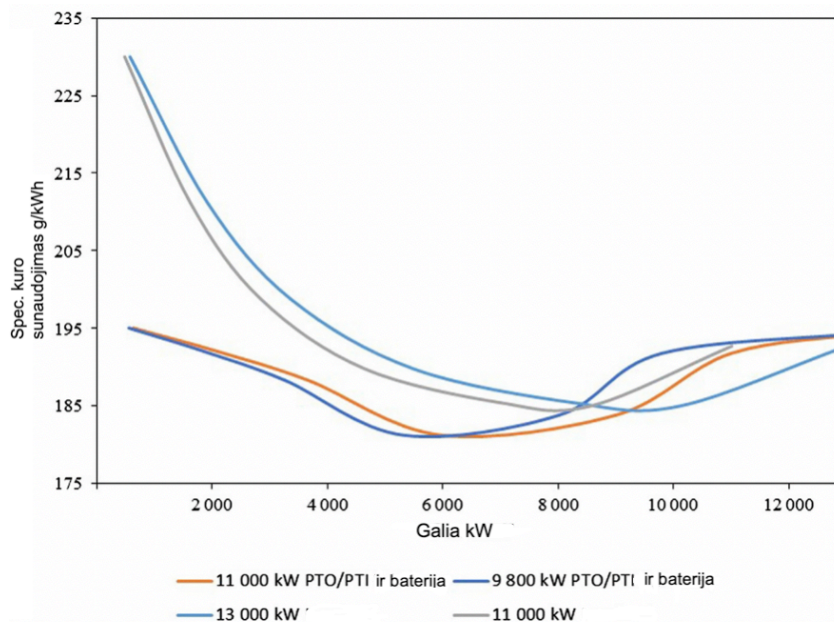
Istoriškai pagrindiniai laivų varikliai buvo optimizuoti taip, kad jie būtų patikimi ir turintys mažas degalų sąnaudas (kWh) naudojant didelį galingumą. Pastaruoju metu dėl mažesnių krovinių gabenimo tarifų ir didesnių degalų kainų laivų savininkai pradėjo prašyti optimizuoti pagrindinius variklius, kad būtų sumažintos vidutinės galios apkrovos, arba kad jų galia būtų sumažinta, kad geriau atitiktų dabartinius tipinius galios reikalavimus, kaip ir naujai pastatytiems konteineriniams

laivams. Pagrindinė masė laivų ir tanklaiviai turi pagrindinius variklius, kurių galia atitinka dydžiui reikalingam kritinėje situacijoje. Hibridinio propulsinio komplekso variante su papildomais akumuliatoriais, pagrindinio variklio dydžiai gali būti sumažinti.

Hibridinis variantas leidžia sumontuoti mažesnį pagrindinį variklį (pvz., 11 000 kW) ir akumuliatorius kartu su PTO / PTI, kad būtų galima gauti papildomą 2000 kW galingumą, kad prireikus būtų pasiekta maksimali galia iki 13 000 kW.



7 pav. Hibridinės energijos sistemos su PTO / PTI ir akumuliatoriais konfigūravimas.



8 pav. Specifinis mazuto sunaudojimas (SFOC) kaip galios pasirinkimo funkcija naudojant hibridines jėgaines.

8 pav. Parodyta degalų sąnaudos vienam kW h visam eksploatavimo diapazonui, t.y. nuo tuščiosios eigos prie krantinės iki didžiausios galios, kiekvienam iš tiriamų variantų, įskaitant visus konversijos nuostolius, susijusius su PTO / PTI sistema ir akumuliatoriais. Grafiko kreivės nustatytos

kontaktuojant su variklių gamintojais „Man“ ir „Wärtsilla“ ir yra pagrįstos sunkiojo mazuto (HFO) naudojimu, su korekcijomis, kad gauti realaus naudojimo eksploatacijoje rezultatus, o ne gamintojo laboratorinių bandymų rezultatus.

Išvados, kurias galima padaryti iš 8 pav., yra tai, kad hibridinės galios parinktys, pvz. 9800 kW variklis ir akumuliatorius arba 11000 kW variklis ir akumuliatorius duos mažiausias kuro sąnaudas, kada reikalingas galingumas yra mažesnis nei 8500 kW. Tradiciniai įrenginiai su vienu varikliu pasižymi mažiausiomis degalų sąnaudomis nuo 9500 kW iki 13000 kW.

(E. Lindstad, T. Ingebrigtsen *Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements*)

9.7 Saulės energijos panaudojimas

Saulės energija laivuose yra panaudojama kolektorių pagalba. Saulės kolektoriai laivuose yra įrengiami elektros energijai gaminti ir naudojami dyzelinių generatorių gaminamai energijai papildyti bei tokiu būdu sumažinti generatorių reikalingą apkrovą. Saulės energijos jėgainės gali gaminti energiją tiek jūroje, tiek uoste, tačiau tik dienos šviesoje, todėl saulės kolektoriai gali gaminti energiją tik 50% nuo bendro laiko. Be to, saulės kolektoriai gaminamos energijos kiekis priklauso ir nuo debesuotumo, todėl net ir dienos metu saulės kolektoriai gali gaminti energiją ne visais pajėgumais.

Saulės kolektorių plokštės gali būti taikomos įvairių amžiaus grupių laivams, plaukiojantiems zonose veikiamose saulės spindulių. Tačiau, norint gamintis laivuose elektros energiją iš saulės kolektorių, reikalingas didelis plotas jų įrengimui, todėl tik laivai, kurie nėra priklausomi nuo denio erdvės, gali naudotis sistema.

9.8 Vėjo energijos panaudojimas

Vėjo energija, kaip atsinaujinančios energijos šaltinis, laivuose taip pat gali būti panaudojama suteikti energijos pagalbinei jėgainei bei propulsiniam kompleksui. Vėjo energijos panaudojimas laivuose yra taikomas keliais būdais:

- Burės;
- Aitvarai;
- Rotorinės turbinos;

Burės bei aitvarai iš esmės yra pirmųjų laivų varomasis energijos šaltinis, dar nuo antikos laikų žmonės išmoko panaudoti vėjo energiją laivuose įmontuodami bures. Burių bei aitvarų darbo principas vienodas, sudaryti didelį paviršiau plotą taip, kad vėjo energija veiktų šį paviršiu ta

kryptimi, kuria plaukia laivas, taip suteikiant energijos judėjimui. Atsiradus garo bei vidaus degimo varikliams burės bei aitvarai tapo nebenaudojamos laivuose, išskyrus pramoginę laivybą. Tačiau sparčiai besivystant pasaulio laivynui, o tuo pačiu kylant kenksmingų emisijų kiekiui iš laivų, mokslininkai bei projektuotojai nusprendė pritaikyti seną burių bei aitvarų technologiją šiuolaikiniams laivams.

Šiuolaikinėje laivyboje burės bei aitvarai gali būti panaudoti kaip papildomas energijos šaltinis laivams, kuris sumažintų apkrovą pagrindiniams eigos varikliams taip sumažindamas jų kuro suvartojimą. Burių panaudojimą apriboja masyvi konstrukcija, todėl ji nėra plačiai taikoma šiuolaikiniuose laivuose, tačiau ateityje laivuose, kurių denis nėra užkrautas papildoma įranga, ši technologija gali būti pritaikoma. Yra paruošti keli konceptiniai laivai bei atliekami tyrimai kaip įtakotų eksploatacija bei kiek įmanoma sumažinti kuro panaudojimą naudojant bures. Vienas iš tokių konceptinių laivų yra B9 krovinis laivas. Šis konceptinis laivas turi įmontuotas tris didelio ploto bures viršutiniame denyje, bei biodzelinu varomus eigos variklius. Šio konceptinio laivo analize parodė, kad 60% energijos judėjimui gautų iš vėjo, o 40% iš vidaus degimo variklių, taip sumažinant kuro sunaudojimą nuo 46% iki 55% lyginant su tokio pačio tipo laivais tame pačiame maršrute.



9 pav. Burės bei aitvarai naudojami šiuolaikiniuose laivuose

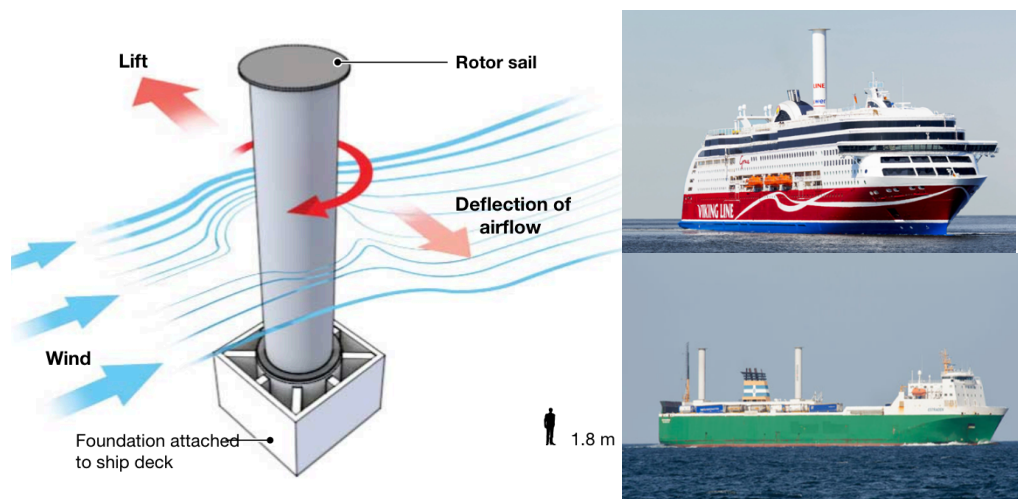
Plačiau šiuolaikinėje laivyboje yra panaudojami vėjo aitvarai. Specialūs vėjo aitvarai yra padaryti taip, kad šis galėtų būti iškeltas iki reikiamo efektyviausio aukščio, o kuomet nebenaudojamas, nuleisti teleskopinio stiebo pagalba. Šių aitvarų pagalba taip pat nuimama dalis apkrovos nuo eigos variklių. Šie aitvarai užima nedaug vietos, todėl jų pritaikymas yra platesnis įvairių tipų laivuose, tačiau jų efektyvumas žymiai mažesnis nei burių.

Kita vėjo energijos panaudojimo laivuose technologija yra rotorinės turbinos, kurios veikia Magnuso efekto principu. Tokios turbinos nėra naujas išradimas, ši technologija buvo panaudota dar 1926 metais, kuomet vokiečių mokslininkas Antonas Flettneris įmontavo vėjo rotorius laive „Buckau“ bei sėkmingai praplaukė Atlantą. Magnuso efektas – tai kai besisukančio cilindro paviršius juda prieš oro srovę, vienoje cilindro pusėje vėjo greitis sumažėja bei padidėja slėgis, o kitoje pusėje

atvirkščiai – oro srovės greitis didėja, o slėgis mažėja. Šių slėgių skirtumas ir yra varomoji jėga, kuri priverčia judėti laivą.

Šie rotoriai sėkmingai naudojami šiuolaikiniuose laivuose, tačiau kaip ir dauguma masyvių konstrukcijų, kurios reikalauja daug vietos viršutiniame denyje, netinka visų laivų tipams, šių rotorių panaudojimas RO-PAX arba konteineriniuose laivuose praktiškai neįmanomas dėl vietos trūkumo.

Šiuolaikiniuose laivuose, šie turbo rotoriai yra panaudojami kaip pagalbinis įrenginys sumažinti eigos variklių apkrovą bei sumažinti kuro sunaudojimą iki 10%. Tokie rotoriai yra naudojami pasaulyje pripažintų kompanijų kaip “MAERSK” ar “VIKING LINE”.



10 pav. Flettnerio rotorius

10. EEDI taikymas pasirinktam objektui

10.1. Darbo objektas

Laivo energijos efektyvumo indekso skaičiavimus bei technologijų pritaikymus indekso gerinimui atliksime pasirinktam objektui - RO-PAX jūrinio tipo keltui „VICTORIA SEAWAYS“, kuris buvo pastatytas 2009 metais Italijoje. Šio laivo jėgainę sudaro du pagrindiniai eigos varikliai WARTSILA 12V46 ir trys pagalbiniai varikliai WARTSILA 9L20D. Laivo jėgainė ir jos sistemos bus detalai aprašytos.

Laivas „VICTORIA SEAWAYS“ yra RO-PAX tipo laivas, skirtas pervežti riedančius ir (arba) ridenamus krovinius bei keleivius. Laivas horizontaliai pakraunamas ir iškraunamas per hidrauliškai valdomą rampą, kuri yra laivagalyje.

10.2. Pagrindiniai laivo duomenys

3 lentelė. Laivo duomenys

Parametras	Duomenys	Dimensija
Laivo pavadinimas:	“Victoria Seaways”	-
Bruto talpa:	25518	tonos
Laivo tipas:	RO-PAX	-
Laivo šaukiniai:	LYTD	-
IMO numeris:	9350721	-
Vėliava:	Lietuvos Respublikos	-
Registracijos uostas:	Klaipėda	-
Statybos vieta:	ITALIJA	-
Pastatymo metai:	2009	-
Korpuso medžiaga	Plienas	-
Įgulos narių skaičius	37	vnt.
Ilgis didžiausias:	199,14	metrai
Plotis:	26,60	metrai
Grimzlė:	6,4 m	metrai
Broto aukštis	9,6 m	metrai
Dedveitas:	8400 t	tonos
Greitis	23 kts	kts
Sraigto tipas	Kintamo žingsnio, 4 menčių	-
Keleivių vietų skaičius	515	vnt.
Savininkas:	„DFDS SEAWAYS“	-
Pagalbinių variklių skaičius	Trys WARTSILA 9L20D varikliai	vnt.
Avarinis generatorius	Vienas CATERPILLAR C18 generatorius	-
Pagrindiniai variklių skaičius	Du WARTSILA 12V46 varikliai	vnt.

10.3. Eigos variklių pagrindiniai duomenys



11 pav. WARTSILA 12V46 Pagrindinis variklis

4 lentelė. Pagrindinio variklio duomenys

Parametras	Duomenys	Dimensija
Markė ir tipas	WARTSILA 12V46, tronkinis	-
Pagaminimo metai	2008	metai
Stūmoklio eiga	580	mm
Vidutinis stūmoklio greitis	9,7	m/s
Cilindro skersmuo	460	mm
Cilindrų skaičius	12	vnt.
Galia	12 000	kW
Reversavimo galimybė	Nereversuojamas	-
Taktų skaičius	4 taktų	-
Vožtuvų skaičius	48, po 4 vožtuvus cilindro galvutėje	vnt.
Alkūninio veleno apsisukimai	350 – 500	aps/min
Naudojamų degalų tipas	IFO 380 mazutu, dyzelinu.	-
Suspaudimo slėgis	56	bar
Maksimalus degimo slėgis	135	bar
Specifinis kuro sunaudojimas	174	g/kWh
Paleidimo būdas	Suslėgtu oru esant 24,5-29,5	bar

WARTSILA 12V46 yra tronkinis, keturtaktis, su tiesioginiu kuro įpurškimu, “V” tipo nereversuojamas variklis, kurio galia siekia 12 000 kW. Šis variklis buvo pagamintas 2008 metais. Kadangi laive yra du pagrindiniai tokie varikliai, tai bendra laivo pagrindinių variklių galia yra 24 000 kW. Variklių apsukos siekia 350 – 500 aps/min., todėl galima teigti, kad tai vidutinių apsukų VDV. Variklis paleidžiamas suslėgtu oru esant 24,5-29,5 bar.

Cilindro skersmuo sudaro 460 mm, stūmoklio eiga – 580 mm. Šie varikliai turi 12 cilindrų, 48 vožtuvus (po 4 kiekvienoje cilindro galvutėje). Suspaudimo slėgis siekia 48 bar, o maksimalus degimo slėgis lygus 196 bar. Specifinis degalų sunaudojimas siekia 174 g/kWh. Variklis dirba su IFO 380 mazutu, bet turi galimybę veikti ir dyzelinu.

10.4. Pagalbinės jėgainės duomenys



12 pav. Pagalbinis Wartsila 9L20D variklis

5 lentelė. Pagalbinio variklio duomenys

Parametras	Duomenys	Dimensij a
Markė ir tipas	WARTSILA 9L20D, tronkinis	-
Pagaminimo metai	2008	metai
Stūmoklio eiga	280	mm
Vidutinis stūmoklio greitis	9,3	m/s
Cilindro skersmuo	200	mm
Cilindrų skaičius	9	vnt.
Galia	1 600	kW
Reversavimo galimybė	Nereversuojamas	-
Taktų skaičius	4 taktų	vnt.
Vožtuvų skaičius	36, po 4 vožtuvus cilindro galvutėje	vnt.
Alkūninio veleno apsisukimai	Maksimaliai 900	aps/min
Naudojamų degalų tipas	MDF, jūrinis dyzelinas	-
Suspaudimo slėgis	30	bar
Maksimalus degimo slėgis	110	bar
Specifinis kuro sunaudojimas	195	g/kWh
Paleidimo būdas	Suslėgtu oru/ starterio pagalba	

Laive yra įmontuoti trys WARTSILA 9L20D keturtakčiai dyzelgeneratoriai, kurie buvo pagaminti 2008 metais. Tai tronkinis, 9 – ių cilindrų variklis. Jo galia siekia 1600 kW, o maksimalios apskukos – 900 aps/min. Variklis paleidžiamas suslėgtu oro/starterio pagalba. Suspaudimo slėgis siekia 30 bar, o maksimalus degimo slėgis – 150 bar. Specifinis kuro sunaudojimas siekia 195 gkWh/h.

10.5. EEDI skaičiavimas objektui su esama jėgaine

Skaičiavimai bus atliekami pagal 2014 Energijos efektyvumo projektavimo indekso gaires – MEPC.245 (66).

EEDI yra skaičiuojamas naujai statomiems laivams arba laivams, kuriems yra atliekami dideli pakeitimai. Pirmiausiai apskaičiuojame laivo EEDI su šiuo metu egzistuojančia pagrindinę bei pagalbinę jėgaine. Skaičiavimai yra atliekami pagal formulę:

$$EEDI = \frac{(\prod_{j=1}^M f_j) * (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} * C_{FME(i)} * SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} * C_{FAE} * SFC_{AE}) + (\prod_{j=1}^M f_j * (\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} * P_{AEff(i)}) * C_{FAE} * SFC_{AE}) - (\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} * P_{eff(i)} * C_{FME} * SFC_{ME})}{f_i * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Formulėje iš esmės figuruoja keturi veiksniai, kurie įtakoja CO₂ emisijas, pagrindiniai eigos varikliai, jų emisijos, pagalbinės jėgainės varikliai ir jų emisijos, bei inovatyvios technologijos, kurios padeda pagrindinei bei pagalbinei jėgainei ir inovatyvios technologijos, kurios naudoja atsinaujinančius šaltinius.

Čia:

n, f_j - korekcijos koeficientas, kuris nustatytas pagal laivo dizainą;

$n_{ME}, P_{ME(i)}$ – pagrindinių vairklių skaičius bei kiekvieno jų išduodama galia [kW];

$C_{FME(i)}, C_{FAE}$ – nedimensinis konversijos faktorius tarp kuro sunaudojimo [g] ir CO₂ emisijų [g] remiantis anglies kiekiu gaunamu iš pagrindinių bei pagalbinių variklių;

$SFC_{ME(i)}$ – specifinis kuro sunaudojimas prie 75% apkrovos pagrindinių variklių, gaunamas iš variklių gamintojo pateikiamos specifikacijos;

SFC_{AE} – specifinis kuro sunaudojimas prie 50% apkrovos pagalbinių variklių, gaunamas iš variklių gamintojo pateikiamos specifikacijos;

P_{AE} – pagalbinių variklių galingumas [kW], kuris teoriškai reikalingas aprūpinti laivą maksimaliam apkrovimui;

$n_{PTI}, P_{PTI(i)}$ – skaičius įrenginių, kurie sunaudoja energiją bei kiekis sunaudojamos galios [kW] (pavyzdžiui veleno generatorius);

$n_{eff}, n_{effP}, f_{eff(i)}$ – suminis skaičius inovatyvių technologijų faktorių, kurie generuoja (sutaupo) elektros energijos (pvz. šilumos utilizavimo sistemos) ar leidžia sutaupyti propulsijai reikalingos galios (pvz. korpuso lubrikacija oro burbuliukais, burės, aitvarai);

$P_{eff(i)}$ – inovatyvios technologijos išduodama galia propulsijai prie 75% eigos variklių apkrovos;
 $P_{AEff(i)}$ - sugeneruojama galia inovatyvių technologijų leidžianti sutaupyti energijos pagalbinei jėgainei;

$Capacity$ – keleiviniams laivams, bruto talpa;

f_j – korekcijos koeficientas, įtakojantis specifinį laivo dizainą, kuris lemia sumažėjusią talpą;

f_i – talpos korekcijos faktorius, lemiantis sumažėjimą, dėl ledo klasės struktūrinio tobulinimo;

f_i – korekcijos faktorius generalinių krovinių laivams aprūpintiems keliamaisiais kranais, dėl kurių patiriamas dedveito sumažėjimas;

V_{ref} – laivo projektinis greitis prie idealių aplinkos sąlygų ;

f_w – nedimensinis koeficientas, rodantis greičio sumažėjimą prie įvairių aplinkos sąlygų, lyginant su idealiomis. Skaičiavimuose šis koeficientas laikomas kaip 1.

Dedveitas ir laivo talpa yra tinkami dydžiai skaičiuojant EEDI daugumai laivų tipų, tačiau RO-RO, RO-PAX keleiviniams keltams labiau aktualios reikšmės yra juostiniai metrai (plotas skirtas ridenamiems kroviniams gabenti) bei keleivių skaičius, tačiau šie dydžiai gali būti nepastovūs brėžiant atskaitos liniją, todėl bendrasis tonažas (Gross tonnage) yra labiau tinkamas dydis.

$$\frac{(\prod_{j=1}^M f_j) * (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} * C_{FME(i)} * SFC_{ME(i)})}{f_i * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Aukščiau pateikta formulės dalis nurodo eigos variklių įtaką EEDI, gaunamas eigos variklių CO₂ santykis su atliekamu naudingumu darbu.

$$P_{ME(i)} = 0,75 MCR_{ME} ;$$

Pagal HELCOM rekomendacijas f_j, f_i korekcijos koeficientai RO-PAX tipo laivams prilyginamas 1.

Gauname:

$$\frac{1 * ((24000 * 0,75) * 3,151 * 170)}{1 * 25518 * 23 * 1} = 16,4284$$

$$\frac{(P_{AE} * C_{FAE} * SFC_{AE})}{f_i * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Aukščiau parodyta formulės dalis nurodo pagalbinių variklių įtaką EEDI, gaunamas pagalbinių variklių CO₂ santykis su atliekamu naudingumu darbu.

P_{AE} pagalbinės jėgainės galingumo parametras yra priklausomas nuo apkrovos, pakrovimo aspektų, saugos aspektų (avarinis generatorius), įprastai šis dydis yra fiksuojamas kaip proporcija eigos variklių galios (2,5% eigos variklių bendros galios + 250 kW).

$$P_{AE} = (0,025MCR_{ME}) + 250 \text{ kW} ;$$

$$P_{AE} = (0,025 * 24000) + 250 \text{ kW} = 850 \text{ kW};$$

Gauname:

$$\frac{(850 * 3,151 * 198)}{1 * 25518 * 23 * 1} = 0,9035;$$

$$\frac{(\prod_{j=1}^M f_j * (\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} * P_{AE_{eff(i)}}) * C_{FAE} * SFC_{AE})}{f_i * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Ši formulės dalis nurodo inovatyvių technologijų, kurios generuoja elektros energiją ir padeda pagalbinei ar pagrindinei jėgainei ar, įtaką EEDI. Kaip pavyzdys, tokios technologijos galėtų būti šilumos utilizavimo sistemos.

Šiame laive stovi šiuolaikiniais standartais neefektyvi šilumos utilizavimo sistema, kuri sugeneruoja tik 4,16 % galios nuo bendro eigos variklių galingumo $24000 \cdot 4,16\% = 1000 \text{ kW}$. Daugiau jokios papildomos inovatyvios įrangos, kuri įtakotų kuro sunaudojimo mažinimui šiame laive nėra.

Gauname:

$$\frac{1 \cdot (0 - 1 \cdot 1000) \cdot 3,151 \cdot 198}{1 * 25518 * 23 * 1} = -1,063 ;$$

$$\frac{(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} * P_{eff(i)} * C_{FME} * SFC_{ME})}{f_i * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Ši formulės dalis nurodo inovatyvių technologijų naudą laivo EEDI, tokios technologijos nenaudoja vidaus degimo variklio energijos. Į tokias technologijas įeina saulės kolektoriai, burės, vėjo generatoriai ir panašios švarios technologijos. Šiame laive, tokių technologijų taip pat nėra.

Bendrą EEDI gauname tokį:

$$EEDI = 16,4284 + 0,9035 + (-1,063) = 16,269$$

Apskaičiuojame reikalaujamo pasiekti EEDI atskaitos tašką pasirinktam objektui, bei visus tris apribojimo lygius, kurie skirstosi pagal metus:

$$Reikiamas EEDI_{0 \text{ lygis}} = a \cdot b^{-c}$$

a, b ir c reikšmes gauname iš lentelės x, gauname:

$$EEDI_{0 \text{ lygis}} = 1812,63 \cdot 25518^{-0,471} = 15,229$$

Toliau apskaičiuojame visus tris apribojamus lygius, kurie atitinkamai įsigalioja:

1-asis lygis įsigalioja nuo 2015, RO-PAX tipo laivams taikomas 5% sumažėjimas nuo 0-linio lygio.

$$EEDI_1 \text{ lygis} = 15,229 \cdot 0,95 = 14,468$$

2-as lygis įsigalioja nuo 2020, RO-PAX tipo laivams taikomas 15% sumažėjimas nuo 0-linio lygio.

$$EEDI_2 \text{ lygis} = 15,229 \cdot 0,85 = 12,945$$

3-čias lygis įsigalioja nuo 2025, RO-PAX tipo laivams taikomas 30% sumažėjimas nuo 0-linio lygios

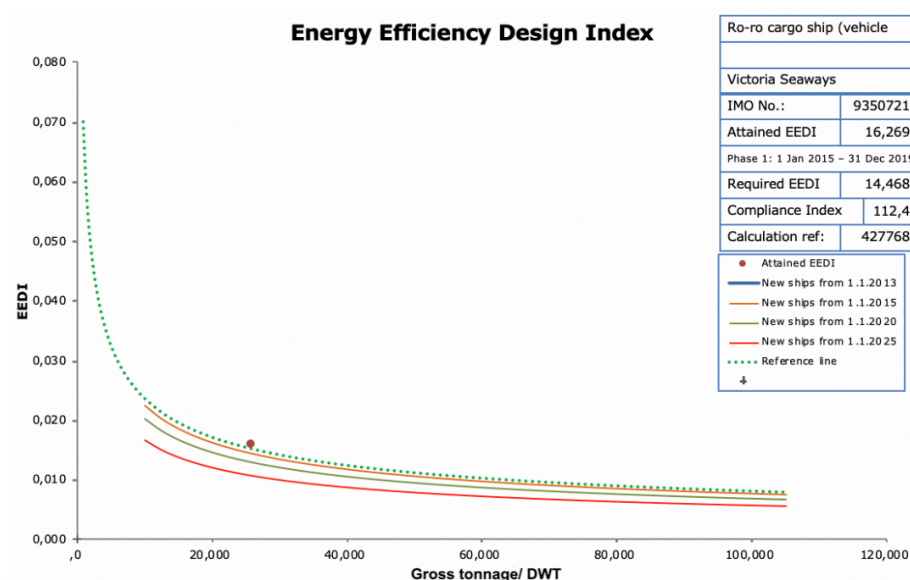
$$EEDI_3 \text{ lygis} = 15,229 \cdot 0,70 = 10,660$$

Taigi gauname, kad laivo EEDI neatitinka nei vieno iš reikalavimų, nes laivas buvo pastatytas 2009 metais.

$$EEDI \ 16,269 > 15,229 > 14,468 > 12,945 > 10,660$$

Jei laivui būtų atliekama didelė modernizacija, privaloma būtų atsižvelgti į EEDI gerinimą.

Apskaičiuoti rezultatai parodė, kad laivo EEDI reikšmė yra 16,269, kuri neatitinka net pirmosios pakopos apribojimų, kurie šiuo metu įsigalioję. Laivas buvo pastatytas 2009 metais, tuo metu šių reikalavimų dar nebuvo, todėl projektuojant laivą nebuvo atsižvelgiama į EEDI reikšmę.



13 pav. Victoria Seaways apskaičiuotas esamas EEDI

11. Darbo objekto EEDI gerinimas

11.1. Technologijų parinkimas

Jūrinio tipo keltui „VICTORIA SEAWAYS“ atliekant didelius pakeitimus, dėl kurių, šiam laivui būtų taikomi naujausi EEDI reikalavimai (pavyzdžiui, eigos variklių nepataisomi defektai, kurie

reikalautų jų pilno pakeitimo). Energijos efektyvumo indekso gerinimui reikalingos šiuolaikinės technologijos pagrindinėje bei pagalbinėje laivo jėgainėje, kadangi esamos yra pasenusios.

Atsižvelgiant į kintamuosius pateiktus formulėje EEDI apskaičiavimui, matome, kad RO-PAX tipo laivui labiausiai įtaką daro pagrindinės bei pagalbinės jėgainių efektyvumas bei ekologiškumas. Projektinio greičio mažinimas netinka šiai laivų grupei, kadangi linijiniams keltams tvarkaraštis yra ganėtinai įtemptas laiko atžvilgiu. Korpuso modifikacijos tinka naujai projektuojamiems laivams.

Kadangi šis laivas yra jau pastatytas, teoriškai pritaikysime šiuolaikinį SGD varomą hibridinės jėgainės kompleksą bei įmontuosim efektyvesnę šilumos utilizavimo sistemą.

11.2. Hibridinės jėgainės panaudojimas

Hibridinis propulsinis kompleksas susideda iš mechaninės ir elektrinės varomosios jėgos sujungimo į vieną kinematinę pavarą. Tokiu būdu variklio efektyvumas yra optimizuojamas ir tuo pačiu metu yra galimybė greitai ir lanksčiai reaguoti į kintamą elektros energijos poreikį.

Įprastoje, fiksuoto greičio veleno generatoriaus sistemoje, veleno generatorius, gaunantis varomąją jėgą iš pagrindinio dyzelinio variklio, naudojamas laivo elektros energijos tiekimo tinklo aprūpinimui. Vidaus degimo variklis suka pagrindinį laivo sraigą. Todėl laivo elektros tinklo dažnis yra glaudžiai susijęs su sraigto sukimosi greičiu. Ko pasekoje dyzelinio variklio greitis turi būti išlaikomas pastoviu, kad išlaikyti pastoviu tinklo dažnį. Norimą laivo greitį galima valdyti tik naudojant sraigto žingsnį, o tai reiškia, kad dažnai gali būti sunaudojama daugiau energijos nei reikia ko pasekoje krenta efektyvumas ir padidėja išmetamųjų emisijų kiekiai.

Šiuolaikinėse hibridinėse varomosiose sistemose galingos elektronikos panaudojimas veleno generatorių valdymui, leidžia dyzeliniam varikliui ir sraigtui veikti kintamu greičiu, bet išlaikant fiksuotą tinklo dažnį ir tinklo įtampą.

Varomoji galia tiekama naudojant kombinaciją iš mechaninės galios (tiekiamos vidaus degimo varikliais) ir (arba) elektros energijos (gaunamos iš kintamo greičio elektros variklių). Šis derinys užtikrina didelį darbo lankstumą, leidžiantį tiksliai užtikrinti reikiamą visų laivo veikimo režimų galingumą ir sukimo momentą.

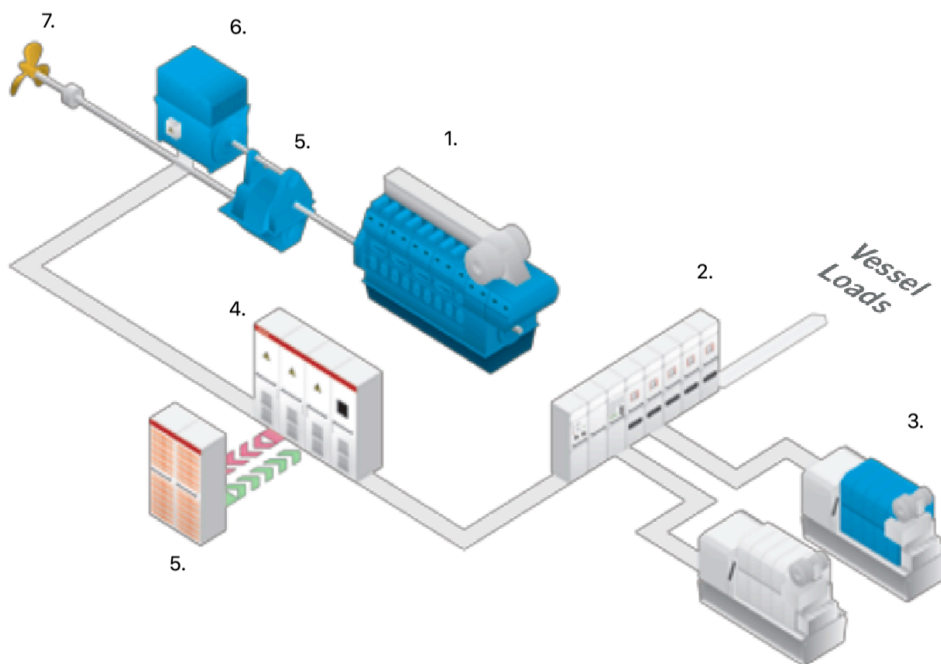
Mechaninė varomoji jėga yra suprojektuota pagal jos didžiausią galios poreikį. Tačiau hibridinis varomasis įrenginys yra geriau pasirengęs reaguoti į laivo veikimo pokyčius ar jo darbo režimus.

Hibridinės jėgainės Sistema užtikrina eilę privalumų:

Žemesnes NO_x, SO_x, CO₂ emisijas;

- Nulines emisijas, kuomet naudojamos tik baterijos ir elektros variklis (mažiems greičiams, ar judėjimui uoste);
- Didesnis kuro ekonomiškumas;

- Tylus bei tolygus darbas;
- Platus pasirinkimas efektyvių darbo režimų prie besikeičiančių sąlygų;
- “Take me home” funkcija;
- Mažesnės pagrindinių bei pagalbinių variklių moto valandos;



14 pav. Hibridinio propulsinio komplekso principinė schema

Čia:

- 1 – eigos variklis;
- 2 – valdymo skydas;
- 3 – generatoriai;
- 4 – konverteris;
- 5 – elektros energiją kaupiančios baterijos;
- 6 – elektros motoras/ generatorius;
- 7 – sraigtas;

Elektros energijos saugojimas atliekamas baterijų ir ultrakondensatorių pagalba. Elektros energijos kaupimo sistemų konsolidavimas ir brendimas naudojant baterijas ir ultrakondensatorius jau įtakoja šių sistemų naudojimą tam tikrų tipų laivuose skirtose žmonių ir transporto priemonių transportavimui. Šios energijos kaupyklos gali užtikrinti, kad vidaus degimo varikliai būtų naudojami tokiu režimu, kuriame jie dirba efektyviausiai (su mažiausiu kuro sunaudojimu). Operacinis vidaus degimo variklių režimo taškas, kuomet užtikrinamas minimalus kuro

sunaudojimas, gali būti išlaikomas pastoviu, nepriklausomai nuo veikiančių sąlygų, pavyzdžiui kai reikiamos galios kiekis yra mažesnis nei taške, kuomet užtikrinamas minimalus kuro sunaudojimas, generatoriai toliau dirba efektyviausiame režime, o galios perteklius atiduodamas elektros baterijų ir ultrakondensatorių kaupyklai. Kuomet reikiamos galios kiekis viršija ekonomiškiausią režimo tašką, tuomet elektros energija nėra atiduodama arba atiduodama mažesniu kiekiu į talpyklas.

Šias energijos kaupyklas taip pat galima naudoti, kad būtų išvengta didelių pagreičio ir lėtėjimo gradientų per trumpus laiko intervalus, dėl kurių padidėja degalų sąnaudos, emisijos, triukšmas, vibracijos ir kt. Tokiu būdu užtikrinti galios reikalavimus su dideliais pagreičiais ir lėtėjimo gradientais.

Hibridiniai propulsiniai kompleksai turi kelis darbo režimu, kuriais gali prisitaikyti prie daugumos sąlygų, kuom ir yra patrauklios tokios sistemos:

PTI – galingas režimas (booster mode). Režimas pasirinktas maksimaliam greičiui pasiekti. Veleno generatorius veikia kaip pagalbinis variklis (P_2) ir veikia kartu su pagrindiniu vidaus degimo varikliu varikliu (P_1). Tokiu būdu pagrindinis sraigtas gauna $P_{total} = P_1 + P_2$ galią. Generatoriai tiekia elektros energiją ir varomosios jėgos (P_2) užtikrinimui ir laivo elektros energijos vartotojams.

PTI – dyzelio-elektros režimas. Šis režimas naudojamas mažuose greičiuose ir kai pilnu pajėgumu arba išvis nereikalingas pagrindinis eigos variklis taip sumažinant priežiūros poreikį jam.

Pagalbinės jėgainės generatoriai veikia ir aprūpina energija pagrindinę jėgainę bei laivo elektros energijos įrenginius reikiamu energijos kiekiu. Šiuo atveju veleno generatorius veikia kaip variklis.

Tai režimas, kuris taip pat gali pradėti veikti pagrindinio dyzelinio variklio gedimo atveju („Take Home“, PTH funkcionalumas) ir kuris leidžia laivui saugiai grįžti namo ir atlikti ten remontą.

PTI – elektrinis režimas. Šiame režime baterijos generuoja energiją, reikalingą tiek varomosios jėgos sukūrimui, tiek laivo energijos vartotojams. Pagrindiniai dyzeliniai varikliai ir varikliai yra išjungti tokiu būdu pašalinant dujų ir triukšmo emisijas. Toks režimas naudojamas judėjimui uoste arba „Take Home“ PTH funkcija.

PTO – tranzitinis režimas. Pagrindinis dyzelinis variklis aprūpina tiek varikliui, tiek laivo vartotojams reikalingą galią. Todėl pagalbinės jėgainės generatoriai yra išjungti. Dyzelinis variklis veikia kintamu greičiu, o elektrinis variklis PTO režime užtikrina laivo elektros energijos poreikius. Šis režimas leidžia žymiai sumažinti degalų ir išmetamų teršalų kiekį plaukimo metu.

PTO – Krantinės režimas. Šis režimas naudojamas, kai laivas yra uoste ir yra prijungtas prie esamo uosto krantinės maitinimo šaltinio. Krantinės režimas leidžia prisijungti prie bet kurio uosto, nepriklausomai nuo to, ar jo elektros tinklas yra 50 arba 60 Hz.

Šiame režime galima išjungti visus variklius (pagrindinius ir pagalbinius) taip sumažinant išmetamų teršalų kiekius ir taupant degalus. Triukšmo ir vibracijos lygis taip pat sumažinamas iki minimumo.

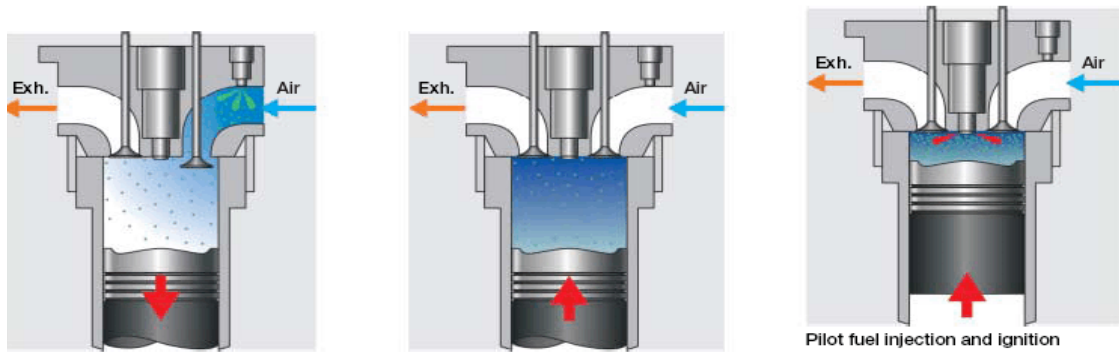
„INGEDRIVE™ H“ kompanija siūlo platų pasirinkimą įrangos reikiamos hibridinės jėgainės modernizacijai. Siūlomas variantas ir sumontuoti reikiamą įrangą jau su esančia laivo pagrindine bei pagalbine jėgaine. Tokio dydžio laivams įprastai pritaikomi 1000 kW elektros varikliai/generatoriai kiekvienai velenų linijai.

11.3. SGD varomų variklių pritaikymas objektui

Atliksime teorinį laivo modernizavimą pervedant laivo pagrindinių variklių darbą panaudojant dvigubo kuro sistemą naudojant suskystintas gamtines dujas bei dyzeliną. Didėjant skysto kuro kainoms ir griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams, naudoti suskystintas gamtines dujas kaip pagrindinį kurą eigos varikliams turi eilę privalumų:

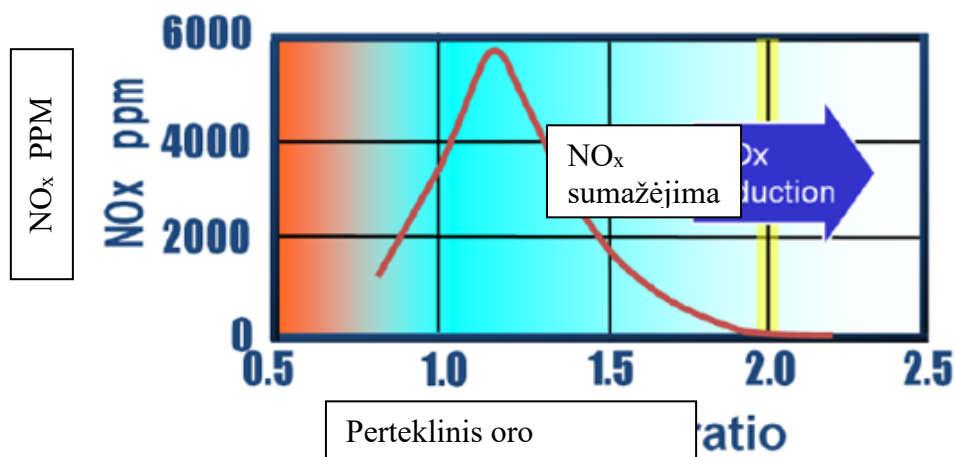
- 1) Mažesnė suskystintų gamtinių dujų kaina už jūrinio dyzelino;
- 2) 25 – 30% sumažinama CO₂ emisija;
- 3) 85% sumažėja NO_x emisija (dėl padidėjusio oro pertekliaus koeficiento);
- 4) 99% sumažinama kietųjų dalelių emisija;
- 5) Išmetamosios dujos neturi spalvos;
- 6) Nereikalauja purvo depozito;
- 7) Lankstus kuro mišinio panaudojimas;
- 8) Nepertraukiamas darbas keičiant kuro padavimus;
- 9) Atitinka Tier III reikalavimus;

Darbo principas tokios sistemos yra panašus kaip ir įprastos dyzelinės jėgainės. Eigos variklis yra paleidžiamas suslėgtu oru, kol alkūninis velenas pasieks tam tikrą apsisukimų skaičių, tuomet yra paduodamas jūrinis dyzelinas ir variklis pradeda dirbti jūriniu dyzelinu. Kai variklio darbas tampa stabilus, mažomis porcijomis yra mažinamas dyzelino kuro ciklo porcija ir pradedama tiekti suskystas gamtines dujas. Visas procesas užtrunka apie minutę laiko, kol pasiekiamas 5% dyzelino ir 95% SGD santykis variklio darbo režime. 5% Dyzelino porcija reikalinga, nes gamtinių dujų užsiliepsnojimo temperatūra yra per aukšta, kad įvyktų savaiminis užsiliepsnojimas. Tam kad jėgainė turėtų galimybę dirbti dvigubu kuru, sistemoje turi būti atlikti tam tikri konstrukciniai pakitimai. Eigos variklyje pagrindinis konstrukcijos pakitimas atsiranda cilindro galvutėje. Galvutės įsiurbimo kanale yra įmontuojamas purkštukas skirtas dujų įpurškimui. Dujos yra įpurškiamos įsiurbimo takto metu, kuomet stūmoklis juda nuo viršutinio rimties taško link apatinio. Dujos susimaišo su oru ir yra suspaudžiamos kuomet stūmoklis juda iš apatinio rimties tašo link viršutinio, suspaudimo takto pabaigoje yra įpurškiama maža dyzelino porcija, kad įvyktų degimas (15 pav.).



15 pav. Darbo principas dujomis

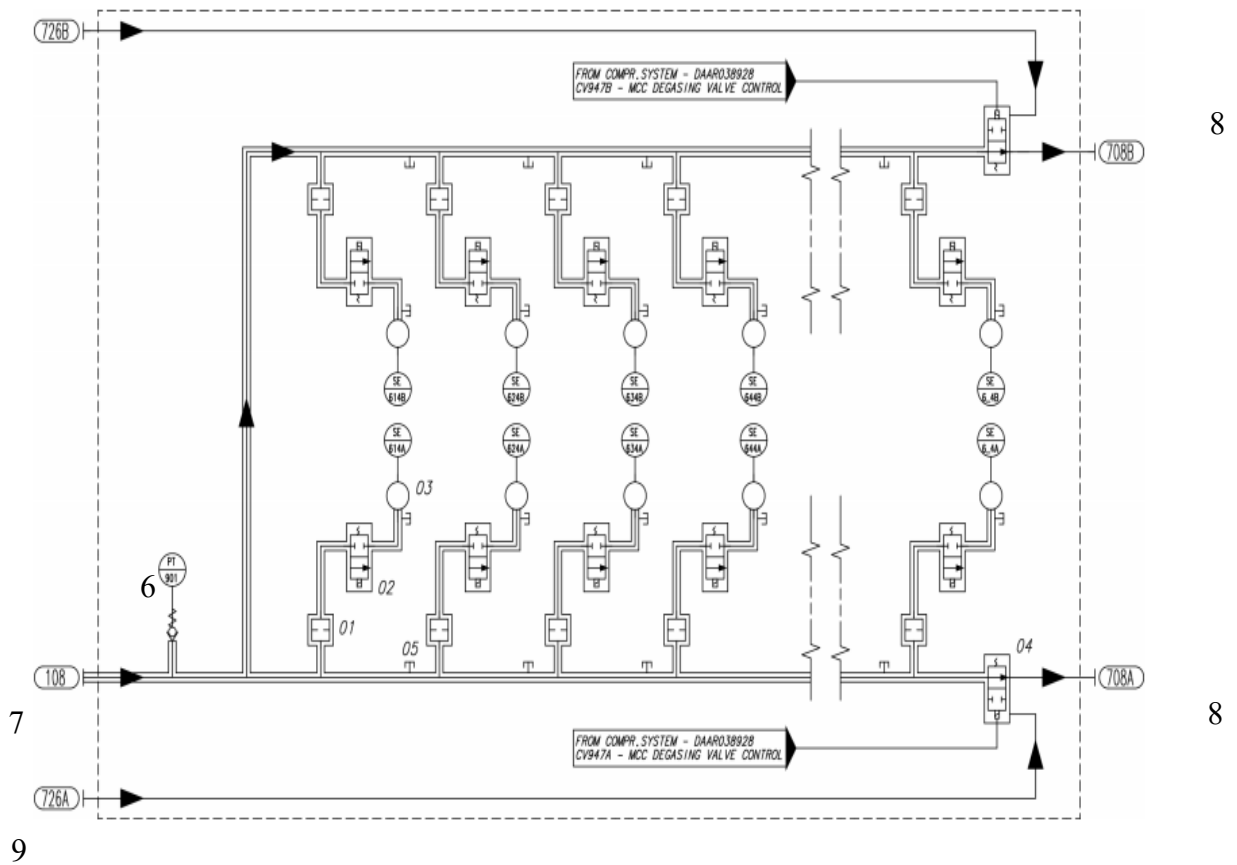
Naudojant SGD (suskystintas gamtines dujas) kaip pagrindinį kurą, sumažėja maksimali ciklo temperatūra, ko dėka sumažėja NO_x emisija.



16 pav. NO_x susidarymo priklausomybė nuo oro pertekliaus koeficiento

Suskystintos gamtinės dujos yra iškastinis kuras, tačiau jo anglies kiekis yra mažesnis lyginant su jūriniu dyzelinu, kas sumažina CO_2 emisijas nuo 15 iki 25 %.

WARTSILA variklių gamintojo kompanija turi atskirą variklių dirbančių dvejais kurais pasirinkimo gamą. Vienas iš jų yra WARTSILA 12V46 DF varikliai, kurie yra praktiškai identiški esamiems, kurie stovi nagrinėjamame laive, tačiau turi galimybę dirbti dvejais kurais. Yra galimybė sumontuoti atskirus šio variklio sistemų komponentus esamiems WARTSILA 12V46 varikliams kurie yra būtini norint pervesti laive stovinčius du WARTSILA 12V46 darbui dvejais kurais. Reikalinga atskira dujų padavimo sistema.

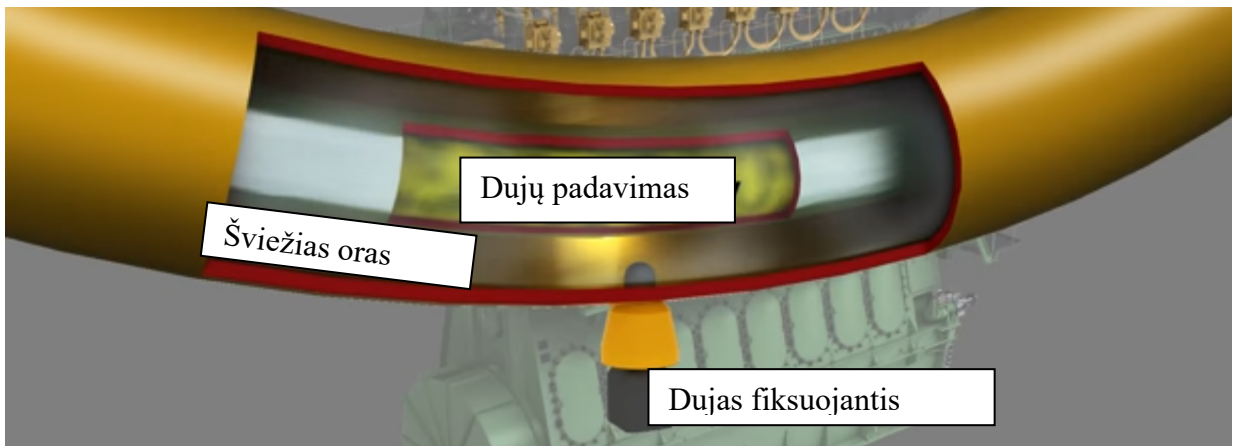


17 pav. Dujų įpurškimo sistema

Čia:

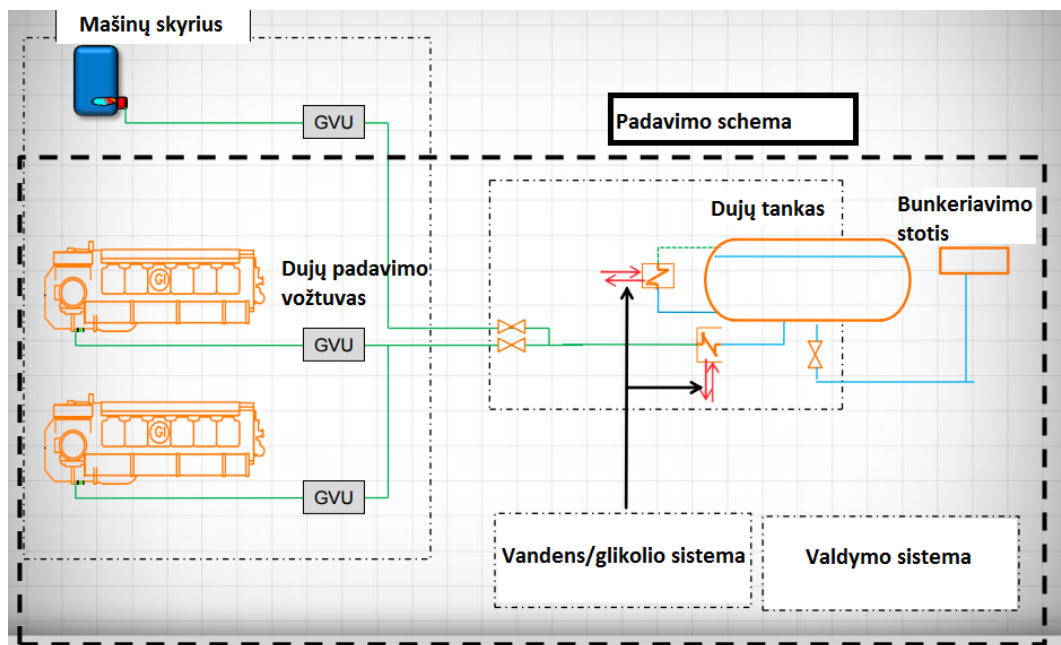
01 – apsauginis filtras; 02 – dujų įleidimo vožtuvas; 03 – cilindrai; 04 – oro išleidimo vožtuvas; 05 – įsiurbimo zondas; 6 – dujų slėgio daviklis; 7 – dujų įėjimas; 8 – dujų ventiliacijos sistema; 9 – oro įleidimo vožtuvas į dvigubos sienelių vamzdyno dujų sistemą.

Dvigubų sienelių vamzdyno sujų sistema apsaugo dujų patekima į mašinų skyrių nuotekio atveju, joje stovi davikliai, kurie fiksuoja dujų atsiradimą. Jei sistemoje pirmoje sienelėje atsiranda nuotėkis, davikliai fiksuoja dujų atsiradimą ir uždaro dujų padavimą automatiškai, taip apsaugodama nuo avarinio atvejo ir perveda variklio darbą dyzelinu, taip nesustabdydama jėgainės darbo.



18 pav. Dvigubų sienelių dujų vamzdžio sistema

Atitinkamai turi būti sumontuoti suskystintų dujų bunkeravimo tankai. Tam tinka WARTSILA LNGPac sistema. Ši sistema pasižymi dideliu patikimumu bei efektyviu vietos taupymu, kuris laikomas vienas iš didžiausių SGD panaudojimo laivuose trūkumų.



19 pav. Išorinė dujų padavimo bei laikymo sistema

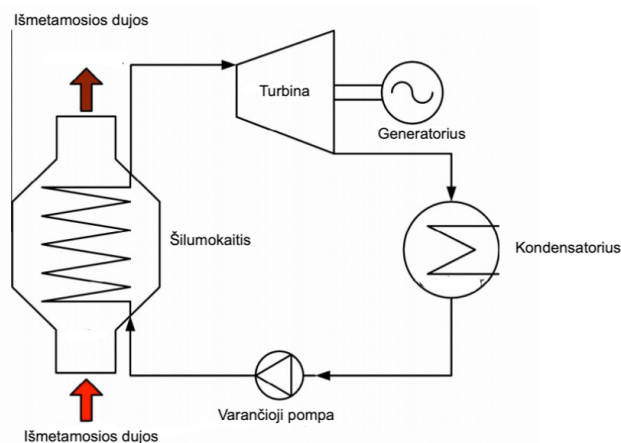
Sumontavus variklius varomus suskystintomis gamtinėmis dujomis Wartsila 12V46DF, apskaičiuojame kaip pasikeis EEDI.

11.4. Šilumos utilizavimo sistemos

Šilumos utilizavimo sistemos energiją išgauna iš eigos variklių prarastos šiluminės energijos (išmetamųjų dujų) be papildomo kuro. Laivuose, kuriuose naudojami didelių gabaritų eigos varikliai,

yra panaudojama maksimaliai 50% energijos nuo kure esančios, visa kita likusi energijos dalis yra prarandama kaip šiluminiai nuostoliai. Nors bendra suma švaistomos energijos yra gana didelė, tačiau dėl žemos ar vidutinės temperatūros šios energijos panaudojimas yra ribotas. Šiuolaikinės šilumos utilizavimo sistemos sugeba panaudoti turimą žemos bei vidutinės temperatūros šilumą gaminti elektros energiją ir suteikti iki 11% energijos nuo eigos variklių bendro galingumo.

Šilumos utilizavimo sistemų veikimas pagrįstas termodinaminiu ciklu, kuris paverčia šilumą į darbą. Rankine ciklas (RC) yra termodinaminis ciklas, kuris šilumos energiją paverčia mechaniniu darbu. Veikimo metu cirkuliuojantis darbinis skystis nuolat išgarinamas ir kondensuojamas. Paprastai RC veikianti jėgainė iš esmės susideda iš keturių pagrindinių komponentų: garų generatoriaus (katilo + šildytuvo), išsiplėtimo įtaiso (turbinos), kondensatoriaus ir varomojo siurblio. Šios sistemos sudedamųjų dalių išdėstymas pateiktas 19 pav.



20 pav. Rankine ciklo utilizacinės jėgainės schema

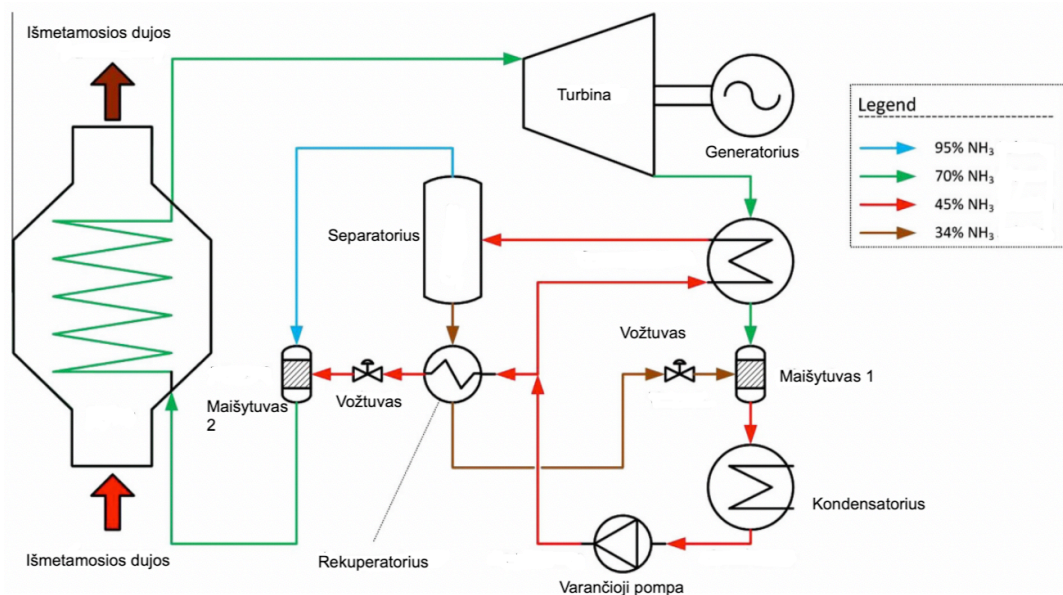
RC apibrėžime nėra nustatytas joks konkretus darbinio skysčio naudojimas ar temperatūros diapazonas, tačiau skirtingiems variantams mokslinių tyrimų ir pramoninės paskirties srityse buvo suteikti specifiniai pavadinimai. Toliau pateikiami dažniausiai pasitaikantys RC įrenginių variantai.

Garų/tradicinis rankine ciklas (SRC). SRC yra vandens pagrindu veikianti sistema, kurioje darbinis skystis yra vanduo / garas. Daugiau nei šimtmetį galios gamybai naudojamos garų pagrindu pagamintos termodinaminės sistemos. Garo turbina pirmą kartą panaudojo jūrų pramonėje. Šis būdas nėra geriausias naudoti jūroje, kur išmetamųjų dujų temperatūra yra mažesnė. Tradiciškai SRC yra efektyvus šilumos utilizavimo sistemų variantas šaltinių temperatūroms, viršijančioms 350–370 C, o esant žemesnei temperatūrai, garo sistema tampa mažiau ekonomiška ir jai reikalinga daugiau įrangos. SRC yra laiko patikrinta technologija, kuri gali būti naudojama tiek sausumoje, tiek jūroje. Ši sistema yra gerai pritaikyta naudoti laive ir siūlo didelį šiluminių nuostolių utilizavimą iš vidutinės temperatūros šaltinių, jos efektyvumas gali siekti 4-6% nuo bendro eigos variklių galingumo. Šis būdas yra saugus ir pigus, nes eksploatacijoje naudojamas vanduo bei plačiai paplitę

komponentai. Garų sistemoms eksploatuoti nereikia organizuoti specialių mokymų laivo įguloms, nes dauguma jūrininkų yra gerai susipažinę su šiomis sistemomis. Nepaisant mažesnio efektyvumo dėl šaltinių mažų temperatūrų, garų sistema tikrai gali tikti tam tikriems laivų tipams, atsižvelgiant į jų privalumus ir naudojimo galimybes.

Organinis Rankine ciklas (ORC). ORC yra modifikuota SRC forma, kur sistemos darbinis skystis perjungiamas iš vandens / garo į kitus organinius skysčius, pvz., angliavandenilių dujas, šaldymo agentus. ORC įrenginio schema yra panaši į Rankino jėgainę ir turi tuos pačius pagrindinius komponentus. Esant vidutinei šilumos šaltinio temperatūrai, geriausias efektyvumas ir didžiausia galia paprastai gaunami naudojant RC ne vandenį, o kitus tinkamus organinius skysčius. Taip yra todėl, kad specifinė organinių skysčių garavimo šiluma yra daug mažesnė nei vandens. Taigi organinis darbinis skystis yra paprasčiau atšaldyti. ORC įrenginys gali būti įvairių konfigūracijų tam, kad būtų pasiektas optimalus ciklo efektyvumas ir sumažinti šilumos nuostoliai.

Kalinos ciklas (KC). 1983 m. Dr. Aleksandras Kalina pasiūlė amoniakinio ir vandens mišinio termodinaminį galios ciklą, ir nuo to laiko ciklas pavadintas Kalina ciklu. Tai modifikuota RC forma ir turi geresnį sistemos efektyvumą. Labiausiai perspektyvus panaudojimas ir reikšmingas efektyvumo padidėjimas yra pasiekiamas žemos temperatūros šilumos šaltiniuose, todėl jis yra tinkamas pasirinkimas išskiriamos šilumos atgavimui. KC naudoja amoniako ir vandens mišinį kaip darbinį skystį kompozicijose su kintančiais virimo ir kondensacijos temperatūrų diapazonais tarp garavimo ir rasos taškų. KC įrenginys yra gana panašus į RC įrenginį su keliais papildomais komponentais. Paprastas KC įrenginys be standartinių RC įrenginio komponentų, dar turi rekuperatorių, separatorių, porą maišytuvų ir srauto reguliavimo vožtuvus, kaip parodyta 21 pav. Darbų srauto reguliavimo vožtuvas veikia kaip reguliatorius, kuris kontroliuoja į separatorių tiekiamo bendro siurblio srauto dalį. Tikslus srauto valdymas yra būtinas norint išlaikyti skirtingas amoniako koncentracijas katilo turbinoje ir grandinės kondensatoriaus sekcijoje.



21 pav. Kalinos ciklo utilizacinės jėgainės schema

Rekuperatorius susigrąžina dalį šilumos iš skysčio, esančio turbinos išleidimo angoje, kad pašildytų skystį tekančią į separatorių. Tai iš esmės sumažina kondensatoriuje atvestos šilumos kiekį. Jis taip pat kontroliuoja skysčio, einančio į separatorių, temperatūrą, kuri yra lemiamas veiksnys nustatant lieso ir turtingo mišinio, tekančio iš separatoriaus, masės dalį. Separatorius naudojamas norint atskirti gaunamą skystį iš rekuperatoriaus į turtingus ir liesus mišinius. Turtingų ir liesų mišinių masės srautas priklauso nuo atskyrimo efektyvumo, temperatūros, įeinančio mišinio sudėties ir slėgio separatoriaus viduje. Sistemoje naudojamas dviejų maišytuvų rinkinys, kuris yra reikalingas pasiekti reikiamo mišinio srautą sistemos grandinėje. Pirmasis maišytuvas yra kondensatoriaus įleidimo angoje, kur liesas mišinys iš separatoriaus sumaišomas su turbinos išeinančiomis dujomis ateinančiomis iš rekuperatoriaus. Čia iš turbinos išmetamosios dujos ir separatoriaus liesas skystis yra maišomi ir mažos koncentracijos skysčiu tiekiami į kondensatorių. Antrasis maišytuvas yra katilo įleidimo pusėje, kur likęs srautas iš sruto reguliavimo vožtuvo ir turtingas mišinys iš separatoriaus sumaišomi, kad į katilą būtų tiekiamas didelės koncentracijos darbinis skystis. Ši sistema yra efektyvesnė Rankine ciklo sistema, jos efektyvumas siekia 8-11% nuo eigos variklių galimumo. Darbo objekte yra sumontuota seno tipo sistema kur vanduo naudojamas kaip darbinis skystis.

11.5. Teorinis objekto modernizavimas

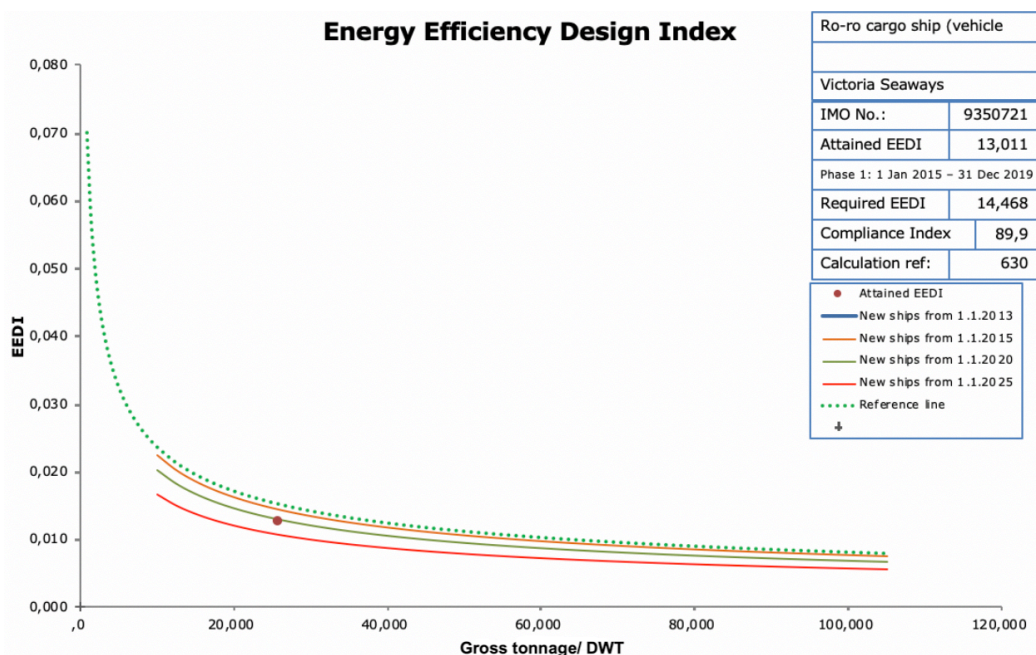
Visų pirma apskaičiuosime kaip pasikeis laivo energijos efektyvumo projektavimo indeksas sumontavus komponentus esamiems eigos varikliams darbu suskystintoms gamtinėmis dujomis. Komponentus tokius kaip cilindrų galvutės, valdymo sistemos, galima sumontuoti iš WARTSILA 12V46 DF variklių, kurie yra praktiškai identiški esamiems, kurie stovi nagrinėjamame laive, tačiau

turi galimybę dirbti dvejais kurais. Vieno tokio variklio galingumas siekia 13 740 kW, o specifinis gamtinių dujų kuro sunaudojimas 137 g/kWh.

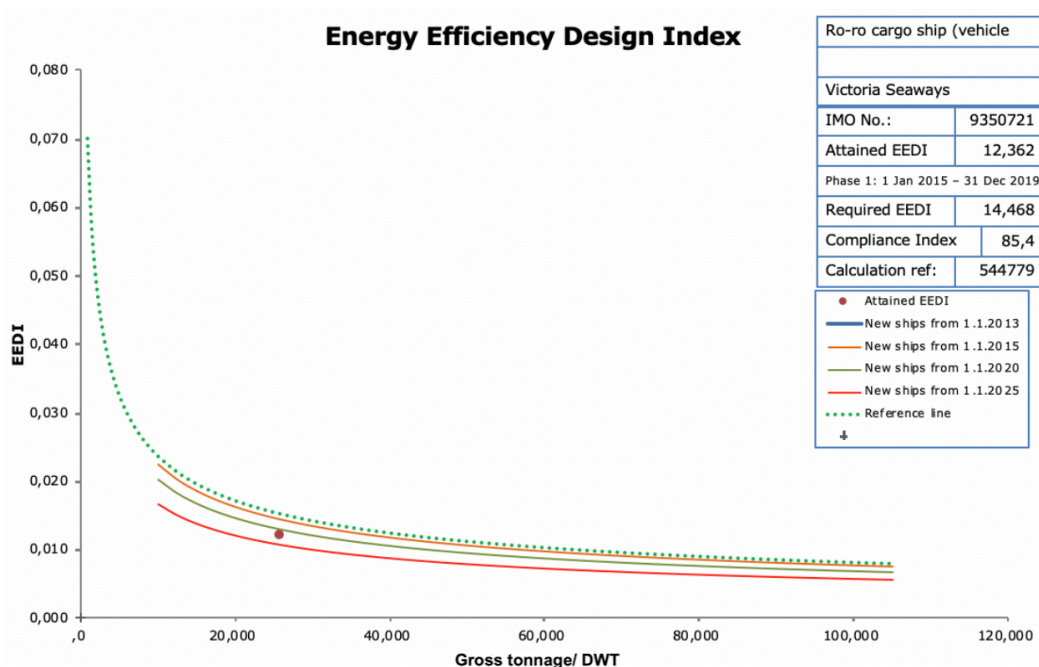
Skaičiavimo supaprastinimui BIMCO yra pateikusi EEDI skaičiuoklę, kurioje yra įvedami reikalingi skaičiavimams duomenys, laivo tipas ir pagal juos yra apskaičiuojamas EEDI. Skaičiavimai atliekami pagal tą pačią eiga kaip ir rankiniu būdu pateiktu aukščiau tik „Excel“ programoje. Šios programos privalumai paprastas naudojimas bei rezultatų pateikimas grafiko pavidalu:

Įvedus laivo parametrus į skaičiuoklę gauname tokius rezultatus:

BIMCO EEDI Calculator				#VALUE!
Ship details				Download
Name	Victoria Seaways	Sup type	CSR Design	
IMO No.:	9350721			
Type	Ro-ro cargo ship (vehicle ca)		N/A	
Max. Capacity	25 518 GT (ton)	LWT _{CSR}		
DWT reference design		Cubic capacity	7 000	
Main Engine(s)				
	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Shaft limit	
no.1.	13 740	137,0		
no.2.	13 740	137,0		
no.3.				
no.4.				
Fuel type	LNG			
Auxiliary Engine(s)				
	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Generator η	
no.1.	1 200	198,0	0,93	
no.2.	1 200	198,0	0,93	
no.3.	1 200	198,0	0,93	
no.4.				
no.5.				
Fuel type	Light Fuel Oil, ISO 8217, RMA - RMD			
Shaft Generator				
	kW	SG installed	No	
no.1.	1 000	Calculation option	N/A	
no.2.				
Corrections				
Displacement	15 000	Ice Class	N/A	
Breadth [m]	14,20	Lpp [m]	109,10	
Draught [m]	6,40	Crane reach [m]		
Deadweight [T]	8 400	Crane SWL [T]		
		# of cranes		
Shaft Motor				
	kW	Motor η	mitted by ME shaft	
no.1.		0,97	Yes	
no.2.				
Innovative energy efficiency technology				
	kW	f _{eff}		
Mechanical		0,50		
Electrical	1 143	1,00		
Index Condition				
Propulsion power:		20 610 kW		
Deadweight:		25 518 ton (m)		
Reference speed @ Index Condition				Knots
				23,00
Delivery date				
Phase 1: 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019				
Mandatory field				
Optional field				
Ignored field				



22 pav. EEDI rezultatai pritaikius WARTSILA 12V46DF eigos variklius



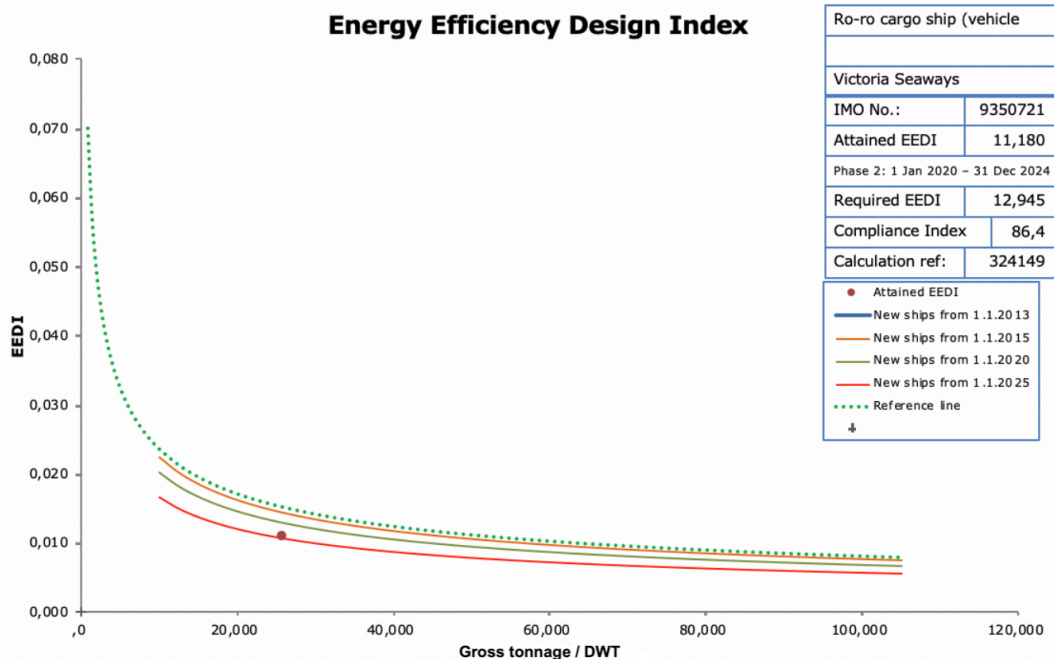
23 pav. EEDI rezultatai su hibridine jėgaine bei WARTSILA 9L46DF eigos varikliais

Su tokiais duomenimis gauti rezultatai parodė, kad laivas atitiktų antrąjį EEDI apribojimo lygį:
 $EEDI_2 \text{ lygis} = 12,945 > EEDI_{\text{apskaičiuotas}} = 12,362 > EEDI_3 \text{ lygis} = 10,660$;

Norint pasiekti trečią lygį atitinkanti energijos efektyvumo projektavimo indekso reikalavimus šiam objektui, vien eigos variklių pakeitimu į SGD varomus variklius neužtenka. Kadangi pagalbinės jėgainės varikliai vis dar varomi jūriniu dyzelinu, mes juos teoriškai pakeisim į kitus SGD varomus variklius. “Wartsila” taip pat siūlo platų asortimentą pagalbinių variklių su dvigubo kuro technologijomis.

Kadangi laive teoriškai sumontuotas elektros variklis/veleno generatorius, pagalbinės jėgainės pajėgumas gali būti sumažintas atitinkamai. Iš “Wartsila” dvigubo kuro rūšių panaudojimo variklių katalogo, puikiai tinka 6L20DF varikliai, kurie varomi suskystintomis gamtinėmis dujomis ir vieno galingumas siekia 1056 kW. Pakeičiant visus tris esančiu “Wartsila” 9L20 pagalbiniais variklius į 6L20DF, bendras pagalbinės jėgainės galingumas siektų 3168 kW. Specifinis kuro sunaudojimas tokio variklio siekia 146,3 g/kWh pagal gamintojo specifikaciją. Įvedus duomenis su naujais pagalbinės jėgainės varikliais gautume tokius rezultatus:

BIMCO		EEDI Calculator		#VALUE!																																				
Ship details Name: Victoria Seaways IMO No.: 9350721 Type: Ro-ro cargo ship (vehicle ca) N/A Max. Capacity: 25 518 GT (ton) LWT reference design: <input type="checkbox"/>		Sup type: CSR Design LWT _{CSR} : <input type="checkbox"/> Cubic capacity: 7 000		Download																																				
Main Engine(s) <table border="1"> <thead> <tr> <th>no.</th> <th>MCR [kW]</th> <th>SFC [g/kWh]</th> <th>Shaft limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>no.1.</td> <td>10 305</td> <td>137,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>no.2.</td> <td>10 305</td> <td>137,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>no.3.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>no.4.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Fuel type: LNG		no.	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Shaft limit	no.1.	10 305	137,0		no.2.	10 305	137,0		no.3.				no.4.				Corrections Displacement: 15 000 Breadth [m]: 14,20 Draught [m]: 6,40 Deadweight [T]: 8 400 Ice Class: N/A Lpp [m]: 109,10 Crane reach [m]: <input type="checkbox"/> Crane SWL [T]: <input type="checkbox"/> # of cranes: <input type="checkbox"/>																		
no.	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Shaft limit																																					
no.1.	10 305	137,0																																						
no.2.	10 305	137,0																																						
no.3.																																								
no.4.																																								
Auxiliary Engine(s) <table border="1"> <thead> <tr> <th>no.</th> <th>MCR [kW]</th> <th>SFC [g/kWh]</th> <th>Generator η</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>no.1.</td> <td>1 056</td> <td>146,3</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>no.2.</td> <td>1 056</td> <td>146,3</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>no.3.</td> <td>1 056</td> <td>146,3</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>no.4.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>no.5.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Fuel type: LNG		no.	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Generator η	no.1.	1 056	146,3	0,93	no.2.	1 056	146,3	0,93	no.3.	1 056	146,3	0,93	no.4.				no.5.				Shaft Motor <table border="1"> <thead> <tr> <th>no.</th> <th>kW</th> <th>Motor η</th> <th>limited by ME shaft</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>no.1.</td> <td>1 500</td> <td>0,97</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>no.2.</td> <td>1 500</td> <td>0,97</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		no.	kW	Motor η	limited by ME shaft	no.1.	1 500	0,97	No	no.2.	1 500	0,97		
no.	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Generator η																																					
no.1.	1 056	146,3	0,93																																					
no.2.	1 056	146,3	0,93																																					
no.3.	1 056	146,3	0,93																																					
no.4.																																								
no.5.																																								
no.	kW	Motor η	limited by ME shaft																																					
no.1.	1 500	0,97	No																																					
no.2.	1 500	0,97																																						
		Innovative energy efficiency technology <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>kW</th> <th>f_{eff}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mechanical</td> <td></td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>Electrical</td> <td>857</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table>			kW	f _{eff}	Mechanical		0,50	Electrical	857	1,00																												
	kW	f _{eff}																																						
Mechanical		0,50																																						
Electrical	857	1,00																																						
		Index Condition Propulsion power: 17 078 kW Deadweight: 25 518 ton (m)																																						
Shaft Generator <table border="1"> <thead> <tr> <th>no.</th> <th>kW</th> <th>SG installed</th> <th>Calculation option</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>no.1.</td> <td>1 000</td> <td>Yes</td> <td>Reduced PME</td> </tr> <tr> <td>no.2.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		no.	kW	SG installed	Calculation option	no.1.	1 000	Yes	Reduced PME	no.2.				Delivery date Phase 2: 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024																										
no.	kW	SG installed	Calculation option																																					
no.1.	1 000	Yes	Reduced PME																																					
no.2.																																								
		Reference speed @ Index Condition 23,00 Knots																																						
		Mandatory field Optional field Ignored field																																						
<small>The information and results expressed by the BIMCO EEDI Calculator constitute an implementation of IMO MEPC/Circ.681, amended by WP.9 of MEPC 63 in March 2012, by MEPC 65/44 on inclusion of Ro-Ro cargo and passenger ships as well as by MEPC 66/45 on correction of EEDI for General Cargo Ship, and are subject to change without notice. The information and results expressed by the Calculator have been formed in good</small>																																								



24 pav. EEDI rezultatai papildomai su WARTSILA 6L20DF pagalbiniais varikliais

Gavome, kad pakeitus pagalbinės jėgainės variklius į naujesnius varomus suskystintomis gamtinėmis dujomis, objekto EEDI vis tiek nepasiekia 3-čio apribojimo lygio:

$$EEDI_{2 \text{ lygis}} = 12,945 > EEDI_{\text{apskaičiuotas}} = 11,180 > EEDI_{3 \text{ lygis}} = 10,660 ;$$

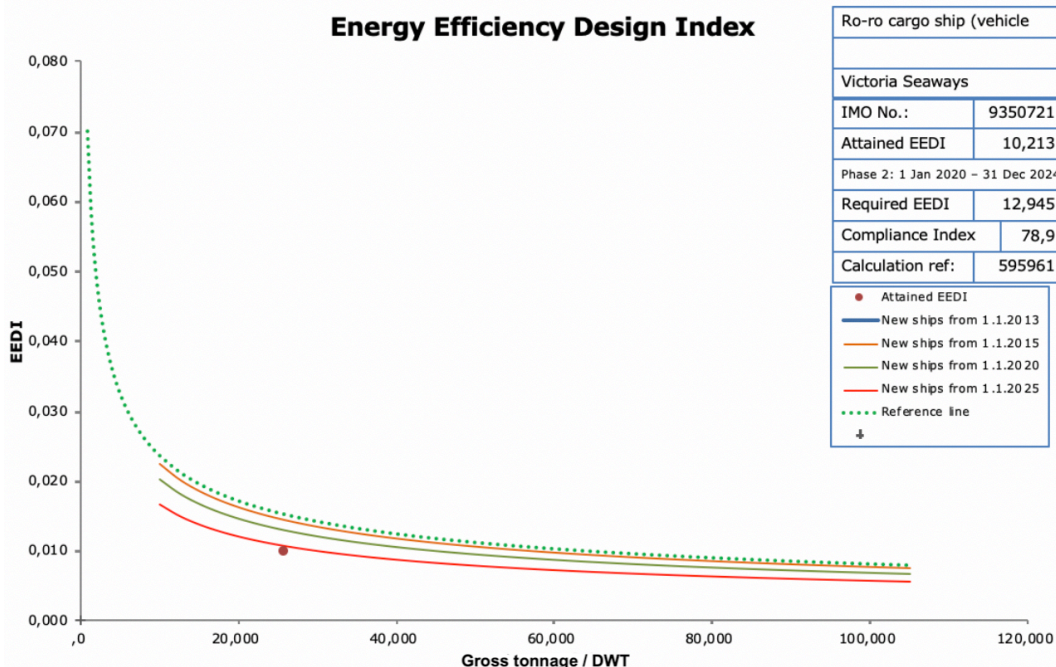
Šiame laive įmontuota itin neefektyvi šilumos utilizavimo sistema, kuri kaip darbinį skystį naudoja vandenį, kurią taip pat galime modernizuoti. Šiuolaikinių technologijų utilizavimo sistemos sugeba sugeneruoti energijos iki 11% eigos variklių galingumo. Jos kaip darbinį skystį naudoja amoniako ir vandens mišinį. Jei objekte būtų sumontuoti du “Wartsila” 9L20DF varikliai,

kurių bendras galingsumas būtų 20610 kW, tai šiuolaikinių šilumos utilizavimo sistemų išgaunamas galingsumas siektų:

$$20610 \text{ kW} \cdot 0,11 = 2267,1 \text{ kW};$$

Įstačius šilumos utilizavimo sistemos galios efektyvumo vertę gauname tokius rezultatus:

BIMCO		EEDI Calculator		#VALUE!			
Ship details		Corrections		Download			
Name	Victoria Seaways	Displacement	15 000	Ice Class	N/A		
IMO No.:	9350721	Breadth [m]	14,20	Lpp [m]	109,10		
Type	Ro-ro cargo ship (vehicle ca)	Draught [m]	6,40	Crane reach [m]			
Max. Capacity	25 518 GT [ton]	Deadweight [T]	8 400	Crane SWL [T]			
WT reference design		Cubic capacity	7 000	# of cranes			
Main Engine(s)		Shaft Motor					
	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Shaft limit				
no.1.	10 305	137,0		no.1.	kW	Motor η	limited by ME shaft
no.2.	10 305	137,0		no.2.	1 500	0,97	No
no.3.							
no.4.							
Fuel type	LNG			Innovative energy efficiency technology			
Auxiliary Engine(s)					kW	f_{pr}	
	MCR [kW]	SFC [g/kWh]	Generator η	Mechanical		0,50	
no.1.	1 056	146,3	0,93	Electrical	2 267	1,00	
no.2.	1 056	146,3	0,93	Index Condition			
no.3.	1 056	146,3	0,93	Propulsion power: 17 078 kW			
no.4.				Deadweight: 25 518 ton (m)			
no.5.				Reference speed @ Index Condition			
Fuel type	LNG			Knots			
Shaft Generator				23,00			
	kW	SG installed	Yes	Delivery date			
no.1.	1 000	Calculation option	Reduced PME	Phase 2: 1 Jan 2020 - 31 Dec 2024			
no.2.				Mandatory field			
The information and results expressed by the BIMCO EEDI Calculator constitute an implementation of IMO MEPC.1/Circ.681, amended by WP.9 of MEPC 63 in March 2012, by MEPC 65/44 on inclusion of Ro-Ro cargo and passenger ships as well as by MEPC 65/45 on correction of EEDI for				Optional field			
				Ignored field			



25 pav. EEDI rezultatai papildomai sumontavus efektyvia šilumos utilizavimo sistemą

$$EEDI_{2 \text{ lygis}} = 12,945 > EEDI_{3 \text{ lygis}} = 10,660 > EEDI_{\text{apskaičiuotas}} = 10,213 ;$$

Su modernia šilumos utilizavimo sistema bei ankstesniais atliktais pakitimais gavome, kad laivo EEDI atitiktų griežčiausią 3-čią lygį.

11.6. Teorinio modernizavimo rezultatų darbų analizė

Atlikus teorinį laivo modernizavimą, kad objekto EEDI atitiktų griežčiausią trečiąjį lygį, susidaro eilė darbų, kurie privalo būti atliekami, kad pasiekti griežčiausią reikalavimų lygį.

Norint sumontuoti naujus eigos bei pagalbinius variklius, kurie būtų varomi suskystintomis gamtinėmis dujomis privalomi šie darbai:

- Senųjų variklių išmontavimas, utilizavimas;
- Suskystintų gamtinių dujų tankų įdiegimas (Wartsila LNGpac sistema);
- Tankų šaldymo sistemos;
- Dvigubų sienelių dujų nuotekio apsaugos sistema;
- Dujų padavimo bei valdymo sistema;
- Naujų eigos bei pagalbinių variklių sumontavimas;

Atlikus šiuos darbus laivo energijos efektyvumo indeksas galėtų pagerėti ~30 %, priklausomai nuo pasirinktų variklių.

Kad pritaikyti hibridinio propulsinio komplekso elementus, naujai sumontuotiems eigos varikliams, būtina sumontuoti hibridinės jėgainės pagrindinius komponentus:

- Valdymo sistemos;
- Konverteriai, laidynai;
- Elektros energijos kaupyklos;
- Elektros motorai/veleno generatoriai;
- Reduktorių pritaikymas;

Atlikus šiuos pakitimus, papildomai prie pasiekto rezultato gautume 5-6% laivo energijos efektyvumo indekso padidėjimą.

Teorinio modernizavimo rezultatai parodė, kad norint pasiekti griežčiausią EEDI reikalavimo lygį, būtina šiuolaikinė šilumos utilizavimo sistema. Objekte esamą šilumos utilizavimo sistemą pakeisti aukšto efektyvumo sistema, kurios naudingumas siektų 11% nuo bendro pagrindinės jėgainės galios, būtini sumontuoti šiuos sistemos elementus:

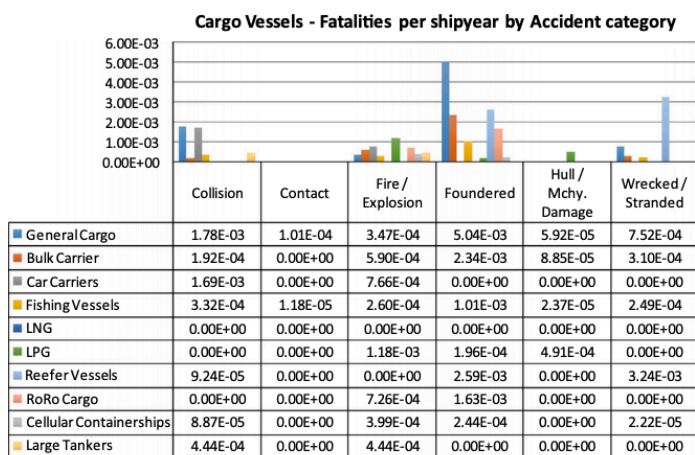
- Senos sistemos išmontavimas;
- Aukšto efektyvumo garo turbinos montavimas;
- Šilumokaičio montavimas;
- Kondensatoriaus montavimas;
- Garo generatoriaus montavimas;
- Separatoriaus, rekuperatoriaus, srauto reguliavimo vožtuvų bei maišytuvų montavimas
- Išmetamųjų dujų išėjimo trakto pakitimai;

Modernizavus šilumos utilizavimo sistemą efektyvumas pagerėtų 8-9%.

12. Technologijų palyginamoji analizė

Palyginsime panaudotas technologijas keturiais aspektais: efektyvumu mažinant CO₂ emisijas, saugumu, investicijų kiekiu bei pritaikomumu įvairių tipų laivams.

Suskystintų gamtinių dujų panaudojimas laivuose egzistuoja jau daugiau nei 40 metų, per šiuos metus, SGD industrija turi puikią saugumo statistika, pasaulyje nėra atsitikę nei vienos rimtos nelaimės susijusios su laivais, kuriuose naudojamos suskystintos gamtinės dujos.



26 pav. nelaimingų atsitikimų 2000-2012 metų statistika pagal laivų tipus

Visa to priežastis kodėl LNG laivai nėra patyrę jokie rimto įvykio, tai dėl itin aukštų keliamų saugumo reikalavimų projektavimo stadijoje. LNG laivuose yra užtikrinami keturi saugos reikalavimai - pirminis izoliavimas, antrinė izoliacija, apsaugos sistemos ir atskyrimo atstumas – galioja visoje SGD grandinėje, nuo gamybos, suskystinimo ir gabenimo iki saugojimo ir pakartotinio dujinimo.

Pirminė izoliacija - Pirmasis ir svarbiausias saugos reikalavimas pramonei yra suskystintų gamtinių dujų izoliavimas. Tai pasiekama naudojant tinkamas medžiagas, skirtas saugojimo talpykloms ir kitai įrangai, ir atitinkamą inžinerinį projektavimą visoje vertės grandinėje.

Antrinė izoliacija - Šis antrasis apsaugos sluoksnis užtikrina, kad nutekėjus ar išsiliejus suskystintoms gamtinėms dujoms, jos būtų sustabdytos ir izoliuotos. Antrinės izoliacijos sistemos yra skirtos apsaugai, kai yra viršijamas talpyklos tūris. Tai yra užtikrinama dvigubo sienelių talpyklų izoliavimu.

Apsaugos sistemos - Trečiajame apsaugos sluoksnyje siekiama sumažinti SGD nuotekius ir sumažinti šių nuotekų poveikį. Siekiant užtikrinti tokią apsaugą, SGD operacijoms naudojamos dujų, skysčių ir gaisro aptikimo sistemos, kad būtų galima greitai nustatyti bet kokius izoliuojančios

medžiagos pažeidimus suaktyvinant automatinės išjungimo sistemos, kad gedimų atveju būtų išvengta nuotėkių ir išsiliejimų. Operacinės sistemos (procedūros, mokymas ir reagavimas į ekstremalias situacijas) taip pat padeda išvengti pavojų. Reguliari šių sistemų priežiūra būtina užtikrinant jų patikimumą.

Atskyrimo atstumas - Teisės aktai visada reikalavo, kad SGD įrenginiai būtų išdėstyti saugiu atstumu nuo gretimų bendruomenių ir kitų viešųjų vietų. Saugūs atstumai arba atskyrimo zonos grindžiamos SGD garų dispersijos duomenimis ir šiluminės spinduliuotės kontūrais bei kitomis nuostatomis, nurodytomis taisyklėse.

SGD yra skaidrus, nerūdijantis, netoksiškas, kriogeninis skystis esant normaliam atmosferos slėgiui. Jis yra bekvapis; iš tikrųjų kvapai turi būti pridedami prie metano, kol vietiniai dujų įrenginiai paskirstomi galutiniams vartotojams, kad būtų galima aptikti gamtinių dujų nutekėjimą iš karšto vandens šildytuvų ir kitų gamtinių dujų prietaisų. Gamtinės dujos (metanas) nėra toksiškos. Tačiau, kaip ir bet kurios dujinės medžiagos, be oro ir deguonies, gamtinės dujos, išgaravusios iš SGD, pasiekusios koncentracija gali sukelti dusulį dėl deguonies trūkumo uždaroje erdvėje.

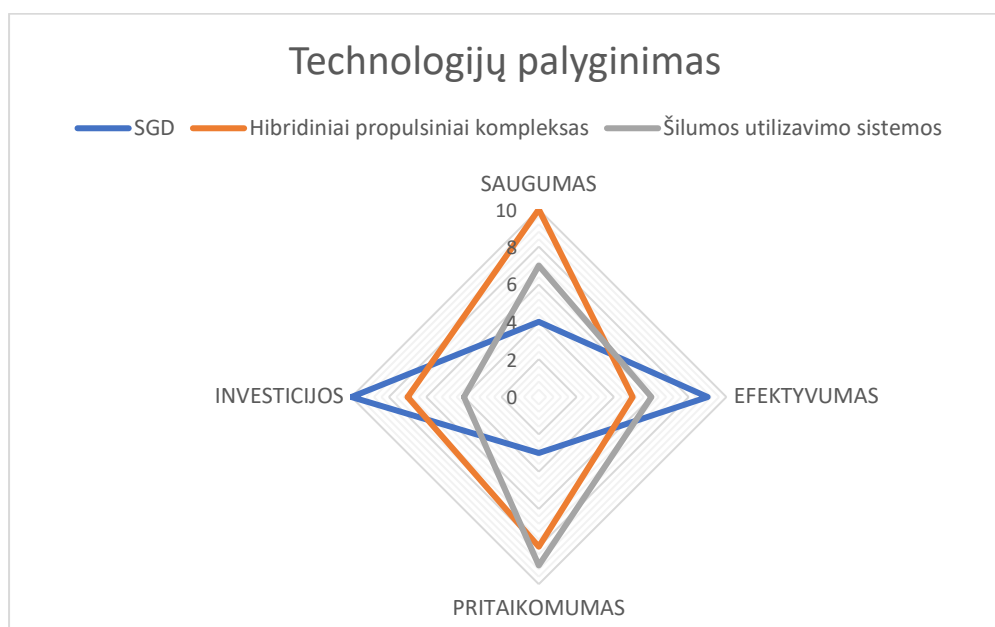
Suskystintos gamtinės dujos laikomos vienu iš pagrindinių kuro rūšių, kurios pakeis jūrinį dyzeliną laivuose būtent dėl mažų emisijų kiekio bei mažos kainos. Kaip minėta anksčiau CO₂ emisijų kiekiai, naudojant suskystintas gamtines dujas, yra mažesni 25% lyginant su jūriniu dyzelinu, ko pasekoje laivo efektyvumo projektavimo indeksas kristų tiek pat, ką ir parodė atliktas teorinės modernizacijos tyrimas. Toks emisijų sumažėjimas yra vienas iš didžiausių galimų naudojant iškastinį kurą.

Tačiau SGD panaudojimas turi ir minusų. Esamų laivų modernizaciją į SGD varomas jėgaines reikalauja itin didelių investicijų bei yra sunkiai pritaikoma kai kuriems laivų tipams. Pigiausias būdas sumontuoti SGD variklius į esamą jėgainę, tai yra esamų variklių „uždujinimas“. Jei esamų eigos bei pagalbinių variklių konstrukcija tinkama, įmontuojamos naujos cilindrių galvutės arba yra perdaromos senosios, kurių įsiurbimo kanale būtų sumontuotas dujų padavimo purkštukas. Taip pat būtina pritaikyti dujų saugojimo tankus, jų šaldymo sistemas, sumontuoti valdymo sistemas. Kitas būdas būtų utilizuoti senuosius variklius bei juos pakeisti naujais SGD varomais varikliais, kurių pasirinkimą siūlo tokie gamintojai kaip Wartsila, B&W MAN. Tokie pokyčiai gali pareikalauti investicijų siekiančių pusę laivo rinkos kainos ar net daugiau, todėl praktikoje tokie pakitimai atliekami labai retai, nors pati laivo eksploatacija atpigėtų dėl mažesnių kuro kaštų bei retesnio variklių aptarnavimo.

Kitas SGD panaudojimo minusas yra sunkus pritaikymas. SGD panaudojimas yra sunkiai pasiekiamas laivuose kuriuose yra itin ribota viršutinio denio erdvė, todėl keleiviniuose laivuose tokios sistemos reikalauja didelių pakitimų ne vien mašinų skyriuje. SGD kaupyklas draudžiama montuoti žemiau gyvenamųjų patalpų, todėl jos dažniausiai montuojamas atvirame denyje.

Hibridiniai propulsiniai kompleksai laivuose naudojami ne taip senai palyginus su SGD ar kitomis technologijomis, tačiau jie sparčiai populiarėja naujai statomuose laivuose dėl itin plataus panaudojimo. Šios sistemos ypač parankios laivuose, kuriuose galios poreikis nėra pastovus. Tokios sistemos gali padidinti laivo efektyvumą 5-10% bei atitinkamai sumažinti CO₂ emisijas. Toks efektyvumo pagerėjimas užtikrinamas lanksčiu panaudojimu bei elektros kaupyklų kaupiama energija. Hibridinių propulsinių kompleksų dar vienas didžiulis privalumas saugumas. Įdiegus hibridinės jėgainės komponentus, laivo saugumas išauga dėl užtikrinamo galios tiekimo sraigtams net ir sugedus pagrindiniams eigos varikliams. Tokiu atveju galia sraigtui gali būti tiekama nuo pagalbinių variklių per elektros variklius arba tik iš elektros energijos kaupyklos per elektros variklius. Naudojant tokią sistemą laivas visada turės galimybę nusigauti iki artimiausio uosto net ir gedimo atveju. Tačiau kaip ir SGD panaudojimas, hibridinių jėgainių įdiegimas reikalauja daug investicijų. Komponentai kaip elektros baterijos/kaupyklos, elektros varikliai/generatoriai, valdymo sistemos yra ganėtinai brangios lyginant su išgaunamu efektyvumu.

Šilumos utilizacinės sistemos pasižymi puikiu balansu tarp efektyvumo bei investicijų kiekio. Kadangi didelė dalis energijos prarandama kartu su išmetamosiomis dujomis, šių sistemų pagalba laivo efektyvumas pagerinamas iki 11%. Sistemų efektyvumas priklauso nuo naudojamo darbinio skysčio bei pasirinktų komponentų, efektyviausia sistema naudoja Kalinos ciklą su amoniako vandens mišiniu. Pati sistema nėra brangi, todėl ji montuojama praktiškai visuose didesniuose šiuolaikiniuose įvairių tipų laivuose, tačiau šioms sistemoms reikalingas dažnesnis periodinis aptarnavimas nei hibridinių propulsinio komplekso. Saugumui tokia sistema tinkamai prižiūrint nesudaro jokios įtakos.



27 pav. Pritaikytų technologijų palyginimas

13. Išvados

1. Energijos efektyvumo projektavimo indeksas vienas iš svarbiausių laivo techninių parametru, šis indeksas įpareigos laivų statytojus naudoti tik pačias pažangiausias bei efektyviausias technologijas norint atitikti šį reikalavimą po 2025 metų, kuomet EEDI reikšmė bus sumažinta iki 30%. Šiuo metu oro tarša iš laivų yra didelį susirūpinimą kelianti problema, kurią Tarptautinė Jūrų Organizacija sprendžia įvesdama techninius apribojimus laivams. Šiuo indeksu TJO užtikrins, kad pasaulio laivynas sunaudotu vis mažiau išskastinio kuro bei sparčiai tobulėtų technologiniu efektyvumu, kuris tausos mūsų planetos aplinką.

2. 2011 metais MARPOL 4-to skyriaus 6-tas priedas papildytas efektyvumo reikalavimais, kurie pradėti taikyti nuo 2013 metų naujai statomiems įvairių tipų laivams ar laivams kuriems atliekama didelės apimties modernizacija. Šis reikalavimas bus griežtinamas trimis etapais kas penkerius metus.

3. Šio indekso gerinimui praktikoje naudojama eilė technologijų, pradedant nuo korpuso pakitimų, vidaus degimo variklių konstrukcijų modernizavimo, baigiant atsinaujinančių šaltinių panaudojimu.

4. Iš pasirinkto objekto teorinio modernizavimo tyrimo matome, kad laivas, kuris buvo pastatytas 2009 m. neatitinka net pirmo lygio EEDI reikalavimo. Jei laivo savininkui prireiktų didelės apimties laivo modernizacijos po 2025 metų, jo lauktų dideli iššūkiai norint pasiekti EEDI parametro trečio lygio apribojimą, tektų iš esmės perprojektuoti mašinų skyrių, pakeisti eigos bei pagalbinius variklius varomus suskystintomis dujomis, įdiegti hibridinės jėgainės komponentus bei modernizuoti šilumos utilizavimo sistemą. Tokio masto pakitimai gali kainuoti laivo savininkui daugiau nei pačio laivo kaina antrinėje rinkoje, todėl laivų savininkai bus priversti statyti naujus efektyvius laivus, kurie iškart atitiktų EEDI reikalavimus.

5. Iš tyrimo nustatyta, kad didžiausią įtaką laivo efektyvumui sudaro laivo jėgainės, modernizavus iš dyzeliną naudojančius variklius į SGD naudojančius, efektyvumo rodiklis gerėja daugiausiai lyginant su kitomis technologijomis, tačiau reikalauja didžiausių investicijų, kurios ateityje gali neatsipirkti.

Literatūros sarakšas

1. <https://www.marpol-annex-vi.com/eedi-seemp>
2. "Third IMO Greenhouse Gas study 2014", IMO
3. CO2 Emissions from International Shipping", UMAS 2016.
4. Resolution MEPC 245(66), IMO
5. Impact of EEDI on Ship Design and Hydrodynamics, S. M. RASHIDUL HASAN
6. Elizabeth Lindstad, Torstein Ingebrigtsen "Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements"
7. Energy efficiency design index (EEDI) marpol annex vi: legal framework and regulatory problems, Jaime Rodrigo De Larrucea. prof.
8. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>
9. Waste heat recovery systems for reduction of fuel consumption, emission and EEDI, MAN B&W
10. Waste heat recovery systems from marine diesel engines: Comparison between new design and retrofitting solutions, M. Altosole, M. Laviola, A. Trucco
11. Energy efficiency design index (EEDI) MARPOL Anex VI: Legal framework and regulatory problems, Prof. Jamie Rodrigo
12. Energy efficiency of ships and regulation of greenhouse gas emissions, A. A. Иванченко
13. Ship Energy Efficiency Measures, Status and guideline. ABS
https://drive.google.com/file/d/1TCcnxuDnXKJ6_MivmaxsgJvc3S3wM5So/view
14. Судовые энергетические установки, Научно-технический сборник, Выпуск 32
15. Wärtsilä 46DF Product Guide
16. Daukšas, K. Laivų pagalbiniai ir utilizaciniai garo katilai.
17. "A review of waste heat recovery technologies for maritime applications" Dig Vijay Singh, Eilif Pedersen
18. "Energy efficient and environmentally friendly hybrid conversion of inland passenger vessel" Wojciech Litwin
19. "LNG safety and security" Michelle Michot Foss
20. Resolution MEPC.263(68), "Amendments to the 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships, (Resolution MEPC.245(66))

21. Determining Minimum Propulsion Power to Maintain the Manoeuvrability of Ships in Adverse Conditions”, (Resolution MEPC.232(65), as amended by Resolution MEPC.255(67)), adopted on 15 May 2015
22. The impact of the energy efficiency design index on very large crude carrier design and CO₂ emissions, Jack Devanney
23. An analysis of the energy efficiency of LNG ships powering options using the EEDI, E.Ekanem Attah , R.Bucknall
24. Evaluation of ship efficiency indexes [Figari, M. X.](#); [D’Amico, M.](#); [Gaggero, P.](#)
25. Reducing ship emissions: a review of potential practical improvements in the propulsive efficiency of future ships, Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson,