



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA

Evelin Harik

**LAEVA HEITGAASIDES CO<sub>2</sub> VÄHENDAMISE LÜHI- JA  
PIKAAJALISED STRATEEGIAD 2021-2050**

Magistritöö

Juhendaja: MSc Tarmo Post

Tallinn 2021

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Evelin Harik

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 192313VAAM

Üliõpilase e-posti aadress: evelinharik@gmail.com

Juhendaja MSc Tarmo Post:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Meelike Paalberg, Itella Logistics OÜ juhatuse esimees

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

## Lühendid

AER – Annual Efficiency Ratio / Aastane efektiivsuse näitaja CO<sub>2</sub> hulk grammides DWT miili kohta

CII – Carbon Intensity Indicator / Süsiniku intensiivsuse indikaator

ECA – Emissions Control Area / Heitekontrolli piirkond

EEDI – Energy Efficiency Design Index / Energiatõhususe näitaja

EEOI – Energy Efficiency Operational Indicator / Energiatõhususe indikaator

EEXI – Energy Efficiency Design Index for Existing Ships / Olemasoleva laeva energiatohususe indeks

ETS – Emission Trading System / Heitkogustega kauplemise süsteem

EVDI – Existing Vessel Design Index / Enne 2013 aastat ehitatud laeva energiatohususe indeks

GHG – Greenhouse Gas Emissions / Kasvuhoonegaasid

GT – Gross Tonnage / laeva kogumahutavus

HFO – Heavy Fuel Oil / Raske kütteõli

IIEC – International Energy Efficiency Certificate / Rahvusvaheline Energiatõhususe Sertifikaat

IMO – The International Maritime Organisation / Rahvusvaheline Mereorganisatsioon

LFO – Light Fuel Oil / Kerge kütteõli

LNG – Liquefied Natural Gas / Veeldatud maagaas

LPG – Liquefied Petroleum Gas / Veeldatud naftagaas

MARPOL – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships / Rahvusvaheline Laevade Põhjustatava Merereostuse Vältimise Konventsioon

MCR – Maximum Continuous Rating / Masina maksimum võimsus, mida masin suudab välja anda töötades ohututel parameetritel

MEPC – Marine Environment Protection Committee / Rahvusvaheline Mereorganisatsiooni merekeskkonnakaite komitee

MERS – Maritime Emission Reduction Scheme / Merendusest tulenevate emissioonide alandamise skeem

METS – Global Maritime Emission Trading System / Globaalne merendusest tulenevate heitkoguste kauplemise süsteem

MGO – Marine Gas Oil / Destilleeritud diisel

Non-GHG – Non-Greenhouse Gas Emissions / Mitte-kasvuhoonegaasid, muud emissioonid

PM - Particulate Matter / Tahked peenosakesed

SECA - Sulphur Emission Control Areas / SO<sub>x</sub>-heitkoguse kontrolli piirkond

SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan/ Energiatõhususe juhtmisikava

# Sisukord

Jooniste loetelu .....	7
Tabelite loetelu .....	8
Graafikute loetelu .....	9
Valemite loetelu.....	10
Annotatsioon.....	11
Sissejuhatus .....	12
1 CO <sub>2</sub> vähendamise strateegiad laeva heitgaasides .....	15
1.1 Lühiajalised strateegiad (2021 -2030) .....	15
1.1.1 Energiatõhususe näitaja EEDI.....	15
1.1.2 Energiatõhususe näitaja EVDI .....	19
1.1.3 Energiatõhususe näitaja EEXI.....	20
1.1.4 Süsiniku intensiivsuse indikaator CII.....	22
1.1.5 Laeva energiatõhususe juhtimiskava SEEMP.....	22
1.1.6 Ökonoomne režiim .....	24
1.1.7 Kombinaator meetod .....	25
1.1.8 Kaldaelekter.....	27
1.1.9 Turupõhised meetmed .....	28
1.2 Pikaajalised strateegiad (2030-2050).....	31
1.2.1 Tuuleenergia .....	31
1.2.2 Päikeseenergia .....	32
1.2.3 Tuumaenergia.....	35
1.2.4 Alternatiivsed kütused .....	36
2 Uurimistöö metoodika .....	39
2.1 Rahvusvaheliste organisatsioonide poolt vastuvõetud strateegiate valiku põhjendus.....	39
2.2 Tehniliste lahenduste valiku põhjendus .....	41
2.3 Alternatiivsete lahenduste valiku põhjendus .....	42
3 Lühi- ja pikaajaliste strateegiate analüüs.....	43
3.1 Lühiajaliste strateegiate analüüs .....	43
3.2 Pikaajaliste strateegiate analüüs.....	48
4 Järeldused .....	53

4.1	Parim lühiajaline strateegia.....	53
4.2	Parim pikaajaline strateegia.....	54
	Kokkuvõte .....	56
	Summary.....	59
	Viidatud allikad .....	62
5	Lisa 1 Lihtlitsents .....	71

## Jooniste loetelu

Joonis 1 Energiatõhususe näitajate kasv 2013-2025 .....	16
Joonis 2. EEXI lihtsustatud protsess .....	21
Joonis 3 Sõit METS piirkonnas ja piirangutevaba alas .....	30
Joonis 4 Tuulte keskmine kiirus .....	31
Joonis 5 Aasta keskmine kütusekulu tonnides .....	32
Joonis 6 Ro-Ro laeva teekond, 52 reisi aastas .....	34

## **Tabelite loetelu**

Tabel 1. Laevaheitgaaside kogus kasutatava kütuse kohta.....	17
Tabel 2 MEPC ja MARPOL kohtumiste ülevaade ja tulemused .....	43



## **Graafikute loetelu**

Graafik 1 Laeva kütusekulu muutumine .....	26
--	----

## Valemite loetelu

Valem 1 EEDI arvutamise valem .....	17
Valem 2 Vesinikkütuse energia valem .....	37

## **Annotatsioon**

Käesolevas magistritöös uuritakse teemat „Laeva heitgaasides CO<sub>2</sub> vähendamise lühi- ja pikaajalised strateegiad 2021-2050“.

Töö koosneb neljast osast. Esimeses osas tutvustatakse võimalikke lühi- ja pikaajalisi strateegiaid, teises osas tutvustatakse käesoleva uurimistöö metoodikat ja põhjendatakse valitud potentsiaalseid strateegiaid, kolmandas osas tehakse analüüs ja neljandas osas on välja toodud analüüsil põhinevad järeldused.

Lühiajaliste strateegiatena on käsitletud järgnevaid teemasid: EEDI, EVDI, EEXI, CII, SEEMP, ökonoomiline režiim, kombinaator meetod, kaldaelekter ja turupõhised meetmed. Pikaajaliste strateegiatena on käsitletud tuule-, päikese-, tuumaenergiat ning alternatiivseid kütuseid. Kõiki eelpool mainitud strateegiaid on käsitletud aastatel 2010-2021 tehtud uuringute põhjal leidmaks parimad lühi- ja pikaajalised strateegiad.

Analüüsi tulemusena on leitud, et parim lühiajaline strateegia on SEEMP ja EEDI koos rakendamine laevapõhiselt, sest see on toonud alates 2013 positiivseid tulemusi. Alates 1 jaanuar 2013 on laevade energiatõhusus kasvanud 20%.

Parim pikaajaline strateegia on kasutada kütusena LNG-d. LNG kasutamise tulemusena on CO<sub>2</sub> teke 20-30% väiksem kui teiste kütuste puhul. Muud alternatiivsed valikud (tuule-, päikese-, tuumaenergia) ei ole aastaks 2021 piisavalt arendatud, et võtta need kasutusele kui 100% laeva energiaallikaid.

Märksõnad: EEDI, SEEMP, MEPC 72, LNG, CO<sub>2</sub> vähendamine merenduses, lühi- ja pikaajalised strateegiad merenduses, keskkond.

## Sissejuhatus

Maailm on pidevas muutumises ja arengus. Efektiivne töötegmine sai alguse alepõllundusega ning jätkus 18ndal sajandil tööstusrevolutsiooniga, mis paraku muutus keskkonnale kurnavamaks kui lihtne labidas ja kirves. (Scott Michael Rank 2014)

Aastal 2021 oleme valikute ees, mis otsustavad ära meie kõigi tuleviku. Kliima soojeneb ning aastane keskmine temperatuur on ühtlaselt ning järjepidevalt tõusnud alates aastast 1970. (NASA Global Climate Change, 2020) Üldine temperatuuri tõus Maa peal toob kaasa mitmeid välditavaid probleeme, kui vaid inimkond saaks kliima soojenemise kontrolli alla. Alates tööstusrevolutsioonist on Maa keskmine temperatuur tõusnud 1°C. (Kliimamuutused 2020)

Aastal 2010 avalikustas Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Kliimamuutuste Raamkonventsioon (edaspidi UNFCCC) teate, et globaalne soojenemine ei tohi ületada tööstusrevolutsiooni eelset Maa keskmist temperatuuri 2 °C võrra. Eesmärgi saavutamiseks peab võtma kasutusele meetmeid, mis viivad kasvuhoonegaaside taseme atmosfääris aastaks 2050 50% madalamaks kui see oli aastal 1990. (Com 2013 479 En, 2013) Hetkel on veel võimalik soojenemisprotsessi peatada, sest kui kriitiline 2 °C on ületatud, on tagajärjed elukeskkonnale pöördumatud. (Buis NASA's, 2019)

Euroopa Liit oli võtnud eesmärgi langetada kasvuhoonegaaside emissioone aastaks 2020 20% võrra madalamale tasemele kui oli aastal 1990. See on osa strateegiast „Europe 2020 Strategy“. Meretransport on ainus tööstusharu, mis on vabastatud eelpoolmainitud strateegiast. (EUROPE 2020, n.d.) Samas on Euroopa Liit võtnud initsiatiivi lisada emissioonide langetamise laevaheitgaasides plaani „White Paper on transport“. Aastaks 2050 on planeeritud heitgaaside hulka vähendada Euroopa Liidus 40% võrreldes 2005 aasta tasemega. (White Paper on Transport Roadmap to a Single European Transport Area - towards a Competitive and Resource-Efficient Transport System, n.d.)

Rahvusvaheline Mereorganisatsiooni Merekeskkonnakaitse Komitee (edaspidi MEPC) võttis oma 721 kohtumisel vastu plaani alandada kasvuhoonegaase aastaks 2050 50%

võrreldes aasta 2008 tasemega. Sealhulgas toodi eraldi välja laeva heitgaasidest pärineva CO<sub>2</sub> vähendamise eesmärgid. Nimelt aastaks 2030 on plaanis vähendada CO<sub>2</sub> hulka 40% võrreldes 2008 aasta tasemega ning aastaks 2050 langetada seda 70% võrreldes 2008 aasta tasemega. (UN Body Adopts Climate Change Strategy for Shipping, 2020)

Käesolevas magistritöös uurib autor MEPC poolt kinnitatud laeva heitgaasidest pärineva CO<sub>2</sub> vähendamise eesmärkide saavutamise võimalusi. Selleks, et aastaks 2030 oleksid MEPC poolt seatud plaanid täidetud, on vaja leida lahendused juba praegu. 2019 aasta „Emissioonid Meretranspordist“ raportis on välja toodud lahendustena nii uue kütuse kasutusele võtmine kui ka laeva ümberehitamine. (Full-Length Report Accompanying the Document Report from the Commission 2019 Annual Report on CO<sub>2</sub> Emissions from Maritime Transport {C(2020) 3184 Final}, n.d.) Samas puudub ühtne parim väljatöötatud tõhus strateegia, mida saaksid kõik laevandusettevõtted kasutusele võtta. Sellest tulenevalt on antud töö **aktuaalne**.

Uute kütuste kasutusele võtmine pole ainus viis, kuidas CO<sub>2</sub> sisaldust laeva heitgaasides vähendada. Variantideks on nii laevade energiatõhususe tõstmine ehituslikult, mis on lühiajaline strateegia, kui ka hübriidtehnoloogia kasutusele võtmine, mis on pikaajaline strateegia. Hübriidtehnoloogia (päikeseenergia, akud ja vedelkütus) kasutamine on alles uus, kuid juba katsetatud. (Wärtsilä Achieves New Marine Benchmark with Hybrid Solution for Bulk Carriers, 2019) Igapäevaselt areneva tehnikamaailma saavutustest tuleneb käesoleva töö **uudsus**.

**Uuritavaks probleemiks** käesolevas magistritöös on leida parim viis kõigist valikus olevatest variantidest, mis suudaks pakkuda nii laevaomanikule kui ka meie keskkonnale just seda, mida vaja. Valikuid on palju, kuidas saavutada CO<sub>2</sub> vähendamine laeva heitgaasides. Käesoleva töö uuritava probleemi tulemusena on olemas vastus, mis näitab, milline on kõige paremini sobiv CO<sub>2</sub> vähendamise strateegia, mis vastaks nõuetele ka aastal 2050.

Käesoleva töö **hüpoteesiks** on väide, et aastal 2021 on olemas tõhusaim lühi- ja pikaajaline strateegia, kuidas saavutada MEPC 72. kohtumisel kinnitatud eesmärk aastaks 2050.

Magistritöö **eesmärgiks** on selgitada CO<sub>2</sub> vähendamise lühi- ja pikaajalisi strateegiaid juba tehtud uuringute ja katsetuste põhjal ning välja selgitada neist tõhusaim viis, kuidas saavutada MEPC 72 eesmärke aastaks 2050.

**Uuritavateks** strateegiateks on:

1. Energiatõhususe Disaini Indeksi (edaspidi EEDI) ja Laeva Energiatõhususe Juhtimisplaani (edaspidi SEEMP) kasutuselevõtu mõju CO<sub>2</sub> vähenemisele laeva heitgaasides.
2. Turupõhiste meetmete rakendamine laevandusettevõtetele ning selle mõju.
3. Tehniliste meetodite rakendamise kasutegur ja selle mõju.
4. Alternatiivsete kütuste kasutusele võtu võimalused ja kasutegur.
5. Lokaalsed viisid sadamates – kaldaelektri kasutusele võtmine.

Töö koosneb neljast osast, mille esimeses osas on uuritud CO<sub>2</sub> lühi- ja pikaajalisi vähendamise strateegiaid. Teises osas on antud ülevaade metoodikast ning põhjendatakse analüüsimisele kuuluvate määruste, regulatsioonide, tehnilise- ning alternatiivsete meetodite valikuid. Kolmandas osas keskendub autor uurimistulemuste analüüsile ning strateegiate rakendamise võimalustele erinevates regioonides. Neljandas osas on esitatud järeldused ning vajadusel välja toodud erinevate strateegiate analüüsi vastuolulised tulemused. Samuti on antud ülevaade toimivatest strateegiatest, mida saaks rakendada või juba rakendatakse.

Autor soovib magistritöö kirjutamise alguses püstitatud hüpoteesi kinnitada.

# 1 CO<sub>2</sub> vähendamise strateegiad laeva heitgaasides

## 1.1 Lühiajalised strateegiad (2021 -2030)

### 1.1.1 Energiatõhususe näitaja EEDI

Rahvusvaheline Laevade Põhjustatava Merereostuse Vältimise Konventsioon (edaspidi MARPOL) võttis vastu VI lisa juulis 2011 (jõustus 1 jaanuar 2013) ning lisas neljanda peatüki, mis reguleerib laevade energiatõhusust. Lisa VI sisaldab regulatsioone „Energiatõhususe disainiindeks uutele laevadele“ (*“Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships”*) ning „Laeva energiatõhususe juhtimisplaan kõigile laevadele“ (*„The Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) for all ships“*). (Anh Tran 2016) EEDI võeti vastu MEPC 62 raames juuli 2011. (*EEDI & SEEMP explained*, 2014)

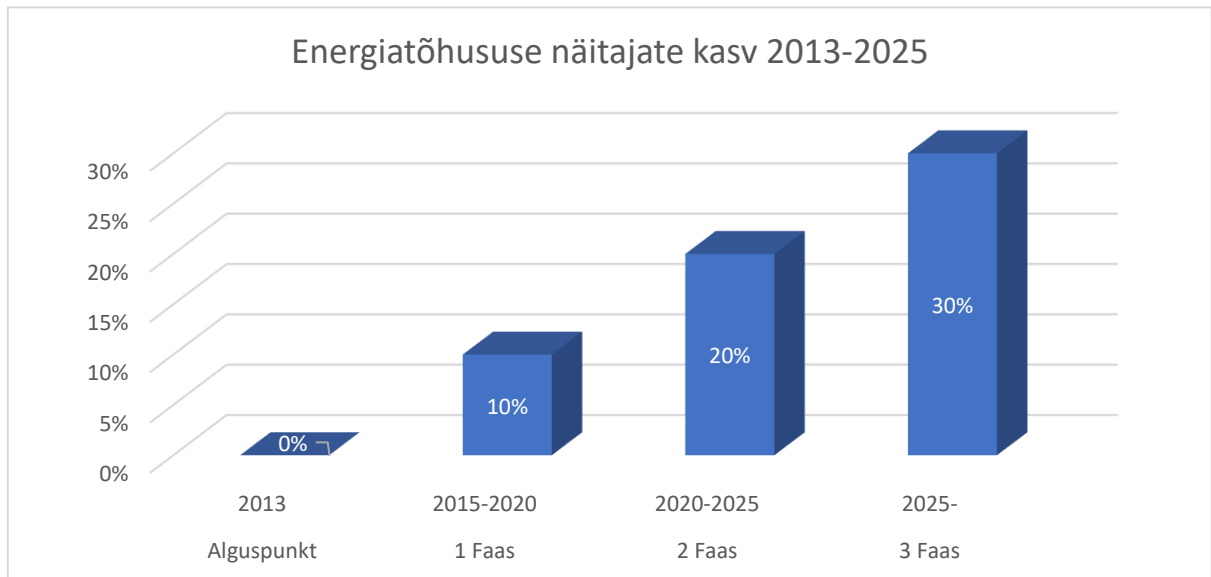
Energiatõhususe näitaja (edaspidi EEDI) kasutatakse arvutamaks laeva energiatõhusust. Selle aluseks on valem, mis võtab arvesse laeva emissioone, mahutavust ning kiirust. Mida madalam on EEDI, sest energiatõhusama laevaga on tegemist ning seeläbi on laeva negatiivne mõju keskkonnale väiksem. (*EEDI Energy Efficiency Design Index*, n.d.)

Olenevalt laevatüübist on kõigil laevadel EEDI erinev. Samuti mõjutab EEDIt laeva ajalugu ning ehitusaasta. MARPOL 73/78 jõustus 2013, mis tähendab, et hiljem ehitatud laevade puhul on muudatused juba arvesse võetud projekte koostades.

EEDI mõjutab laevu, mille kogumahutavus (edaspidi GT) on minimaalselt 400. Uute tehniliste lahendustega on laevad energiatõhusamad ning seeläbi on CO<sub>2</sub> kogus laeva heitgaasides väiksem tonn-miili kohta. Mida väiksem on EEDI näitaja, seda energiatõhusam on laev ning kogu reisi kohta on ka väiksem CO<sub>2</sub> väljalase. Hiljutised uuringud on näidanud, et energiatõhususe tõstmine laevadel on kõige lihtsam ja paremini rakendatavam viis, kuidas alandada CO<sub>2</sub> emissioone laeva heitgaasides. (Tokuslu, 2020)

Alates EEDI rakendamisest 2013 on nõuded laeva tehnilistele omadustele muutunud nõudlikumaks ning see trend jätkub ka tulevikus. EEDI nõuded uutele laevadele karmistuvad järk-järgult kolmes astmes- 2015, 2020 ja 2025 aastal. Olenevalt laevast ning

selle tüübist on nõuded erinevad, kuid algandmeteks on võetud energiatõhususe näitajad 2013 aasta põhjal. Vanemad laevad, mis on ehitatud enne 2000 aastat, antud nõudmistele vastama ei pea. (EEDI Energy Efficiency Design Index, n.d.)



Joonis 1

EEDI nõuetele alluvad laevad, mille kütusekulu on võrreldes teiste laevatüüpidega suuremad. Nimistusse kuuluvad: vedellastilaevad, kuivlastilaevad, gaasitankerid, segalastilaevad, gaasitankerid, kombineeritud lasti laevad, külmlastilaevad, ro-ro laevad, ro-pax laevad, konteinerlaevad ja merematkelaevad. Vastavalt EEDI järk-järguliste kõrgematele nõuetele, on esimese faasi siht 10% aastaks 2015 võrreldes 2013 aasta energiatõhususe näitajale. Teise faasi eesmärk on 20% ning kolmandas faasis peab olema energiatõhusust tõstetud 30% võrra võrreldes 2013 aasta EEDI näitajaga. (Tokuslu, 2020) Energiatõhususe näitajate kasvu 2013-2025 iseloomustab Joonis 1. August 2020 kohaselt oleme liikumas teises faasis, kus energiatõhususe tõus peab olema vähemalt 20%. Antud tulemust on aega veel saavutada 4 aastat (täpsustus lehekülg 18).

Energiatõhususe indeksi kalkuleerimise meetodit ning valemit (1) tutvustati esimest korda MARPOLi VI Lisa juures aastal 2011 ning hakati rakendama aastal 1 jaanuar 2013. EEDI arvutamise valem näeb välja järgnevalt



$$EEDI = \frac{P * SFC * C_f}{DWT * V_{ref}} \quad (1)$$

kus P on 70% peamasina ja abimasinate koguvõimsus (kW), SFC on kulutatud kütuse kogus (kW), C<sub>f</sub> on heitgaaside kogus kasutatud kütuse kohta vastavalt Tabelile 1, DWT on laeva dedveit ehk veeväljasurve, V<sub>ref</sub> on laevakiirus.

Eelmises valemis kasutatud C<sub>f</sub> tuleb tabelist 1, kus on välja toodud laeva heitgaaside kogus olenevalt kütusetüübist. (Tokuslu, 2020)

Kütuse tüüp	Viide	Süsiniku sisaldus	C <sub>f</sub> (t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel)
Kütteõli	ISO 8217 Grades DMX DMB	0,8744	3,206
LFO	ISO 8217 Grades RMA RMD	0,8594	3,151
HFO	ISO 8217 Grades RME RMK	0,8493	3,114
LPG	Butaan	0,8264	3,030
LPG	Propaan	0,8182	3,000
LNG		0,7500	2,750
Metanool		0,3750	1,375
Etanool		0,5217	1,913

Tabel 1. Laevaheitgaaside kogus kasutatava kütuse kohta MEPC 245 (66) 2014.) (Tokuslu, 2020)

Antud numbrid on kütusetüüpidel keskmised ning umbkaudsed. Reaalsed andmed võivad laevakäitamise ajal olla erinevad.

Kui on teada laeva kohta eelpool mainitud andmed, siis on võimalik EEDI lihtsustatud kujul välja arvutada ning teha vastavad järeldused ja ettepanekud olukorra parendamiseks sõltuvalt arvutuse tulemusest ning tehnilistest ja finantsilistest võimalustest.

Olenemata seni tehtud tehnilistest parendustest laeval ning plaani järgimisest, tõi MEPC 75 kohtumine 16-20 November 2020 EEDI 3-faasilise plaani varasemaks. Augustis 2020 tehtud kuupäevalised eeldused lükatakse ümber.

MEPC 75 kohtumisel otsustatakse 3 faas tuua varasemaks ning alustada plaanide rakendamist juba 1. aprill 2022. Antud muudatus puudutab laevu, mis ehitatakse alates 1. aprill 2022. (*Marine Environment Protection Committee (MEPC) 75, 16-20 November (virtual session, 2020)*)

3 faasi varasem algus puudutab eelkõige suuremaid konteinerlaevu, segalastilaevu, gaasitankereid ning LNG kütuseid kasutavaid laevu:

- Konteinerlaev 200 000 DWT ja rohkem EEDI tase alates aastast 2022 on 50%
- Konteinerlaev 120 000 DWT – 199 999 DWT EEDI tase alates aastast 2022 on 45%
- Konteinerlaev 80 000 DWT – 119 999 DWT EEDI tase alates aastast 2022 on 40%
- Konteinerlaev 40 000 DWT – 79 000 DWT EEDI tase alates aastast 2022 on 35%
- Konteinerlaev 15 000 DWT – 39 000 DWT EEDI tase alates aastast 2022 on 30%

(*Marine Environment Protection Committee (MEPC) 75, 16-20 November (virtual session, 2020)*)

Nii nagu eelpool selgub on plaanid vastavalt kliimamuutuste tasemele ja tehnika arengule kiired muutuma. Algselt tehtud plaanid ei ole lõpuni kindlad ning MEPC võib teha vajadusel muudatusi.

3 faasi algus toodi lähemale, sest uuringud näitasid, et paljud laevad, mis on ehitatud aastatel 2015 ja 2016 juba vastavad 2 faasi nõuetele. See annab põhjuse uskuda, et ka aastatel 2018-2020 ehitatud laevad vastavad 2 faasi nõuetele ning jääb ära vajadus oodata 3 faasi alustamisega. (*Readily Achievable EEDI Requirements for 2020, 2020*)

Magistritöö autor leiab, et antud otsus on mõistlik ning isegi tervitatav, kuna koos tehnika arenguga annab see lisamotivatsiooni kiirendada laevade töö tõhusamaks muutmist. See

omakorda toob kaasa potentsiaalset finantsilist kokkuhoidu laeva käitamisele kuluvast eelarvest ning samuti ka loodussäästu. Kogu projekt on saanud eelkõige alguse keskkonnakaitsest ning kasvuhoonegaaside vähendamisest atmosfääris. Kui tehnika areng võimaldab plaanitud varem kasutusele võtta seadeid ning tehnilisi lahendusi, annab see suure võidu etteseadud algses ajaraamistikus.

EEDI on hea lahendus ning sobib laevadele, mis on ehitatud alates aastast 2013. Samas maailmamerel on hetkel sõitmas ka laevu, mis on ehitatud enne aastat 2013 ning neile EEDI lähenemine ei ole rakendatav.

### **1.1.2 Energiatõhususe näitaja EVDI**

Laevadele, mis on ehitatud enne aastat 2013 on olemas sama põhimõttega teistsugune indeks – EVDI ehk Existing Vessel Design Index, mis on välja töötatud organisatsioonide Carbon War Room ja RightShip poolt. (Psaraftis, 2018) Antud lühendil puudub ametlik eestikeelne tõlge, kuid töö autor tõlgib antud väljendit (EVDI) kui olemasoleva laeva energiatõhususe indeks.

Töö autor leiab, et vaatamata headele eesmärkidele tasub eraettevõtete poolt loodud indekseid kasutada teatud ettevaatusega, kuni need pole rahvusvaheliselt tunnustatud praktikad.

EVDI töötab samal põhimõttel, mis EEDI ehk siis EVDI arvutatakse CO<sub>2</sub> kogus heitgaasides suhtena kaubatonni meremiili kohta. Samuti nii EEDI kui ka EVDI sõltuvad laevakiirusest, mida praktikas arvestatakse 75% MCR kiirusest ehk maksimum masina võimsusest, mida masin suudab välja anda töötades ohututel parameetritel. Antud kiirus arvutatakse igal laeval individuaalselt, sest isegi sõsarlaevade MCR erineb 8-10%. (Psaraftis, 2018)

Laevareisil kuluv kütusehulk sõltub samuti ka ilmastikuoludest, lastikaalust, kiirusest ning laevapere professionaalsusest ja kogemusest laevakäitamisel. Kulutatud kütusehulk omakorda mõjutab otseselt CO<sub>2</sub> hulga sisaldust laeva heitgaasides. Seega pole laeva MCR

ega EEDI või EVDI otseses suhtes reaalsusega ning on pigem suunav indikaator laeva üldiste parameetrite iseloomustamiseks.

EEDI on laialdasemalt levinud, rahvusvaheliste organisatsioonide poolt tunnustatud parameeter, erinevalt EVDIst. EVDI on loodud pidades silmas laevade prahiturgu, kus EEDIt omanud laevad said näilise eelise. Võttes arvesse tegelikke prahilepingu tingimusi, kus on kindel kütusekulu kokku lepitud, jääb EVDI ja EEDI parameeter tagaplaanile. Slow steaming ehk ökonoomne režiim ning kombinaator meetod muudavad nii kiirust ja kütusekulu ning seega ei ole EEDI või EVDI laeva valimisel prahtimiseks määrav. (Psaraftis, 2018)

### **1.1.3 Energiatõhususe näitaja EEXI**

MEPC 75 kogunemisel novembris 2020 tutvustati MARPOL Lisa VI raames parameetrit EEXI ehk Energy Efficiency Design Index for Existing Ships. Magistritöö koostamise ajal puudub eesti keelne vaste, mis tõttu töö autor tõlgib seda samuti kui olemasoleva laeva energiatõhususe indeks. Parema selguse nimel on töös jätkatud lühendite kasutamist. EEXI kehtib laevadele, mille GT on rohkem kui 400. Antud parameetri eripärad töötatakse läbi aastaks 2021 juuni, mil toimub MEPC 76 ning rakendatakse alates aastal 2023. EEDI ja EEXI arvutamise põhimõtted on samad. (*EEXI / Energy Efficiency Existing Ship Index - DNV GL, 2020*)

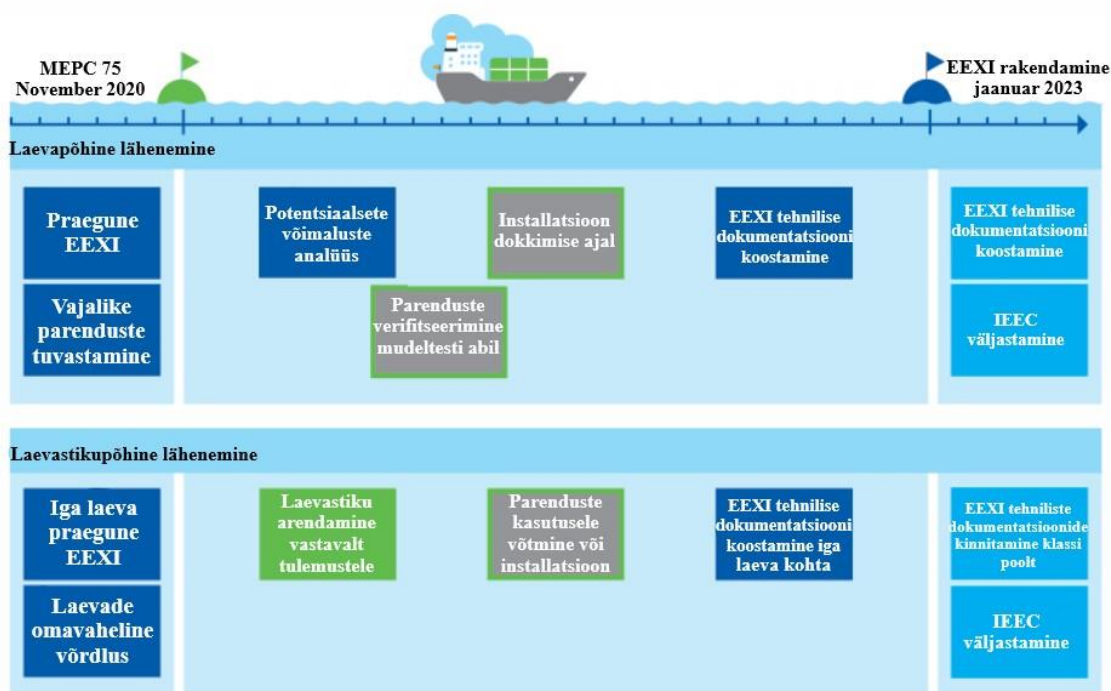
Töö autor leiab, et EEXI lisandumine kasutatavate parameetrite hulka on tervitatav tulenevalt parema selguse eesmärgil. Algselt väljatöötatud parameetri EEDI järgi on monitooritav vaid osa merel sõitvast laevastikust ning see ei anna CO<sub>2</sub> vähendamise strateegia eesmärgil piisavalt head ülevaadet.

EEXI hakkab kehtima kauba- ja merematkelaevadele, mille GT on üle 400. See muudatus on võrreldav EEDI 2 või 3 faasiga heitgaaside vähendamise strateegias. Magistritöö kirjutamise ajal ootab EEXI verifitseerimist ning IEEC poolt kinnitamist mitte hiljem kui 1 jaanuar 2023. (*Decarbonization in shipping - DNV GL, 2020*)

Kui laev on ehitatud EEDI regulatsioonide kehtimise ajal, siis ümberkorraldusi pole vaja teha. Peab jälgima vajadusel muutuvaid regulatsioone, kuid EEXI raames välja töötatud korraldused ei ole määravad.

Selleks, et laev EEXI raames IEEC poolt sertifitseeritud saaks, peab laevaomanik esitama klassiühingule vastavad dokumendid, mis vaadatakse üle ning väljastatakse sertifikaat. Süsteemi rakendamiseks vajalikud sammud sai väljatoodud jaanuar 2020 ning on avalikuks kasutamiseks laevaomanikele. Klassiühing kui EEXI verifitseerija vaatab dokumendid üle ning väljastab sertifikaadi. (*Implementation of EEXI in shipping - DNV GL, 2020*)

Joonisel 2 on välja toodud lihtsustatud protsess nii ühe laeva kui ka laevastiku põhjal.



Joonis 3. EEXI lihtsustatud protsess (EEXI Technical File | Advisory service - DNV GL, 2020)

Joonisel 2 on selgitatud IEEC sertifikaadi saamise protsessi lihtsal viisil, kus erinevate asutuste/isikute vastutusala on eraldi välja toodud. Tumesinistes kastides olevate korralduste vastutus lasub EEXI regulatsioonidega kursis olevate spetsialistidel, kuid nende poole peab pöörduma laevaomanik ise. Helesinistes kastides olevad korraldused on klassiühingu vastutusala. Roheline ning hall on laevaomaniku ja peamasinatootja või sertifitseeritud edasimüüja vastutusala.

#### **1.1.4 Süsiniku intensiivsuse indikaator CII**

CII ehk Carbon Intensity Indicator on eesti keeles süsiniku intensiivsuse indikaator. CII mõõteühikuks on AER ehk Annual Efficiency Ratio, mis eesti keelde tõlgituna on aastane efektiivsuse näitaja (CO<sub>2</sub> hulk grammides DWT miili kohta). Iga aasta antakse kaubaring merematkelaevadele, mille suurus on üle 5000GT hinnang A-E. Antud hinnang on oluline parameeter laeva iseloomustamiseks. Aastal 2030 muutub hindamise süsteem karmimaks ning laevad, mille hinnanguks on D või E peavad üle vaatama tegevuskava ning SEEMP plaani. Kindlad nõuded määratakse MEPC 76 kohtumisel. (*Decarbonization in shipping - DNV GL, 2020*)

CII monitoorimine tõuseb aktuaalseks juba praegu, kui on veel aega teha ümberehitusi ning süsteeme enne kui 2030 saabub. Üheks muutuseks on SEEMP plaani ülevaatamine. SEEMP plaani ülevaatamine hõlmab endas meetodika kirjeldust, mille põhjal kalkuleeritakse Attained Annual Operational CII ehk eesti keeles saavutatav aastane laevaopereerimisest tulenev süsiniku intensiivsuse indikaator ning sellest teavitatakse klassiühingut. Samuti tähendab see eesoleva 3 aasta CII prognoosi, laeva tehnilist hinnangut ning parendusettepanekuid. (*hellenicshippingnews, 2020*)

#### **1.1.5 Laeva energiatõhususe juhtimiskava SEEMP**

SEEMP ehk Ship Energy Efficiency Management Plan, mis eesti keeles tähendab laeva energiatõhususe juhtimiskava, võeti kasutusele pärast MEPC 62 juuli 2011 MARPOL Lisa VI raames. Tegemist on juhtimiskavaga, mis hõlmab endas optimaalsete kuludega energiatõhusat laevakäitlemist. SEEMP annab võimaluse laevandusettevõtetele läbi aja tõhustada laevastiku energiatõhusust ning rakendada energiatõhususe indikaatorit EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator). EEOI annab võimaluse jälgida laeva kütuse efektiivsuse määra reisi ajal. See tähendab võimalust täiustada reisiplaneerimist laevakere ja sõukruvi puhastamise seisukohast, mis mõjutab otseselt laeva kütusekulu suurust reisi kohta. SEEMP suunab laevaomanikke vastu võtma otsuseid, mis optimeeriksid laevade

kütusekulu ning seeläbi alandaksid CO<sub>2</sub> mahtu laeva heitgaasides. (*EEDI & SEEMP explained*, 2014)

SEEMP olemasolu on kohustuslik kõigile üle 400GT laevadele alates 1. jaanuar 2013. MARPOLi 4 peatüki lisa sätestab, et kõigil laevadel peab olema pardal laevapõhine SEEMP plaan, mida vajadusel jooksvalt täiendatakse. (*Monitoring ship and fleet efficiency performance with an SEEMP - DNV GL*, 2020)

Magistritöö autor leiab, et kohustuslik SEEMPi plaan on toonud kaasa positiivseid muudatusi keskkonna seisukohast. Antud plaani olemasolu on tekitanud olukorra, kus soov käidelda laeva finantsiliselt tõhusana on toonud kaasa keskkonnasäästliku laevaopereerimise viisi.

SEEMPi saab laevale luua laevaomanik ise või pöörduda vastavate teenusepakkujate poole. Mõlemal juhul on SEEMPi loomise etapid samasugused – plaani, tee, kontrolli, rakenda. Planeerimise käigus vaadeldakse laeva- ja ettevõttepõhiseid võimalusi ning on kõige olulisem punkt SEEMPi loomisel, sest siin pannakse paika võimalused maksimaalse tulemuse saavutamiseks. Plaani loomise teine punkt on otseses seoses esimesega, kus katsetatakse väljauuritud võimalusi ning kontrollitakse tulemusi. SEEMP peab vastama ka ISM koodeksile, mis ei lase tekitada rahalist kokkuhoidu ohutuse arvelt. (*Monitoring ship and fleet efficiency performance with an SEEMP - DNV GL*, 2020)

Süvitsi minnes on oluline võtta arvesse finantsilisi võimalusi rakendamaks madala süsinikusaldusega laevakäitlemise plaane, sealhulgas SEEMPi ja EEDIt. Kui ühte laeva täiustatakse ettevõttele liialt kulukate tehnoloogiatega, võib see tuua tagajärgi, kus teised ettevõtte laevad ei suuda IMO regulatsioone täita. (Nguyen, 2018)

Ümberehitamise õige kalkulatsioon ja tasuvusaja määramine on kriitiline edasise tegevuse suhtes, kus kaalul on vana laeva lammutamine ja uue soetamine või mõni kolmas viis. Olenevalt laeva olukorrast on oluline kaaluda, kui palju katab vana laeva lammutamine ning sellest saadud tulu uue laeva ehitamise kulu. Samuti peab hindama merelaevanduse trendide suunda, et prognoosida uue laeva ehitamise otstarbekust.

Samuti on oluline jälgida laevade tehnoloogilisi võimalusi ning teha tasuvusanalüüs laeva tehnilise täiustamise plaanidele. Arvestama peab laeva ümberehitamise kuludega ning tasuvusajaga. Juhul kui tegemist on piisavalt vana laevaga, kus ümberehitamine või uute tehnoloogiate rakendamine on keerukas või pole võimalik, peab arvestama algselt mitteplaanituid võimalustega. (Nguyen, 2018)

IMO poolt läbi viidud 2011 aasta uuring näitas, et EEDI ja SEEMPi kasutusele võtmine vähendab CO<sub>2</sub> emissioone aastaks 2030 keskmiselt 14%. Keskmiselt väheneb CO<sub>2</sub> maht aastas 330 miljonit tonni ning alates 2013 aastast on vähenenud 23%. (Salim et al., 2019)

#### **1.1.6 Ökonoomne režiim**

Ökonoomne režiim võeti esimesena kasutusele konteinerlaevade seas, kus kiirused olid keskmiselt kõrgemad kui vedel- või puistlastilaevadel. Peamiselt Euroopa ja Kaug-Ida vahel sõitvad laevad alustasid opereerimist 60-70% varasemast kiirusest ning vähendasid kütusekulu kuni 70% aastatel 2007-2012 võrreldes varasemaga. Vedellastilaevad vähendasid kütusekulu sama ajaga 50%. (Mander, 2017)

Väiksem kütusekulu toob kaasa positiivse tulemuse keskkonnakaitse ning antud magistritöö uurimuse seisukohast. Väiksema kütusekulu otsene tulemus on heitgaaside koguse vähenemine meretranspordis ning see omakorda aitab saavutada MEPC 72. kohtumisel kinnitatud eesmärki aastaks 2050.

Ökonoomsema režiimi varjupooleks on pikemad tarneajad, mis tähendab väiksemat kasumit sama ajaperioodi kohta ning laevade ülebroneerimist. Aastal 2010 oli 40% laevastikust ülebroneeritud ökonoomsel režiimil töötamise tõttu. Vähendades kiirust 27 sõlmelt 22-le pikeneb reisiaeg Aasiast Euroopasse 3-4 päeva, vähendades kiiruse 18 sõlmele, pikeneb sõiduaeg kuni nädalani. (Mander, 2017) Kaupa, mida meritsi vedada, oli rohkem kui vaba laevamahtu. Ülebroneerimine ning pikad tarneajad toovad kaasa hinnatõusu kliendi jaoks merenduses ning sellest tulenevalt võib klient otsustada võimalusel alternatiivsete transpordiviiside kasuks. Võrdluseks – jaanuaris 2021



konteineripuuduse ning ülebroneerimiste tagajärjel oli 40´ konteineri toomine Shanghaist Tallinnasse rongiga 9000USD ja laevaga 14000USD.

Majanduslikult võib ökonoomsel režiimil opereerimine kasulikuks osutuda, kui nõudlus on madal ning kütusehinnad kõrged. Paraku ei too see tagasi teenimata kasumit veohinnalt. (Finnsgård et al., 2020) Ökonoomse režiimi eesmärk on alandada heitgaaside väljalaset meretranspordis, arvestamata muid tegureid, mis ettevõtte toimimisel olulised on. See toob kaasa olukorra, kus arvestatakse pigem suurema kasumiga ning jäetakse üksikisiku/ettevõtte tasandil keskkonnahoiu tagaplaanile.

Ökonoomne režiim võib potentsiaalselt langetada kütusekulu 23% ehk sääst laevaopereerimisel tuleb kütusemaksumusest. (Chang & Wang, 2014) Laevakäitamisest tekkivad heitgaasid on võrdelised kütusekuluga. Ühe tonni kulutatud kütuse kohta paiskub õhku keskmiselt 3,17kg CO<sub>2</sub>. Vähendades laevakiirust 10% vähendab see CO<sub>2</sub> kogust 10-15%. Samas näitas Cariou, P poolt läbiviidud uuring, et ökonoomsel režiimil sõitmine toob kaasa CO<sub>2</sub> vähenemise vaid juhul, kui ettevõtteid survestatakse kütust säästma kas turupõhiste meetmetega või kõrge kütusehinnaga. (Cariou, 2011) Antud tulemust toetas ka C.Chang ja C-M Wang poolt läbiviidud uurimus 2014 aasta teadusartiklis. Kõige suurem tegur laevakiiruse valikul on kõrgem kütusehind ning -kulu.

### **1.1.7 Kombinaator meetod**

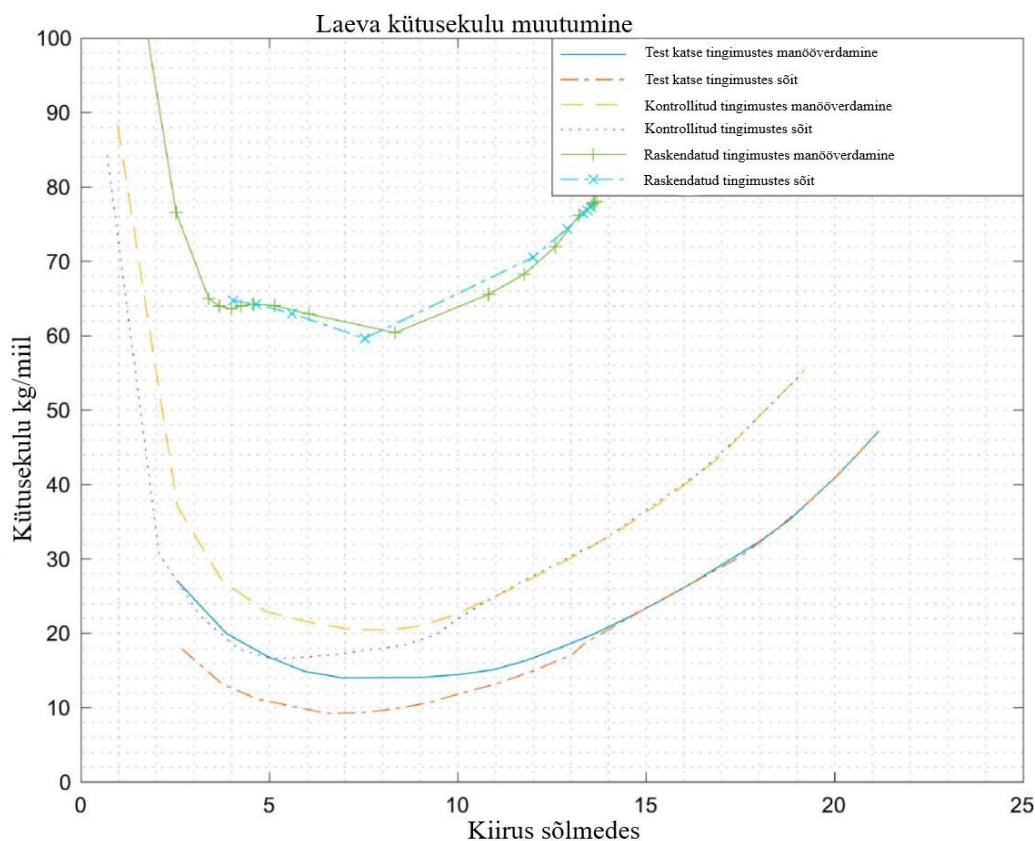
Üks lühiajalistest strateegiatest, kuidas kasutada ära ökonoomsest režiimist tulenev kütusesääst ning samas hoida ka peamasina kütusekulu madalal on kombinaator meetod. Nii nagu eelmises peatükis mainitud, on ökonoomse režiimi ning pikema reisiaja varjupooleks peamasina püsiv kütusekulu, kuid seda saab alandada kombinaator meetodiga ning seeläbi vähendades CO<sub>2</sub> paiskamist atmosfääri.

Aastal 2017 avaldas Rinze Dirk Geertsma kolm uurimustööd, mis tõid välja kombinaator meetodi positiivsed võimalused MEPC eesmärgi saavutamiseks aastaks 2050.

Reguleeritava sammuga sõukruvi annab võimaluse sõita kas konstantsel või kombinaator režiimil. Konstantne režiim on teisisõnu ökonoomne režiim, mis tähendab, et peamasinad hoiavad võlligeneraatorite pöörlemise sagedust määratud tasemel (Geertsma et al., 2017)

Kombinaator meetodil sõltuvad peamasina pöörded sõukruvi sammust ja masina koormusest. Väiksem sõukruvi samm tähendab väiksemaid peamasina pöörded ja koormust, mis omakorda vähendab laeva vibratsiooni ja sõukruvi kavitatsiooni. Selle tulemusena väheneb peamasina kütusekulu väiksematel pööretel ja koormusel. (Geertsma et al., 2017)

Simulatsioon viidi läbi MATLAB Simulink R2016b tarkvaraga ning katsetingimusteks oli püsiva kiiruse hoidmine ja kiirendamine 0st 5ni, 5st 10ni, 10st 15ni. Eesmärk oli 0st kiirendada 15ni vaadeldes kütusekulu vaheetappides. Tulemused on välja toodud graafikul 1. (Geertsma et al., 2017)



Graafik 1 (Geertsma et al., 2017)

Graafik 1 illustreerib MATLAB Simulink R2016b tarkvaraga saadud tulemusi ning siit selguvad kunstlikes tingimustes kütusekulu muutused vastavalt kiiruse muutumisele.

Kasutades kombinaator meetodit on tavasõidu ajal 5 sõlme tunnis kütusekulu 30% väiksem, 10 sõlme juures 10% väiksem ning 15 sõlme ajal 2% väiksem võrreldes manööverdamise ajaga. Manööverdamisel tekkiv kütusekulu tõus on tingitud veesurvest sõukruvile, olenevalt sõukruvi sammu suurusest. Edasine kütusesääst saab tekkida vaid tõstes sõukruvi sammu tavasõidu ajal, eeldusel, et peamasin ning ilmastikuolud võimaldavad seda. Raskendatud tingimustes kaob kütusekulu vahe, sest sõukruvi sammu vähenemine sunnib peamasinat tegema sama tööd tekitamata masinale ülekoormust. (Geertsma et al., 2017)

### **1.1.8 Kaldaelekter**

Kaldaelekter on üks alternatiividest, kuidas võimaldada laeva energiavarustatuse seisujal kai ääres. Selle rakendamiseks on vajalik eelnevalt teha prognoos kuluvast elektrienergia kogusest sadamapõhiselt.

R.Winkeli poolt läbiviidud uuring näitab, et kui kõik Euroopa sadamad hakkaksid kasutama kaldaelektrit, siis see vähendaks süsinikubaasil emissioone aastas 800 000 tonni. (Winkel et al., 2016) Kaldaelektri kasutuselevõttust tingitud positiivne potentsiaal on antud uuringu valguses tugev, kuid seda toetab ka W.J Halli poolt koostatud teadusartikkel. W.J Halli poolt koostatud prognoos näitab, et kaldaelektrisüsteemid alandavad CO<sub>2</sub> kogust keskmiselt 29%, olenevalt laeva küllastihedusest sadamas ning sadamatüübist, sealhulgas mõjutab tulemust ka elektrienergia tootmisviis. (Hall, 2010)

Peamised kaldaelektrist tulenevad parendused lisaks laeva energiaga varustamisele puudutavad kaikraanasid ning külmkonteinerite jahutussüsteeme. Kraanad ja konteinerite jahutussüsteemid kasutavad 20-45% sadamas kuluvast energiast. (Colarossi & Principi, 2020) Lisades juurde laevale kuluv energia, mida saab suunata kaldaelektrikuludesse, on kokkuhoid märgatav.

Kaldaelektri võimekuse väljaehitamine vajab investeeringuid, mis olenevalt sadamast ning selle tüübist küündivad 1.5-2 miljoni dollarini kai kohta. Tasuvusuuring näitab, et

kaldaelektri väljaehitamine teenib kulud tagasi keskmiselt kümne aastaga. Kulude tagasiteenimist soodustab kõrgem kütusehind, sest nii on laevadel mõttekam ühendada end kaldaelektriga. (Zis, 2019)

CO<sub>2</sub> emissioonide alandamine kaldaelektriga sõltub elektrienergia tootmisest. Sõltuvalt sellest, mis viise kasutatakse elektrienergia tootmiseks võib tõusta piirkonnapõhine CO<sub>2</sub> emissioonide tase isegi kaldaelektri puhul.

W. J Halli poolt läbi viidud uuringud näitavad, et parimad tulemused CO<sub>2</sub> emissioonide alandamiseks kaldaelektri kasutuselevõtuga on Norra – 99,5%. See on otseselt tingitud Norra hüdroelektrijaamade keskkonnasäästlikust toimimisviisist. Suur potentsiaal alandada CO<sub>2</sub> emissioone on ka Prantsusmaal- 85%, mille elektrienergia toodetakse tuumajaamades. Hiinas, Indoneesias, Venemaal ja Ühendatud Araabia Emiraatides oleks küll võimalik kaldaelekter kasutusele võtta, kuid elektrienergia tootmine ei ole eelpool mainitud riikides keskkonnasäästlike viisidega. (Hall, 2010)

Kaldaelektrist tingitud CO<sub>2</sub> alandamine on tõhus vaid siis, kui elektrienergia on toodetud taastuvenergiat kasutades. Kui kasutatakse fossiilseid kütuseid, siis neist tingitud emissioonide kogus töötlemisel tühistab kaldaelektri poolt tekitatud CO<sub>2</sub> languse.

### **1.1.9 Turupõhised meetmed**

Arutelu turupõhiste meetmete üle algas 2010, kolm aastat enne EEDI ja SEEMP rakendamist, kui esitati 11 ettepanekut MEPC 60 kohtumisel. (Lagouvardou et al., 2020) Magistritöö autor näeb potentsiaali turupõhistes meetmetes, juhul kui need arvestavad nii jõukamate kui ka vähemjõukate laevandusettevõtete võimalusi konkureerida rahvusvahelisel turul.

IMO võttis ettepanekud arutelu alla kuid paraku aastaks 2013 polnud ekspertgrupp leidnud ühtset strateegiat, mis tooks enim kasu. Ühine joon ettepanekutes oli maksimaalse kasvuhooonegaaside sisalduse määramine ning selle ületamise maksustamine. (Lagouvardou et al., 2020)

Magistritöö autor leiab, et probleem antud strateegiat kasutades võib osutada probleemiks luues ebavõrdse olukorra, kus finantsiliselt kindlustatumad ettevõtted suudavad osta endale puudujääva kasvuhoonegaaside määra neilt, kellel see üle jääb. See omakorda toob kaasa uue ostu-müügituru, mis muudab olukorra ebavõrdseks ning ei paranda laevapõhiselt CO<sub>2</sub> sisalduse määra heitgaasides.

ETS ehk Emission Trading Systems, mis eesti keeles kõlab kui heitkogustega kauplemise süsteem, on Euroopa Liidu poolt loodud ning seotud otseselt EU ETS Direktiiviga. Tööstussektorid, mis kuuluvad EU ETS alla peavad vähendama emissioonide kogust aastaks 2030 43% võrreldes aasta 2005 tasemega. Alates aastast 2021 peab aastas emissioonide kogus vähenema 2,2% võrreldes eelneva 1,74%. (*Revision for phase 4 (2021-2030)*, 2016)

Magistritöö kirjutamise ajaks pole veel selgunud, kas merendussektor allub EU ETS süsteemile või ei. Euroopa Komisjon teeb juunis 2021 ettepaneku lükata EU ETS rakendamine merendussektorile edasi. 2021 teise kvartali lõpus vaadatakse üle, kas merendussektor on reaalselt võimeline alandama heitgaaside kogust 55% aastaks 2030. (*European Commission sees maritime, aviation sector hardest to decarbonize amid fresh targets | S&P Global Platts*, 2020)

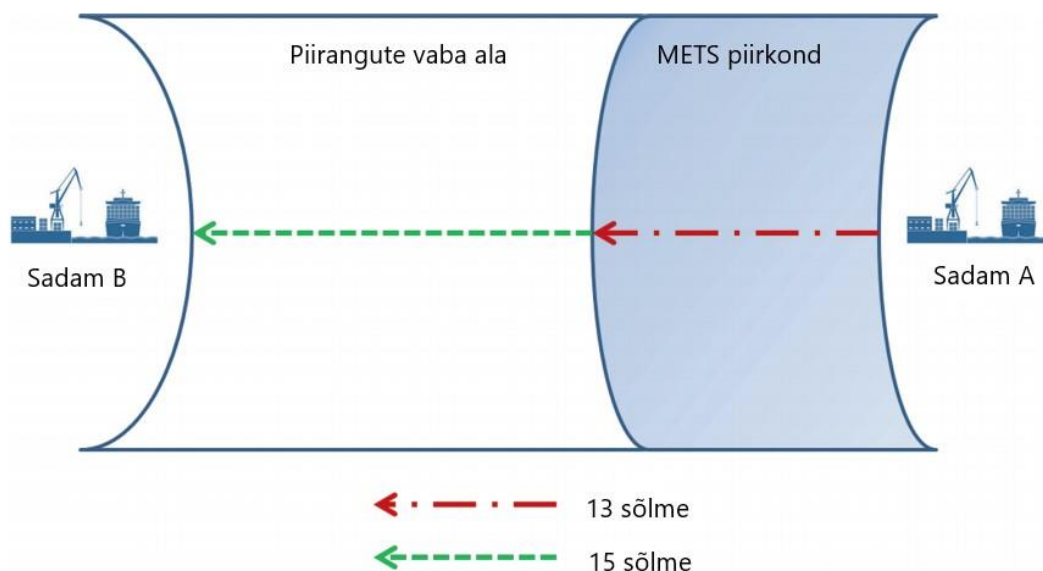
METS ehk Global Maritime Emission Trading System, mis eesti keeles tähendaks ülemaailmset merendusest tulenevate heitkogustega kauplemise süsteemi. See on otsene meede, kuidas mõjutada ettevõtteid kasutama keskkonnasõbralikkemaid alternatiive. Suuremad laevakäitamise kulud suunavad ettevõtteid võtma kasutusele madalamad kiirused ning jälgima kütuste hindu. (“(Lagouvardou et al., 2020),” 2020)

Vaatamata meetmetele ei vähenda METS paraku lühiajaliselt heitgaaside kogust piirkondades, kus laevakütuse hind on kõrge. Samas, kui piirkondlikult on laevakütuse hinnad madalad, käitumiskulud kõrged, on METS toonud positiivseid tulemusi CO<sub>2</sub> langetamise perspektiivis. (Gu et al., 2019)

Magistritöö autor ei näe pikaajalisemat kasutegurit METS süsteemi järgi toimimisel. Antud süsteemis on suurim kasutegur ettevõtjal, kellel on võimalus soetada suurem saastekvoot ning seeläbi siiski võita süsteem kaotamata ajas või kaubakoguses.

METS piirkonnad on tekitanud laevaomanikule võimaluse, kus sõidetakse aeglasemalt, makstakse vähem CO<sub>2</sub> emissioonide eest, mis toob kulude kokkuhoiu. Jõudes METS piirkonnast välja, tõstetakse kiirust ning CO<sub>2</sub> langus ühes piirkonnas ning ka kaotatud aeg tehakse tasa järgmises kõrgemate emissioonide tasemega. Olukorda kirjeldab joonis 3. (Gu et al., 2019)

Joonisel 3 on kujutatud laeva teekonda Sadamast A Sadamasse B ning METS ja piirangutevaba ala määratletud erineva värviga.



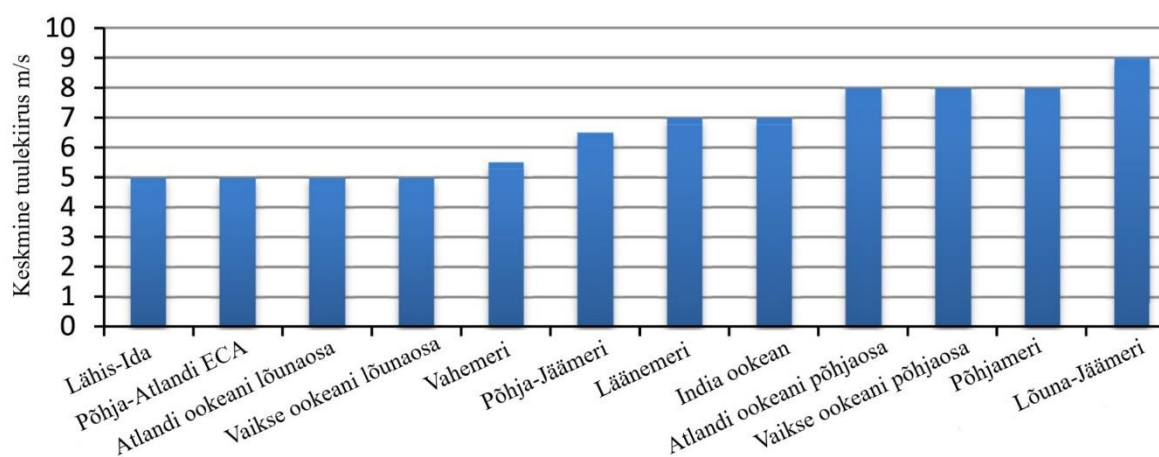
Joonis 4 Sõit METS piirkonnas ja piirangutevaba alas (Gu et al., 2019)

MERS ehk Maritime Emission Reduction Scheme, mis eesti keeles on merendusest tulevate emissioonide alandamise skeem, hõlmab endas CO<sub>2</sub> emissioonide määra ning heitkoguste maksu, mis suunatakse merendussektori põhistesse arendustesse arengumaades ning teistesse projektidesse, mis töötavad puhtama keskkonna nimel. Magistritöö kirjutamise ajal polnud veel selge, mida otsustab MEPC antud meetodi suhtes. (Miola et al., 2011)

## 1.2 Pikaajalised strateegiad (2030-2050)

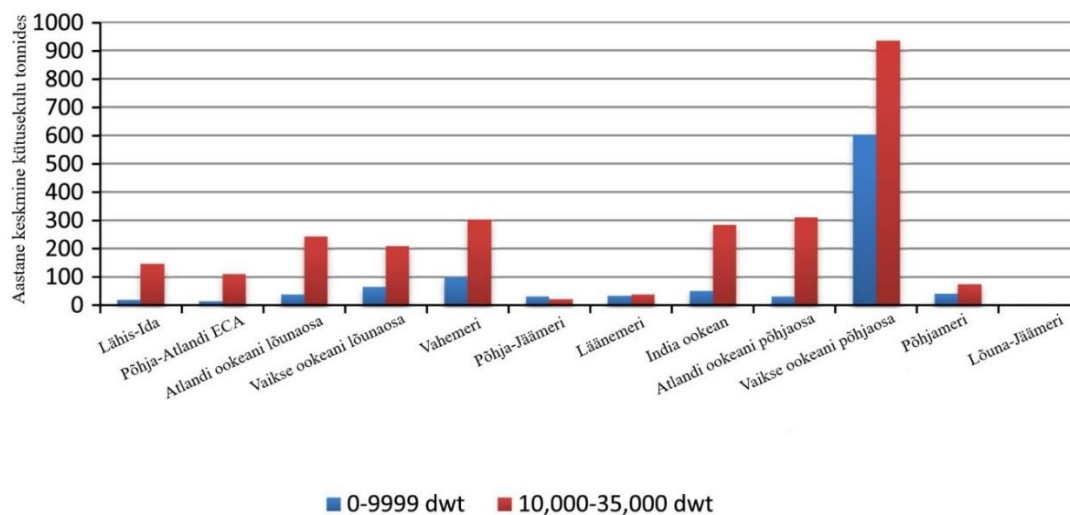
### 1.2.1 Tuuleenergia

Taastuenergia kasutamine on üks pikaajalistest strateegiatest, kuidas tuua alla CO<sub>2</sub> emissioonide tase laeva heitgaasides. Tuule-, päikese- ja tuumaenergia on viisid, mis on kasutuses, kuid pole veel nii levinud kui võiks. Tuuleenergia kasutamiseks on kolm viisi – flettner tüüpi rootor, tuulelohed ja purjed. Need aitavad kaasa kütusesäästule, mis omakorda mõjutab emissioonide kogust heitgaasides. Kasutegur on sõltuv tuule suunast ja kiirusest, kus tugevamate tuulte puhul on saadud energiakogus suurem ning laev ise peab vähem tööd tegema edasiliikumiseks. (Rehmatulla et al., 2017) Tuulte keskmine kiirus on välja toodud joonisel 4. Joonisel 4 on näha, et suurimad kiirused on Lõuna-Jäämerel ja madalaimad Lähis-Ida piirkonnas.



Joonis 5 Tuulte keskmine kiirus (Rehmatulla et al., 2017)

Tuulte keskmine kiirus mõjutab kiirust ning kütusekulu laevas, et säilitada vajalik kiirus. Joonisel 5 on välja toodud kuivlasti laevade aasta keskmine kütusekulu eelpool vaadeldud piirkondades. Arvesse on võetud laevad 0 – 10 000 DWT ja 10 000 – 35 000 DWT. Joonisel on näha, kuidas aasta keskmine tuulekiirus mõjutab aastast kütusekulu tonnides. (Rehmatulla et al., 2017)



Joonis 6 Aasta keskmine kütusekulu tonnides (Rehmatulla et al., 2017)

Joonisel 5 põhjal saab analüüsida alternatiivsete kütuste rakendamise potentsiaali erinevates regioonides. Vaadates koos joonist 4 ja 5 saab teha järeldused, et Vaikse ookeani põhjaosas toimub suur osa valdavast mereliiklusest ning seal on ka keskmisest suuremad tuulte kiirused. Vaikse ookeani põhjaosas on aasta keskmine tuulte kiirus 8 m/s ning kütusekulu 10 000 – 35 000 DWT kuivlastilaeva puhul hinnanguliselt 910 tonni.

Tuulelohed, purjed ning flettner tüüpi rootorid vähendavad aastas emissioonide taset 5 – 10%. (Al Baroudi et al., 2021) Kui lisada üks eelpool mainitud tehnoloogiatest 10 000 – 35 000 DWT laevale, mis seilab Vaikse ookeani põhjaosas, siis aastane kokkuhoid emissioonide osas oleks tuntav. Miinus antud projekti juures oleks sõltuvus tuulest ning selle suunast. Tuulelohe töötab hästi tagasuunalise tuulega, kui tuule kiirus on suurem kui laeva oma ning keskmiselt varustab laeva 127 kW kuni 461kW. Flettner rootor töötab hästi vaid külgsuunalise tuulega, mis võimaldab võtta maksimum kasuteguri ning alandada kütusekulu ning varustab laeva keskmiselt 193 kW kuni 373 kW. (Traut et al., 2014)

### 1.2.2 Päikeseenergia

Piirkondades, kus aasta jooksul on päikest rohkem (peamiselt lõuna piirkond) tasub investeerida päikeseenergia lahendustesse. Olenevalt laeva võimsusest ning energiavajadusest on projekteeritavad päikesepaneelid suutelised katma ära osa vajalikust

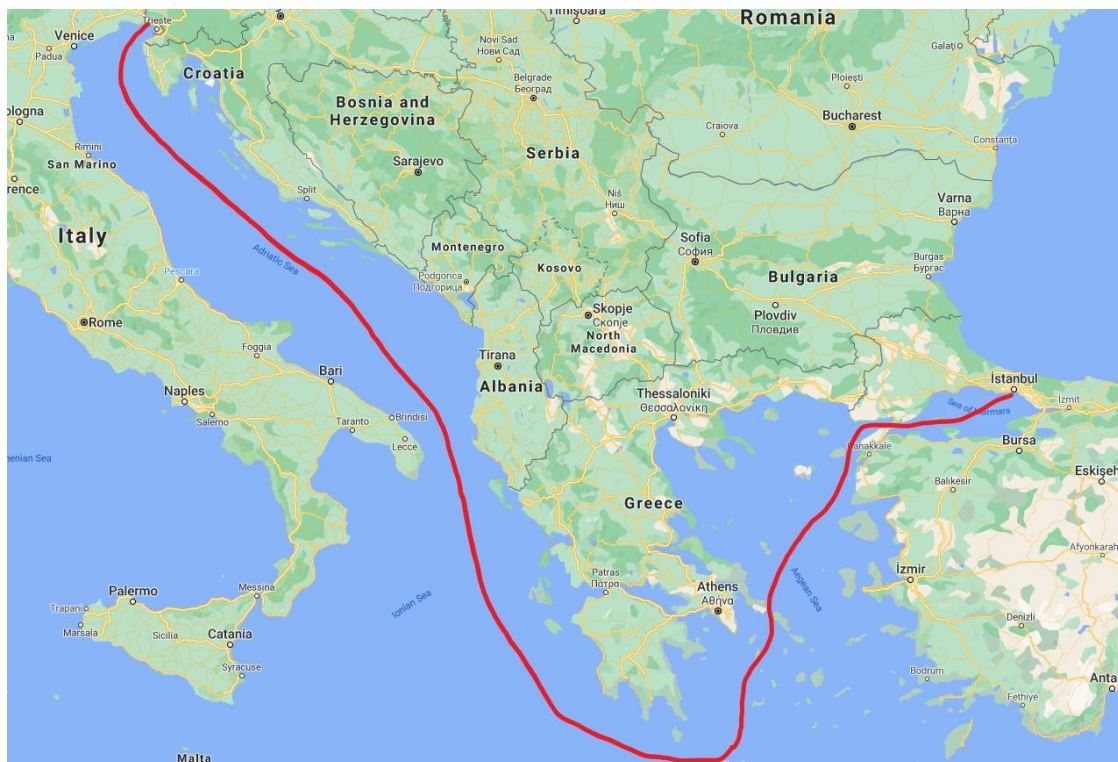


energiakulust alandades seeläbi emissioonide taset laeva heitgaasides ning seeläbi ka CO<sub>2</sub> kogust.

Çağlar Karatuğ ja Yalçın Durmuşoğlu poolt läbi viidud uuringus paigaldati Vahemere piirkonnas (joonis 6) sõitvale Ro-Ro laeva välitekile 2593,5m<sup>2</sup> ulatuses päikesepaneelid. Aastas tehtud 52 reisi põhjal joonisel 6 näidatud trajektooriga tehtud analüüs näitas, et 7,76% energiast sai toota päikesepaneelidega. Samuti säästis see 7,38% kütusest võrreldes eelmiste aastatega. (Karatuğ & Durmuşoğlu, 2020)

Vahemere piirkond on ajalooliselt olnud päikesepaisteline ning selle põhjal oleks võinud järeldada, et päikesepaneelide kasutegur on antud piirkonnas kõrgem. Tulemused näitasid, et kütusesääst oli 7,38%, mis võttes arvesse tehnoloogiate arengut on aastal 2021 madal.

Päikesepaneelide kasutamise miinus laevadel on nende kasuteguri madal protsent ning kindlusaste. Päikesepaneelide kasutegur kõigub 10% ja 22% vahel. See sõltub laevatamise piirkonnast ning paneeli puhtusest. Mida määrdunum pind on, seda väiksem on paneeli kasutegur. (Glykas et al., 2010)



Joonis 7 Ro-Ro laeva teekond, 52 reisi aastat. (Karatuğ & Durmuşoğlu, 2020) Allikas: Kaart Google Maps

Päikesepaneelide paigaldamisel tuleb arvestada laevatamise piirkonnaga ning päikeseliste päevade arvuga. Vaatamata päikesepaneelide suutlikkusele toota energiat ka pilvise päevaga ei ole selle kasutegur piisav, et katta ära paigaldamise- ning hoolduskulud.

Keskmiselt arvestatakse päikesepaneelide ostu ja paigaldamisel hinnaks 4.82 USA dollarit 1 Watti kohta või 4820 USA dollarit nädalas kõrgeima kW koguse kohta. (Glykas et al., 2010) Tehtud kulutuste tagasiteenimine võtab keskmiselt 16-27 aastat arvestades kütuse hinnatõusu 10-15%. (Ghenai et al., 2019) Samuti tuleb arvesse võtta päikesepaneelide eluiga, mis on 25-30 aastat ning nende eemaldamine või ümbervahetamine on suur kulu. (Glykas et al., 2010)

### 1.2.3 Tuumaenergia

Õigesti ümberkäidud tuumaenergia on alternatiivne kõrge kasuteguriga energialiik, mida saab kasutada merenduses. Selle jaoks peavad olema laevad vastavalt kohaldatud ning laevapere peab omama vastavat koolitust.

Tuumaenergial sõitva laeva positiivne külg on pikemad meresõidud ilma vahepealse punkerdamiseta. Samuti on ehituslikult rohkem ruumi kaubale kuna süsteem võtab ehituslikult vähem ruumi. Miinuseks on kõrgemad kulud süsteemi ehitamisel ning kõrged ohutusnõuded. Tingituna tuumaenergia ohtlikkusest on see valdavas osas kasutusele sõjalaevades, sest seal on kulude-tulude suhe üksteise suhtes võrdne ning põhjendatud. (Freire & Andrade, 2015)

Uuringute järgi oleks võimalik asendada suured Triple-E tüüpi konteinerlaevad väiksemate tuumaenergiat kasutatavate laevadega, mille kiirus on suurem, kuid CO<sub>2</sub> hulk emissioonides väiksem ning see kiirendaks kaubavoogu tekitamata seisakuid. Aastal 2017 oli 886 konteinerlaeva mahuga üle 5000TEU maailma merelaevastikus, mis tootsid aastas 81,7 miljonit tonni ehk 40% kogu konteinerlaevastikust pärineva CO<sub>2</sub> mahu. (Schøyen & Steger-Jensen, 2017)

Probleem tuumaenergial sõitva laevaga võib tekkida sadamates, mis erinevatel põhjustel võivad keelduda andmast luba laevade sisenemiseks sadamasse. Osalt on see seotud põhjendamatu või põhjendatud ajaloolise hirmuga tuumaenergia ees, mis on tingitud tuumakatastroofidest Tšernobolis ja Fukushima. (Schøyen & Steger-Jensen, 2017)

Samuti on probleemne laeva elutsükli kogumaksumuse arvutamine enne laeva käitamist, sest seal on palju muutuvaid tegureid. Jooksvatele kuludele lisaks annab suure koormuse ka laeva enda ehitamine, sest tegemist on eritehnoloogiaga ning vajab suuri investeeringuid. (Schøyen & Steger-Jensen, 2017)

Eritehnika ning süsteemide puhul tuleb arvestada ka jooksvate hooldustega ning vajadusel mehhanismide parandamisega. Laeva elutsükli jooksul ilmnevad kulud ning

lisainvesteeringud laeva ei pruugi ennast pikas perspektiivis ära tasuda ja sellega peab omanik arvestama.

#### **1.2.4 Alternatiivsed kütused**

Vähem kui 1% merelaevastikust kasutab biokütuseid tingituna kõrgemast hinnast, tarneraskustest ning infrastruktuuri täielikust puudumisest ja samuti ka laeva enda ehituslikust valmisolekust. Kaubalaevastik endiselt eelistab fossilkütuseid. (Panoutsou et al., 2021) Paraku pole fossiilsetel kütusel edasimineku jätkusuutlik. Samas peab biokütuste puhul silmas pidama keskkonnasäästlike ning jätkusuutlike tootmise viise.

Selleks, et toota biokütuseid, peab olema piisav varu biomassi, milles toota. Biomassi tootmiseks kasutatud maa ning viljapõld peavad olema säilitatud ning kasvatatud kindlates tingimustes, et biomass oleks piisavalt energiaväärtuslik selle lõppfaasis. Kvaliteetne põld ning vilid tähendavad pinnastiku piisavat süsinikusisaldust ning selle säilitamist ja hiljem kasutatud maa taastamist uueks hooajaks. (Panoutsou et al., 2021) Ülekoormamine soodustab mullastiku orgaanilise aine sisalduse vähenemist ning seeläbi muudab pinna uuele külville toitaineväheseks. ("EUR-Lex - 52012DC0046 - ET," 2012) Toitainete vähenemine ei kannu uut vilja ning maaala mahajätisel hakkab toimuma kõrbestumine.

LNGI on kõrgem vesiniku-süsiniku suhe kui fossiilsetel kütusel ning selle tulemusena on heitgaasides CO<sub>2</sub> hulk 20-30% madalam. LNG kasutuselevõtmise juures on nõrgaks kohaks LNG mitte-täielik põlemine, mille tulemusena tekib metaan ning sellel on 36 korda suurem soojusenergia kui CO<sub>2</sub>. Õnneks praeguste laevade võimekuse juures on metaani teke vaid 2-5% kogu LNG koguse juures. Võttes arvesse 2-5% metaani tekkest, on LNG sääst kasvahoonegaaside valguses 8-20% raskekütuste ees. (Balcombe et al., 2019) 36 kordne soojusenergiavõimsus tähendab, et metaan soojendab atmosfääri 36 korda rohkem kui CO<sub>2</sub>, mis on pikas perspektiivis kliimamuutuste vaatenurgast ohtlikum.

Laevade ehitamine ja ümberehitamine LNG-I töötavale peamasinale on keskmiselt 600-800USD (retrofit) ja 1500-2200USD (uus laev) kW kohta. Hind sõltub peamiselt

peamasina tüübist (2- või 4-taktiline) ning kas võetakse kasutusele ainult LNG-l või kahel erineval kütusel töötava peamasin. (Balcombe et al., 2019)

Alternatiiviks LNG-le on Fischer-Tropsch diisel, LC etanool, bio-metanool, dimetüül-eeter (toodetud bio-metanoolist) ja bio-LNG. Eelpool nimetatud biokütused on kõrgema klassi kütused ning tekitavad vähem kasvuhoonegaase kui rasvhapete metüülestrid (FAME) ja bio-etanool. (Balcombe et al., 2019)

Tuleviku alternatiiv kütuseks nimetatud vesinik on aastal 2020 aktuaalne. Tegemist on puhta kütusega, mille CO<sub>2</sub> jälg on olematu ning seeläbi sobib MEPC 72 kohtumisel vastuvõetud eesmärgi saavutamiseks. Hetkel on saadaval vaid väga vähesed teadusuuringud vesinikkütuse kohta vaatamata selle aktuaalsusele aastal 2021. See on tingitud praktilise kogemuse puudumisest.

Märtsis 2020 viidi läbi uuring, mille eesmärk oli selgitada vesinikkütuse potentsiaali konteinerlaeva kütusena trajektoiril Hiina - USA. Uuringus kasutati 2015 aasta andmeid (konteinerlaevade tehnilised andmed ja reise sagedus). Vaatamata vesinikkütuse väiksemale võimsusele võrreldes fossiilsete kütustega, selgitas uuring välja, et 43% reisidest Pearl River Delta Hiinast San Pedro laheni USAs saaks teha üksnes vesinikkütusega ilma lisamuudatusi tegemata laevas (eeldusel, et kütusetankid on sobivad vesinikkütusele). Kui lisada üks punkerdamispeatas või ehitada kütusetank 5% suuremaks, siis tehtavate reise maht vesinikkütusega tõuseks 99% protsendini. (Georgeff et al., 2020)

Vesinikkütuse puhul on tegemist energiakandjaga ning seetõttu saab kasutada järgnevat valemit (2), et välja arvutada vajalik energiakogus reisiks:

$$E_{vaj1} = P_1 \cdot \frac{L_1}{v} \quad (2)$$

kus,  $E_{vaj1}$  on vajalik energiakogus läbimaks planeeritud teekonda (kWh),  $P_1$  on pea- ja abimasinate poolt väljaantav võimsus läbimaks planeeritavat teekonda (kW),  $L_1$  on teekonna pikkus lähte- ja sihtsadama vahel (meremiilid, nm), ja  $v$  on keskmine planeeritav laevakiirus. (Georgeff et al., 2020)

Elise Georgeffi poolt läbi viidud uuringus potentsiaalselt vesinikkütusel sõitvate konteinerlaevadega võeti eelduseks tavaliste kütusetankide asendamine vesinikule sobivate tankidega. Paraku on vesinikule sobivad kütusetankid tehniliselt ja ehituslikult erinevad teistest kütusetankidest.

Vesinikku mahutava tanki puhul on oluliseks tehniliseks faktoriks selle soojusisolatsioon takistamaks vesiniku aurustumist. Vesinikul on madal keemistemperatuur ja madal peitesoojus. Tulenevalt eelpool mainitust peab olema vesinikkütusele sobivas tankis erirõhk ja seetõttu ei sobi vesinikule ei LNG ega ka nii-öelda tavalisele kütusele mõeldud kütusetankid. (Kamiya et al., 2015)

Esimene teadaolev vesinikul sõitev reisiparvlaev on tellitud Norra laevandusettevõtte poolt ning saab valmis 2021 aasta II pooles. Laeva korpus ehitatakse Türgis ning Norras lisatakse vesinikulahendus. Laeva tehniline lahendus hakkab toimima nii, et vesinik laadidakse välistekil asuvasse klaasplastist survemahutitesse ning vesinik käib läbi vesinikuelementide, toodab elektrienergia akudesse ja sealt läheb elektrienergia otse käituritele. (Kiviro, 2021) Magistritöö kirjutamise ajal täpsemad andmed ehitatava laeva kohta puuduvad.

Takistus alternatiivsete kütuste kasutuselevõtul on ebakindlus taristu olemasolul, varustus- ning tarnekindlus. Laevaomanike otsuseid mõjutab ka laevade ümberehitusele ja uute ehitusele kuluvad investeeringud, mis töökindla taristu puudumisel ei pruugi investeeringuid määratud aja jooksul tagasi teenida.

## **2 Uurimistöö metoodika**

Käesolevas magistritöös „Laeva heitgaasides CO<sub>2</sub> vähendamise lühi- ja pikaajalised strateegiad 2021-2050“ on teadusallikatena kasutatud aastatel 2010-2021 ilmunud teadusartikleid, mille põhjal on autor koostanud analüüsid ning teinud järeldused. Arvestatud on teema laiapõhjalise taustaga ja spetsiifiliste erisustega olenevalt laevast ning selle tüübist.

Antud analüüs tugineb parimate strateegiate väljatoomisele vastavalt olemasolevate uuringute tulemusest ning rakendamise võimalusest ja tõenäosusest. Rahaliselt kallimate strateegiate korral on vajalik silmas pidada rakendamise piirkonda ja tõenäosust investeeringu tagasiteenimiseks. Magistritöö on kvalitatiivne kvantitatiivse mõjuga ning põhineb tehtud uuringute kirjeldusel ja analüüsil.

Magistritöö autor käsitleb uuringuid ning tulemusi erapooletult ning vastandab erinevate teooriate ja uuringute tulemusi omapoolse seisukohaga. Järeldused on tehtud magistritöös käsitletud uuringute põhjal arvestades hetkel olemasolevaid tehniliste ja rahaliste lahenduste võimalusi merenduses.

### **2.1 Rahvusvaheliste organisatsioonide poolt vastuvõetud strateegiate valiku põhjendus**

Strateegiaid, kuidas vähendada CO<sub>2</sub> sisaldust laevade poolt tekitatud heitgaasides on mitmeid. Antud magistritöös on välja toodud kõige aktuaalsemad ning asjakohasemad strateegiad, mis on juba kasutusel või lähiaastate jooksul rakendatamas. Sellest tuleneb väljatoodud strateegiate aktuaalsus. Magistritöös mainitud rahvusvaheliste organisatsioonide poolt vastuvõetud strateegiate kohta on ilmunud teadustöid ning uuringuid, mida töö autor kasutas analüüsi ja järelduste tegemiseks.

EEDI on regulatsioonina kasutuses 1 jaanuarist 2013, kui jõustus MARPOL 73/78 VI lisa. (Anh Tran 2016) See regulatsioon puudutab kõiki laevu, mis on ehitatud alates 1 jaanuar 2013 ja mille GT on suurem kui 400. Antud regulatsiooni puudusena on selle

kitsas kehtivusala ning jätab välja laevad, mis on ehitatud enne antud määruse kehtima hakkamist. Samas oli EEDI jõustumisega tehtud suur samm MEPC 721 kohtumisel vastu võetud plaani tulemuste suunas. Magistritöö kirjutamise käigus selgus, et EEDI 3 faasilise plaani raames oleme ajast ees ning viimast faasi alustatakse 1 aprill 2022. (*Marine Environment Protection Committee (MEPC) 75, 16-20 November (virtual session, 2020)*)

EVDI töötati välja Carbon War Room ja RightShip poolt ning vaatamata sellele, et tegemist ei ole nii öelda ametliku määrusega, puudutab see laevade prahiturgu muutes laevad, millele ei saa rakendada EEDIt näiliselt sama atraktiivseks. (Psaraftis, 2018) EVDI puudutab laevu, mille GT on üle 400 ja ehitatud enne 1 jaanuari 2013. Magistritöö autor leiab, et vaatamata EVDI ametliku tunnustuse puudumisele aitab antud parameeter kaasa laevade poolt tekitatud CO<sub>2</sub> vähenemisele.

EEXIt tutvustati avalikusele MEPC 751 kohtumisel november 2020 ning see täitis ära EEDI poolt väljajäetud tühimiku. EEXI parameeter kehtib laevadele, mille GT on rohkem kui 400, kuid ehitatud enne 1 jaanuari 2013 ning seeläbi ei kehti EEDI poolt sätestatud regulatsioonidele. (*EEXI / Energy Efficiency Existing Ship Index - DNV GL, 2020*) Omamoodi vahetab EEXI, mis on ametlikult ja rahvusvaheliselt tunnustatud, välja EVDI, mis on eraalgatusel loodud parameeter. EEXI on veel arendamisjärgus ning seda hakatakse rakendada alles 2023 aastal. (*Decarbonization in shipping - DNV GL, 2020*)

CII parameeter on otseselt seotud hindamaks CO<sub>2</sub> kogust laeva heitgaasides merematke- ja kaubalaevadel. (*Decarbonization in shipping - DNV GL, 2020*) Täpsed nõuded antud parameetrile määratakse MEPC 76ndal kohtumisel, kuid see on suur samm edasi hindamaks tulevikulaevastiku keskkonnasäästlikust. Töö autor leiab, et antud parameeter aitab kaasa keskkonnasäästlikema laevade ehitusele tulenevalt järjest karmistuvatest regulatsioonidest ning kulude kasvust majandada kehvemate keskkonnavalase parameetritega laeva.

SEEMP ühendab sisuliselt eelpool mainitud parameetrite ühist eesmärki alandada maailma merelaevastiku koormust keskkonnale CO<sub>2</sub> vähendamise teel ning mängib suurt rolli laeva keskkonnasäästlikumaks muutmisel. Tulenedes SEEMP aktuaalsusele ning



selle suurele ühisosale EEDI, EVDI, EEXI ja CII on oluline jälgida ja analüüsida ka SEEMP regulatsioone tuleviku perspektiivis.

Lisaks laevale kehtivatele regulatsioonidele on võimalik mõjutada laevomaniku käitumist läbi turupõhiste meetmete, mis mõjuvad olenevalt finantsilistest võimalustest kas vabastava või piiravana. Turupõhiste meetmete idee on hea, kuid seda olukorda on kerge ära kasutada, kui eesmärk on indiviidi tasandil põhjendatud. Olenemata Euroopa Liidu poolt loodud ETS süsteemist sisaldab see endas kompromiteerivat ohtu MEPC 76ndal kohtumisel määratud eesmärgile. Käesoleva töö valguses on turupõhised meetmed aktuaalsed, sest otsust nende rakendamiseks pole tulnud ning tuleviku mõistes võib otsuse mõju olla määrav CO<sub>2</sub> alanemise või tõusmise suunas ühe reisi kohta.

## **2.2 Tehniliste lahenduste valiku põhjendus**

Viise, kuidas viia CO<sub>2</sub> kogus laeva heitgaasides madalamale on mitmeid. Lisaks rahvusvaheliste organisatsioonide määrustele ja regulatsioonidele saab laevaomanik ise palju ära teha astumaks sammukese lähemale puhtamale keskkonnale. Üks neist viisidest on erinevad tehnilised lahendused, mida saab laevapõhiselt rakendada.

Magistritöö autor on välja valinud mõned lahendused, mida juba praegu kasutatakse igapäevaselt merelaevanduses ning on näidanud potentsiaali muutmaks laevandust keskkonnasõbralikumaks.

Ökonoomne režiim võeti kasutusele 2007 ning esimesena konteinerlaevade seas. (Mander, 2017) Antud lahenduse kohta on tehtud piisavalt uuringuid, mis annavad ökonoomse režiimist ja selle tulemustest hea ülevaate. Samuti on võimalik antud lahendust analüüsides saada hea potentsiaalne eelvaade tuleviku suhtes.

Lisaks ökonoomsele režiimile on kasutuses kombinaator meetod, mis hoiab peamasinate kütusekulu madalal ning seeläbi vähendab veelgi üldist kütusekulu laevareisi ajal. Geertsma Rinze D avaldas kombinaator meetodi kohta aastal 2017 kolm uuringut, mis annavad hea ülevaate lahenduse arengust ja edasisest potentsiaalset saavutamaks MEPC

eesmärki 2050. Magistritöö autor leiab, et kombinaator meetod on üks olulisemaid tehnilisi lahendusi hetkel olemasolevatest valikutest ning seetõttu antud töös ka käsitletud.

Kui laev ei ole teel sadamasse, siis see on üldjuhul sadamas ning ka seal on energiakulu, mida saab õige tehnilise lahendusega kontrolli all hoida. Kaldaelekter annab laevale võimaluse kasutada lokaalset energiaallikat ilma oma küttevarusid kasutamata. See meetod hoiab kohaliku piirkonna õhu puhtamana ning seega ka hoiab CO<sub>2</sub> gaaside koguse lokaalselt kontrolli all. Seetõttu on antud töös käsitletud kaldaelektrit kui toimivat lahendust, millel on tulevikku ka lähiaastatel. Kaldaelektri puhul on eraldi aspektiks oma energiaallikas, kuid sellest räägib magistritöö autor analüüsi peatükis.

### **2.3 Alternatiivsete lahenduste valiku põhjendus**

Alternatiivsete lahenduste valikuna näeb magistritöö autor tuule-, päikese- ja tuumaenergia kasutuselevõttu laevakütustena. Hetkel on eelpool mainitud tehnoloogiad veel arendusjärgus, kuigi mõned pilootprojektid toimivad, ei varusta need laeva 100% roheline energiaga. (Karatuğ & Durmuşoğlu, 2020) Siiski on potentsiaal olemas ning selle kallal töötatakse. Seepärast on autor valinud tuule-, päikese-, ja tuumaenergia kasutuselevõtu kui ühe lahendusena käesolevasse magistritöösse.

Teiseks alternatiivseks lahenduseks on kütused, mis on toodetud keskkonnasäästu silmas pidades. Biokütused ja LNG on valikus olnud aastaid juba, kuid siiski pole muutunud need veel põhivalikuteks, millega laevad sõidavad. Mõlemal kütusel on omad negatiivsed ja positiivsed omadused, kuid vaatamata leviku vähesusele on need aktuaalsed ning perspektiivsed valikud. Autor mainib käesolevas töös vesinikkütuse perspektiivi, kuid töö kirjutamise ajal pole piisavalt uuringuid läbi viidud. Vesinikul põhinev tehnoloogia on veel liialt uus ning pikaajaline praktiline kogemus puudub, et prognoosida selle kasutuselevõtu mõju CO<sub>2</sub> kogusele atmosfääris. Alternatiivsed kütuste kasutuselevõtt toob endaga kaasa rida muudatusi ning seepärast on magistritöö autor need valikusse võtnud kui alternatiivne lahendus pikaajalise strateegia perspektiivist.

### 3 Lühi- ja pikaajaliste strateegiate analüüs

Tehnika areng on võimaldanud merenduses rakendada erinevaid strateegiaid keskkonnasäästu saavutamiseks. MEPC 72 kohtumisel vastuvõetud otsus langetada kasvuhoonegaase aastaks 2050 on andnud toetava põhjuse, miks laevandus peaks oma pilgud pöörama uute tehniliste lahenduste poole. Paremaks ülevaateks MEPC kohtumistel tehtud otsustest, mis puudutavad antud magistritöös käsitletud teemasid, on magistritöö autor koostanud tabeli.

Kohtumine	Tulemus	Jõustub
MEPC 60 märts 2010	Tehti 11 ettepanekut turupõhiste meetmete kohta, kuid ei leidnud rakendust	
MEPC 62 juuli 2011	Tutvustati SEEMP ja EEDI MARPOLi Lisa VI raames	01.01.2013
MEPC 72 aprill 2018	Vähendada kasvuhoonegaase 50% võrreldes aastaga 2008	2050
MEPC 75 november 2020	Tutvustati EEXIt MARPOL Lisa VI raames Toodi EEDI 3-faasilise plaani 3 faasi algus varasemaks, algselt 2025	01.04.2022
MEPC 76 juuni 2021	EEXI ja CII parameetrite määramine	2023
MARPOL 73/78 juuli 2011	Võeti vastu Lisa VI ning 4 peatükk, regulatsioon EEDI	01.01.2013

*Tabel 2 MEPC ja MARPOL kohtumiste ülevaade ja tulemused seotuna magistritöös käsitletud teemadega*

Tehnilised lahendused jagunevad merenduses kaheks- lühi- ja pikaajalised strateegiad. Järgnevalt on välja toodud analüüs tehniliste lahenduste suhtes vastavalt strateegia tüübile ning maailmas olevatele võimalustele.

#### 3.1 Lühiajaliste strateegiate analüüs

Lühiajalised strateegiad saab eraldada kahte tüüpi lahendusteks, on rahvusvaheliste organisatsioonide poolt vastuvõetud lahendused ning tehnilised lahendused. Mõlemal

tüübil on omad positiivsed ja negatiivsed küljed, mis puudutavad jätkusuutlikust ning perspektiivi laiahaardelisemaks rakendamiseks.

EEDI, EVDI, EEXI, CII ja SEEMP on erinevustega kõik ühe eesmärgi saavutamiseks rakendatud või peagi rakendatamas. Need lahendused on laevapõhised lahendused, mis toovad kaasa vajadusel välisettevõtete sekkumisi ning bürokraatiat, mida võib olla tülikas jälgida. Samas, vaatamata tehnilistele muudatustega kaasnenud bürokraatiaga, on eelpool mainitud lahendused toonud tulemusi.

EEDIt hakati rakendama aastal 2013 ning määrati ära astmed palju peab energiatõhusus tõusma faaside järgi. EEDI on laeva jaoks muutuv parameeter olenevalt laeva kütustest, kiirusest ja laevamasinast. Olenevalt eelpool mainitud muutujatest võib olla laev rohkem või vähem energiatõhus. Hetkel asume MEPC 62 poolt rakendatud skeemi järgi 2 faasis (2020-2025) ning võrreldes alguspunktiga on laevade energiatõhusus kasvanud või kasvamas 20%. EEDIt vaadeldakse laevapõhiselt ning vaatamata II faasi ülevaate puudumisel on MEPC 75 kohtumisel otsustatud alustada 3 faasi edasiruttavalt 1 aprill 2022. Algselt plaaniti 3 faasi alguseks aasta 2025.

EVDI ja EEXI on samade põhimõtetega, mis EEDI. Eesmärgiks on tõsta energiatõhusust ja alandada CO<sub>2</sub> kogust laeva heitgaasides koos teiste kasvuhoonegaasidega. Sama eesmärk on ka CII ja SEEMPil ning need samuti toimivad laevapõhiselt. EVDI ja EEXI regulatsioonil koos EEDiga puudub sisuline vahe peale laeva ehitusaasta ning bürokraatiliste toimingute. Kui laev EEDI regulatsiooni alla ei kuulu, siis ta kuulub EVDI või EEXI alla. Tulenevalt EEXI kehtivusest alates 2023 ei saa veel hinnata EEXI positiivseid ega negatiivseid tulemusi või mõju keskkonnale, kuid tõmmates paralleele EEDiga, on prognoos positiivne.

Vanemate laevade probleemiks uuendustega kaasaminemisel võivad olla tehnilised võimalused, mis ei pruugi võimaldada uute tehnoloogiate rakendamist. Kui laeva masinate süsteem ei ole suuteline käitama uut kütust, siis tuleb teha ümberehitused. Laevade ümberehitamisel on oluliseks mõjutajaks töö maht, tagasiteenimise aeg ning potentsiaal. Uute tehnoloogiate ehituslik rakendamine on ajakulukas projekt ning vajab

tõhususpõhist prognoosi- kas enne saab laeva aeg ümber kui tehtud kulutused on tagasi teenitud? Samuti peab jälgima potentsiaalseid tulevase regulatsioone, mis hakkavad kehtima paari aasta pärast ning arvestama ka nendega.

Eelpool mainitud lahendused ja strateegiad on väga head olemasolevatele laevadele, mis on veel merekõlblikud ja suudavad tagasi teenida tehtud kulutusi ümberehitusele. Eelkõige mõjutavad need regulatsioonid rahaliselt kulukamalt laevu, mis on ehitatud enne 2000 ning vananenud tehnoloogiaga. Ühe laeva keskmine eluiga on 28 aastat ning aastaks 2021 on paljude laevade aeg ümber saanud või ümber saamas, mis on ehitatud enne 2000 aastat. Uutel laevadel on rakendatud juba algselt keskkonnasäästlikemaid tehnoloogiaid ning võetud arvesse MEPC 72 kohtumisel kinnitatud eesmärki aastaks 2050. Seda kinnitab uuring “Readily Achievable EEDI Requirements for 2020“, kus on välja toodud, et juba 2015-2020 ehitatud laevad vastavad 2 faasi nõuetele.

CII ehk süsiniku intensiivsuse indikaator mõjutab laevaturgu ning laevad, mis on saanud kategooriaks D või E on sunnitud kasutusele võtma lisameetmeid, et vastata 2030 aasta nõuetele. Hetkel on täpsed nõuded veel arutamisel ning selguvad MEPC 76 kohtumisel 2021 juunis. (*Decarbonization in shipping - DNV GL, 2020*) Taaskord tähendab see laevaomanikele lisaväljaminekuid laeva keskkonnasäästlikumaks muutmisel ja paneb omanikud küsimuse ette, et kas mõistlikum oleks saata laeva lammutamisele ning investeerida uue laeva ehitusse või ei. D ja E hinnang tähendab ka halvemat väljavaadet prahiturul, sest see on otseses seoses laeva kütusekulu ja CO<sub>2</sub> jalajäljega. Näitena võib tuua skandinaavia suurettevõtteid, kellel üheks nõudmiseks transpordi ettevõttele on võimalikult madal CO<sub>2</sub> jalajälg. Antud olukord või tuua kaasa osa merelaevastikust töökõlbmatuks muutumise skandinaavia ettevõtete silmis ning seeläbi laevade tööpõllu vähenemise. Laevaomanikul on võimalus laeva parendamiseks CII perspektiivis või tööturu muutmiseks lõunariikide suunas, kus nõudmised ei ole nii kõrged. See võib kaasa tuua väiksema õhusaaste piirkonnapõhiselt põhjariikides ning suurema õhusaaste lõunariikides, mis kokkuvõtvalt MEPC 72 kohtumisel vastuvõetud otsuse perspektiivist tulemust ei anna.

SEEMPi hakati rakendama koos EEDI jõustumisega ning hõlmab ka EVDI, EEXI, CII meetmeid. Tegemist on energiatõhususe juhtkavaga, mis aitab luua laevapõhiselt parima võimaliku strateegia laeva keskkonnasõbralikumaks muutmisel pidades eelkõige silmas CO<sub>2</sub> koguse hulga laeva heitgaasides. Tulenevalt SEEMP plaanis, saab laev jälgida ka EEOI indikaatorit ning parendada vajadusel ja võimalusel tulemust positiivsemas suunas, seeläbi säästes ka finantsilisi vahendeid. Siin peab laevaomanik arvestama võimalusega laeva tehniliste lahenduste parendamisega laevakere ja sõukruvi efektiivsemaks muutmisega puhastuse läbi. SEEMPi rakendamine on näidanud tulemusi läbi EEDI ja MEPC 75 otsuse tuua EEDI 3 faas kolm aastat algselt planeeritust varasemaks.

Turupõhised meetmed said kõlapinda esmakordselt aastal 2010, kui MEPC 60 kohtumisel esitati 11 erinevat ettepanekut meetmete rakendamiseks. Paraku ei leitud aastaks 2013 ühtegi ühtset strateegiat, mis tooks kõigile kasu. (Lagouvardou et al., 2020) Praegugi, magistritöö kirjutamise ajal märts 2021 pole selge, kas merendussektor hakkab EU ETS süsteemile alluma või ei. (*European Commission sees maritime, aviation sector hardest to decarbonize amid fresh targets* / *S&P Global Platts*, 2020) Magistritöö autor leiab, et vaatamata METS süsteemi rakendamisele ei ole tekkinud turupõhiste meetmetega positiivset efekti keskkonnasäästu perspektiivis tulenevalt kaotatud aja tagasisõitmisest väljaspool METS piirkonda.

Magistritöö autor leiab, et eelpool mainitud METS süsteem töötaks ainult juhul, kui laeval kasutatakse ökonoomset režiimi kombineerituna kombinaator meetodiga. Nii oleks tagatud ökonoomne sõit ja madal CO<sub>2</sub> kogus laevaheitgaasides rahvusvahelistes vetes. Ilma lisameetmete kasutusele võtuga ei too turupõhised meetmed MEPC 72 kohtumisel kokkulepitud tulemust.

Lisaks rahvusvaheliste organisatsioonide poolt kehtestatud määrustele on laeval endal võimalik tööd keskkonnasõbralikumaks muuta võttes kasutusele laevapõhised tehnilised lahendused. Laevapõhiste tehniliste lahenduste hulka kuuluvad ökonoomne režiim, kombinaator meetod ning kaldaelektri kasutamise võimalus.

Ökonoomset režiimi on rakendatud konteinerlaevade seas alates 2007 ning see on toonud tulemuseks 70% kütusekulu kokkuhoiu võrreldes varasemate aastatega. Vedellastilaevade hulgas on olnud kütusekulu kokkuhoid sama ajaga 50%. (Mander, 2017) Antud numbrid räägivad enda eest ning lisaks kütusekokkuhoiule tähendab see ka väiksemat heitgaaside hulka ning ka atmosfääri paiskunud CO<sub>2</sub> mahtu. Antud lõigud mainitud numbrite järgi on ökonoomne režiim kasulik ning toonud faktilisi tulemusi, kuid mitte alati ei ole kliendi seisukohast kõne all olev meetod kasulik.

Aastal 2010 oli 40% merelaevastikust ülebroneeritud ökonoomsel režiimil töötamise tõttu. (Mander, 2017) See tähendas, et kaupa oli rohkem kui laevu ning tarneajad pikenesid ning kliendirahulolu langes. Üheks ohuallikaks laevaomaniku seisukohast on kliendi poolt alternatiivsete viiside kasutamine, et kaup saaks õigeaks ajaks transporditud. Näitena saab magistritöö autor tuua omast kogemusest detsember-jaanuar 2020-2021 perioodi, kus detsembris olnud hind 6000USD ühe 40´ konteineri kohta tõusis 14000USD jaanuaris, sest tegemist oli ülebroneerimisega nii laevade- kui ka konteineripuuduse tõttu, suunaks Shanghai-Tallinn. Alternatiivina sai kasutatud rongi ning kulu jäi 9000USD juurde, mis teeb vaheks 5000USD. Ökonoomne režiim on magistritöö autori seisukohast äärmiselt kasulik vaid siis, kui on elimineeritud ülebroneerimise oht, sest selle tulemuseks võib olla turuosa kaotamine teistele transpordiviisidele teatud kaubaliikide osas.

Keskkonna seisukohast on ökonoomne režiim kasulik, sest see võib langetada kütusekulu 23% ning seeläbi mõjutab otseselt heitgaaside hulka laevaopereerimisel. (Chang & Wang, 2014) Ühe tonni kulutatud kütuse kohta paiskub õhku keskmiselt 3,17kg CO<sub>2</sub>. Vähendades laevakiirust 10% vähendab see CO<sub>2</sub> kogust 10-15%. (Cariou, 2011) Nagu Cariou ning Chan ja Wangi poolt läbiviidud uuringutest selgub on keskkonna seisukohast ökonoomne režiim kasulik, kuid siin tuleb arvestada ohuga kaotada turuosa alternatiivsetele transpordiviisidele ning kliendikaotusega.

Koos ökonoomse režiimiga saab laevapõhiselt kasutusele võtta kombinaator meetodi, mis hoiab abimasinate kütusekulu madalal. Ökonoomne režiim tähendab pikemat reisiaega, mis tähendab pikemat abimasinate tööaega ning see omakorda suuremat kütusekulu. Kombinaator meetod vähendab kütusekulu sellistes olukordades. Kasutades kombinaator

meetodit on tavasõidu ajal 5 sõlme tunnis kütusekulu 30% väiksem, 10 sõlme juures 10% väiksem ning 15 sõlme ajal 2% väiksem võrreldes manööverdamise ajaga. (Geertsma et al., 2017) Geertsma poolt läbiviidud uuring näitab, et kombinaator meetod on tehniliselt põhjendatud ning tulemusitoov lahendus.

Lisaks reisiaegsetele laevapõhiste tehnilistele lahendustele on võimalik osades sadamates kasutada kaldaelektrit, mis võimaldab laeva eneregiavarustatuse olles kai ääres. R. Winkeli poolt tehtud uuring näitas, et kui kõik Euroopa sadamad hakkaksid kasutama kaldaelektrit, väheneks süsinikemissioonid aastas 800 000 tonni. (Winkel et al., 2016) Kaldaelekter on kasulik lokaalselt, sest nii paiskub laeva heitgaasidest õhku vähem peenosakesi olles linna lähedal sadamas. Magistritöö autor leiab, et sadamalähedasi linnu arvestades on see positiivne, kuid peab arvestama, mis viisil on elektrienergia saadud. Juhul, kui elektrienergia on pärit fossiilseid kütuseid kasutavast tootmisjaamast, siis keskkonnasäästu tegur on kaheldava suurusega- puudub saastatus sadamalinnas, kuid tootmisjaama ümbruse õhukvaliteet kannatab endiselt. Suurem elektritarbimine tähendab suuremat koormust tootmisjaamale ning sadama poolt tulenev heitgaaside sääst ei mõjuta globaalset säästu.

Tingituna eelpool mainitud aspektides leiab magistritöö autor, et kaldaelekter täidab oma eesmärgi CO<sub>2</sub> ja teiste kasvuhoonegaaside vähendamise panuses vaid siis, kui kasutatav elektrienergia on toodetud vastutustundlikul viisil taastuvenergia allikatest nagu näiteks päikese-, tuule-, või mööndustega tuumaenergia abil.

### **3.2 Pikaajaliste strateegiate analüüs**

Pikaajaliste strateegiate all on magistritöö autor silmas pidanud päikese-, tuule- tuumaenergiat ning alternatiivseid kütuseid. Hetkel on päikese-, tuule-, ja tuumaenergial põhinev strateegia veel algstaadiumis ning arendamisjärgus. Siiski on välja tulnud erinevate meetoditega, mida on ka pilootprojektidena rakendatud ning analüüsitud.

Tuuleenergiat saab rakendada mitut moodi - flettner tüüpi rootorite, tuulelohede ja purjetega. Kõik kolm liiki aitavad kaasa kütusesäästule ning seeläbi ka



keskkonnasõbralikumale liikumisviisile. Tuuleenergiaal põhinev liikumine põhineb ja saab võimalikuks tuule abil ning ideaalis püsivalt stabiilse tuule abil, et efekt oleks maksimaalne.

Magistritöö autor tõi välja tuuleenergiat puudutavad peatükis tuulte kiiruse joonisel 4 (Rehmatulla et al., 2017) erinevate piirkondade kohta. Seal oli näha, et kõige kõrgemad tuulekiirused on Atlandi ja Vaikse ookeani põhjaosas, Põhjamerel ja Lõuna-Jäämerel. Sellest tulenevalt saab teha järeldused, et neis piirkondades mõjutab tuul laevakiiruseid enim, nagu selgub ka joonisel 5. Kui neis piirkondades on tugevam tuul kui teistes, siis magistritöö autor leiab, et antud piirkonnad soodustavad tuuleenergia positiivset ärakasutamist lohede, purjete ja flettner rootorite abil. Neid piirkondades saaks liikuda vaid tuuleenergia abil ja säästa kütust. Joonise 5 järgi on tuuled mõjutamas kütusekulu enim Vaikse ookeani põhjaosas.

Tuuleenergia ärakasutamine lisaks CO<sub>2</sub> vähendamise perspektiivile on oluline ka lokaalset, sest osoonikihi paksus on Antarktika kohal vähenemas. (*Maximum ozone hole extent over the southern hemisphere, from 1979 to 2019*, 2019) Võttes arvesse joonisel 4 ja 5 välja toodud andmed Lõuna-Jäämere tuulte tugevuse ja tuulekiiruse mõjule kütusekulule oleks tuuleenergia ärakasutamise faktor maksimaalne antud piirkonnas. Paraku võttes arvesse joonist 5, ei ole Lõuna-Jäämerel suuremat laevaliiklust.

Tuuleenergia miinuspooleks on magistritöö autori seisukohast tuule ebastabiilne tugevus vajaliku ajaperioodi ajal ning seeläbi kasuteguri kaotamine laevareisil. Lisaks kasuteguri kaotamisele tuule puudumise tõttu väheneb ja pikeneb ka investeeringu tagasiteenimise moment. Arvestama peab tuuleenergia kasutuselevõtu puhul investeeringutega uude laeva või vana laeva ümberehitusse. Samuti suudavad puri, tuulelohe või flettner rootorid püüda tuult vaid siis, kui see puhub seadmetele sobivas suunas. Valesuunalise tuule puhul sõidab laev kütuse baasil ning olenevalt tuule suunast kasutab isegi rohkem kütust, kui sõites ilma tuuletakistuseta.

Lisaks tuuleenergiale on laevadel võimalik kasutada ära õige tehnoloogia abil päikeseenergiat. Magistritöö kirjutamise ajal ei ole päikesepaneelide kasutamine laevadel levinud, kuid siiski mõned laevad panustavad tehnika arengusse olles teadlastele abiks.

Päikeseenergiat saab ära kasutada piirkondades, kus päikest on looduslikult rohkem, näiteks peamiselt lõunapiirkonnad. Paraku vaatamata pidevale päikesele pole veel loodud laevadele päikesepaneelide, mille kasutegur oleks suurem kui 22%. Çağlar Karatuğ ja Yalçın Durmuşoğlu poolt läbiviidud uuringus, kus paigaldati Vahemeres sõitvale laevale päikesepaneelid, selgus, et paneelid varustasid 52 reisi jooksul laeva vaid 7,76% kogu laeva kasutatud energiast. Kütusesääst oli 7,38%. (Karatuğ & Durmuşoğlu, 2020)

Magistritöö autori silmis ei ole päikesepaneelid kõige kasumlikum viis finantsiliste kulutuste perspektiivist. Investeeringutele kulutatud raha teenib laev tagasi keskmiselt 16-27 aastat. (Ghenai et al., 2019) Laeva keskmine eluiga on 28 aastat. Antud numbritest tulenevalt ja olemasolevate päikesepaneelide tehnoloogiat silmas pidades ei ole magistritöö autori sõnul tegemist perspektiivika investeeringuga.

Vastastike tundeid tekitav viis varustada laeva energiaga, on kasutada selleks tuumaenergiat. Pärast maailma raputanud tuumakatastroofe on tuumaenergia tekitanud inimestes skepsist ning seega on aeglustunud ka tuumatehnoloogia areng laevadele. Tuumaenergial sõitvatel laevadel oleksid positiivses küljeks väiksem punkerdamise vajadus ning kiiremad kiirused ilma CO<sub>2</sub> emissioonide suurenemiseta, mis tooksid kaasa tarneaegade lühenemise ja suurema kasumi laevaomanikele.

Miinuspooleks on antud energialiigi kasutamise juures inimlik hirm ja sadamate vastumeelsus laskmaks tuumalaevu oma territooriumile. Samuti vajab tuumaenergia investeeringuid, mille tasuvusaeg on prognoosimatu ning jooksvad kulud võivad olla suured. Magistritöö kirjutamise ajal on vähe avalikke uuringutulemusi saadaval, sest enamuse tuumaenergial sõitvaid laevu kuuluvad erinevate riikide sõjaliste jõudude hulka, näiteks Ameerika Ühendriigid ja Venemaa.

Pikaajaliste strateegiate hulka lisaks päikese-, tuule- ja tuumaenergiale kuuluvad ka alternatiivsed kütused. Magistritöö kirjutamise ajal on turul saadaval mitmeid erinevaid alternatiivseid kütuseid, kuid tulenevalt nende ühtlase taristu puudumisest on üle maailma levinud vaid vähesed. Käesoleva töö autor leiab, et korraliku leviku ja taristu puudumisel on alternatiivse kütuse olemasolu iseeneses tühine, sest punkerdamise võimalus on laeva jaoks üks põhivajadustest.

Töös käsitletud alternatiivsed kütused on jaotatud kolme liiki- biokütused, vesinikütus ja LNG. Eelpool mainitud biokütuse puudustest tingituna kasutab seda vähem kui 1% merelaevastikust. (Panoutsou et al., 2021) Lisaks tarneprobleemidele ja varustatusele teeb biokütuse ebaatraktiivseks valikuks selle keeruline kasvatamise protsess ning sellele kuluv energia ning maaala. Väga lihtne on maapinda ülekoormata, seega peab olema biokütuse toorainele mõeldud maaala suur ja lai. See toob kaasa pikas perspektiivis kõrbestumise probleemi, juhul kui toimub üleharimine ja põld jäetakse maha. Kõrbestumine omakorda toob kaasa CO<sub>2</sub> suurenemise lokaalselt ning see muudab algse eesmärgi tühiseks. Tulenevalt kõrge energiakulust ja ajast biokütuse tootmisele ei näe magistritöö autor antud lahendusel perspektiivi.

Aktuaalne ning uudsete lahendustega vesinikkütus peidab endas suurt potentsiaali tuleviku perspektiivis kui peamine laevakütus. Vesinikkütusel sõitvad laevad ei paiska atmosfääri CO<sub>2</sub> ning seeläbi on tegemist jätkusuutliku ja MEPC 72 kohtumisel seatud eesmärgipärase strateegiaga. Paraku käesoleva töö kirjutamise ajal puuduvad põhjalikud teadusuuringud, mille põhjal saaks kinnitada vesinikkütuse protsentuaalset kasu keskkonnaparendamise perspektiivis.

LNG on maailmas levinud ning on loodud taristu ja vähendatud tarneprobleemide võimalust. Aastaks 2021 on ehitatud laevu, mis sõidavad vaid LNG kütusel ning seeläbi on tõendatud LNG perspektiivi järgnevateks aastateks. LNG kasutamisel on CO<sub>2</sub> hulk 20-30% madalam ning puudusena väljatoodud metaani teke on vaid 2-5% kasutatud LNG kogusest. (Balcombe et al., 2019) Magistritöö autor leiab, et vaatamata metaani tekkele on LNG oma positiivse CO<sub>2</sub> säästu juures perspektiivikas lähenemine MEPC 72 vastuvõetud otsuse raames.

LNG laeva ehitamine on investeering (1500-2200USD/kW uue laeva puhul), kuid võttes arvesse järjest paranevat LNG punkerdamise taristut ning keskkonnavalaseid aastate jooksul täiendavaid nõudeid, on laevaomanikul teenitava kasumi perspektiiv positiivne. LNG-le konkurentsi pakkuvad biokütused ei ole magistritöö autori seisukohast keskkonnavalaselt jätkusuutlikud. Harimatu biokütusetootja võib maa ülekoormamisega teha CO<sub>2</sub> suurendamise suhtes teha rohkem kahju kui LNG täieliku mitte-põlemise teel tekkinud metaan.

## 4 Järeldused

Käesolev magistritöö käsitleb CO<sub>2</sub> vähendamise strateegiaid laeva heitgaasides. Eelmises peatükis analüüsis magistritöö autor strateegiaid kahes osas ning järgnevalt on lahti kirjutatud analüüsist tulenevad järeldused.

### 4.1 Parim lühiajaline strateegia

Vaadates tulemusi, mida on toonud EEDI rakendamine laevapõhiselt koos kombineerituna EEXI, EVDI ja CIIga leiab magistritöö autor analüüsi tulemusena, et kokkuvõtvalt on parim lühiajaline strateegia SEEMP.

SEEMP ühendab kõik eelpool mainitud strateegiad üheks laevapõhiseks plaaniks ja tagab, et laevakäitlemine oleks võimalikult energiatõhus, kütusesäästlik ning selle tulemuseks oleks võimalikult väike atmosfääri paisatud CO<sub>2</sub> hulk. Pärast EEDI ja SEEMP rakendamist 2013 on laevade energiatõhusus kasvanud 20%. See tähendab, et vähenenud on CO<sub>2</sub> hulk laeva heitgaasides ning vähenenud on ka kütusekulu. IMO poolt läbi viidud 2011 aasta uuring näitas, et EEDI ja SEEMPi kasutuselevõtmine vähendab CO<sub>2</sub> emissioone aastaks 2030 keskmiselt 14%. Keskmiselt väheneb CO<sub>2</sub> maht aastas 330 miljonit tonni ning alates 2013 aastast 23%. (Salim et al., 2019)

EEXI ja CII nõuded ja regulatsioonid on veel avalikustamata, kuid on teada, et need tulevad ja laevaomanikud peavad olema valmis rakendama muudatusi oma laeva opereerimisel. EEXI ja CII parameetrid määratakse MEPC 76 kohtumisel juunis 2021 ja antud nõuded rakenduvad aastal 2023.

SEEMP ja EEDI efektiivsete tulemuste saavutamist kinnitab MEPC 75 kohtumisel tehtud otsus hakata rakendama EEDI 3 faasi plaani etteruttavalt juba 2022, sest laevad on juba praegu piisavalt energiatõhusad, et antud regulatsioone täita. Laevad, mis veel ei kvalifitseeru saavad üle vaadata oma SEEMP plaani aastaks 2022 ning teha vastavad parendused juba praegu.

SEEMPi alla kuuluvad ka ökonoomsel režiimil sõit ja kombinaator meetod. Magistritöö autor leiab tulenevalt analüüsist, et ökonoomne režiim on rakendatav ja kasulik juhul, kui puudub risk turuosa kaotamiseks alternatiivsele transpordiliigile.

## **4.2 Parim pikaajaline strateegia**

Tulenevalt analüüsist leiab magistritöö autor, et parim pikaajaline strateegia aastal 2021 on LNG kasutamine, seda seni kuni leitakse parem viis hoida CO<sub>2</sub> tase laeva heitgaasides madalal.

LNG kasuks räägib selle madalam CO<sub>2</sub> hulk heitgaasides. Nimelt LNG kasutamisel tekib CO<sub>2</sub> 20-30% vähem kui fossiilsete kütuste puhul. Lisaks madalale CO<sub>2</sub> hulgale on LNG positiivseks küljeks selle potentsiaali märkamise ettevõtete poolt ning selle taristu loomine. Läbimõeldud taristu olemasolu soodustab LNG kasutuselevõttu järjest enam ning see toob kaasa endaga madalama keskkonnasaaste CO<sub>2</sub> näol pikemas perspektiivis. Läbimõeldud taristu ja võrgustiku väljaarendamine LNG-l sõitvate laevade jaoks vähendab laevaomaniku muresid logistilise plaani paika panemisel reisi jaoks.

LNG negatiivne külg on metaani teke, kuid see on vaid 2-5% kogu LNG kogusest. Lisaks metaani tekkele on ka ehituslikud väljakutsed. Laeva ümberehitamine LNG-l töötavale peamasinale on 600-800USD kW kohta, mis teeb sellest korraliku investeeringu. Vaatamata finantsilistele numbritele on LNG laevad aastal 2021 kõige jätkusuutlikumad ning vähem keskkonda saastavamad kui olemasolevad alternatiivid.

Töö autor näeb vesinikkütust kui head ja aktuaalset alternatiivi LNG kütusele, kuid paraku töö kirjutamise ajal ei saa faktuaalselt antud väidet kinnitada tingituna praktilisel põhinevate teadusuuringute puudumise tõttu.

Alternatiivsed valikud pikaajalise strateegia suhtes on tuule-, päikese- ja tuumaenergial põhinevad kütused ning biomassist toodetud kütused. Mõlemad variandid on probleemsed ning ebastabiilse varustatuse astme- ja kasuteguriga.

Tuule-, päikese-, ja tuumaenergia nõuavad suuri investeeringuid laeva (ümber)ehitamisel ning tulenevalt piirkonnast on energiatootmine ja -kasutegur madal. Tuumaenergial oleks potentsiaali, kui suudetaks leida investeeringuid ja vajadus laevatamiseks on vaid piirkonnas, kus teatakse sadamate valmidusest laeva vastu võtma. Tuuleenergiat saab koguda ja kasutada vaid siis, kui tuul puhub vastavalt mehhanismile (flettner rootor, puri, tuulelohe) õiges suunas. Muul ajal on seadme kasutegur null. Sarnane analoogia on päikeseenergia kogumisega- paneelide kasutegur päikesepaistelise päevaga on madal ning pilvise ilmaga olematu. Magistritöö autor leiab, et kütusesääst 7,38% päikesepaneelide kasutades on aastal 2021 ebapiisav.

Alternatiivse kütusena kasutatud biomassist toodetud biokütus toob enesega kaasa maapinna ja põldude üleharimise, mis tingib toitainetevaese surnud mullastiku ja soodustab pikas perspektiivis kõrbestumist. Lisaks eelpool mainitule puudub biokütustel väljaarendatud võrgustik, mis põhjustab pikemate reiside ajal probleeme. Kui laev ei suuda punkerdada endale vajalikku kütust uues sadamas, põhjustab see lisakulusid ning probleeme.

Kõik eelnevalt mainitud tuule-, päikese-, tuumaenergia ja biokütuste puudused on põhjuseks, miks magistritöö autor leiab analüüsi tulemusena, et parim pikaajaline strateegia aastal 2021 on LNG kasutamine laevakütusena, et saavutada MEPC 72 kohtumisel määratud eesmärki.

## Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli välja selgitada tõhusaim viis vähendada CO<sub>2</sub> kogust laeva heitgaasides ning leida parim lühi- ja pikaajaline strateegia saavutamaks MEPC 72 kohtumisel seatud eesmärki aastaks 2050.

Antud töös uuriti lühi- ja pikaajalisi strateegiaid, mis jagati omakorda rahvusvaheliste organisatsioonide poolt loodud määrusteks ja regulatsioonideks, tehnilisteks ning alternatiivseteks lahendusteks. Muuhulgas käsitleti sissejuhatuses väljatoodud uuritavaid strateegiaid: EEDI ja SEEMP kasutuselevõtu mõju laevale ja CO<sub>2</sub> kogusele laeva heitgaasides, turupõhiste meetmete rakendamist, tehniliste meetodite rakendamise kasutegurit, alternatiivsete kütuste kasutuselevõtu võimalusi ja lokaalseid viise sadamas kaldaelektri näol.

Töö on jaotatud neljaks osaks, kus esimeses osas on uuritud lühi- ja pikaajalisi strateegiaid, teises räägitud meetodikast ning kolmas ja neljas osa on pühendatud analüüsile ja järeldustele. Analüüsi tulemusena selgus nii parim lühi- kui ka parim pikaajaline strateegia, mida saab rakendada aastal 2021. Sellega kinnitas magistritöö autor püstitatud hüpoteesi – aastal 2021 on olemas tõhusaim lühi- ja pikaajaline strateegia, kuidas saavutada MEPC 72. kohtumisel kinnitatud eesmärk aastaks 2050.

Parimaks lühiajaliseks strateegiaks on analüüsi tulemusena selgunud EEDI ja SEEMP, mis hõlmavad kogu laeva energiatõhususe juhtimist ning on näidanud juba ka tulemusi. Pärast EEDI ja SEEMP rakendamist alates aastast 2013 on laevade energiatõhusus kasvanud 20% ning seeläbi vähenenud laevade kütusekulu ja CO<sub>2</sub> hulk laeva heitgaasides. Analüüsi tulemust kinnitab ka MEPC 75 kohtumisel tehtud otsus tuua EEDI 3 faas ettepoole ning alustada sellega 2022. Põhjuseks asjaolu, et juba praegu sõitvad ja ehitatavad laevad vastavad EEDI 3 faasi nõuetele.

Lühiajaliste strateegiatena uuris magistritöö autor ka turupõhiseid meetodeid, kuid analüüs näitas, et nende rakendamine ei ole tasuv. Turupõhised meetodid tekitavad ebavõrdse olukorra, kus finantsiliselt paremas olukorras olevad laevaettevõtted saavad



endale rohkem lubada ning võit CO<sub>2</sub> vähendamise suhtes on olematu. Samuti ei toimiks ka piirkonnapõhised kiiruse piirangud, sest piirangutevabal alal tehakse kaotatud aega tagasi ning seeläbi suurendatakse CO<sub>2</sub> paiskumist atmosfääri.

Parimaks pikaajaliseks strateegiaks on analüüsi tulemusena selgunud LNG kasutamine aastal 2021. LNG kasutamisel tekib 20-30% vähem CO<sub>2</sub> kui teiste kütuste puhul. LNG kasutamisel tekib ka metaan, kuid see on vaid 2-5% kogu LNG kogusest. LNG puhul on märgatud selle potentsiaali kui pikaajalise perspektiiviga kütus ning on hakatud välja arendama võrgustikku, tagamaks laevadele mugavat punkerdamist ja seeläbi logistiliste väljakutsete vähendamist reisiplaneerimisel.

Pikaajaliste strateegiate raames uuris magistritöö autor ka alternatiivsete energiaallikate kasutamise võimalust päikese-, tuule-, ja tuumaenergia näol. Uuringute ja analüüsi tulemusena selgus, et aastal 2021 pole veel eelpool mainitud tehnoloogiad piisavalt väljaarendatud, et saaks täies ulatuses kasutada neid merelaevastikus.

Tuuleenergia puhul on valikuteks flettner tüüpi rootorid, tuulelohe ja purjed. Kõiki mainitud tehnoloogiaid on kasutatud, kuid vaid abivahendina kütusesäästul. Seni pole võimalik olnud neid rakendada 100% ajast, sest nende puhul on oluline tuulesuund kuna muidu tehnoloogiad ei toimi.

Päikeseenergia puhul on paneelid võimelised töötama vaid 22% kasuteguriga ning see annab 7,38% kütusesäästu. Lisaks mõjutavad päikesepaneelide kasutegurit paneeli puhtus ja ilm. Päikesepaneelid toimivad ka pilvise ilmaga, kuid kasutegur on väiksem kui päikesepaisteisel päeval.

Tuumaaenergia kahjuks räägivad prognoosimatud kulud ja tagasiteenimise aeg, lisaks tekivad probleemid laeva oma territooriumile lubavate sadamatega. Tihti võib see olla põhjendatud või põhjendamatu ajaloolise hirmuga, mis on tekkinud pärast maailmaraputanud tuumakatastroofidest.

Olenemata hetkel viletsaid tulemusi toovatest alternatiivse energia lahendustest on neil potentsiaal tulevikuperspektiivis olemas.

Kokkuvõtvalt saab öelda, et käesoleva magistritöös käsitletud strateegiate analüüsi tulemusena on töö autor, tuginedes faktilistele põhjendustele, leidnud oma hüpoteesile kinnitust, et aastal 2021 on olemas parimad lühi- ja pikaajalised strateegiad.

## Summary

The aim of this Master's thesis „Short-term and long-term strategies for reducing CO<sub>2</sub> in ship's emissions 2021-2050“ was to identify the most effective way to reduce CO<sub>2</sub> emissions from a ship's emissions and to find the best short- and long-term strategy to achieve the MEPC 72 target for the year 2050.

This work examined short- and long-term strategies, which in turn were divided into regulations created by international organizations, technical and alternative solutions. Among other things, the thesis includes strategies outlined in the introduction: the impact of the EEDI and SEEMP, on the ship their impact to CO<sub>2</sub> emissions, the implementation of market-based measures, the efficiency of technical methods, alternative fuels and cold ironing in the port.

The work is divided into four parts. The first part examines short- and long-term strategies, the second part discusses the methodology, and the third and fourth parts are devoted to analysis and conclusions. The analysis revealed both the short-term and the best long-term strategy that can be implemented in 2021. With this, the author of the Master's thesis confirmed the hypothesis that in 2021 there is the most effective short-term and long-term strategy to achieve the MEPC 72 target for the year 2050.

The best short-term strategy is EEDI and SEEMP, which covers the whole ship's energy efficiency management and have already shown results. Since the implementation of EEDI and SEEMP in 2013, the energy efficiency of ships has increased by 20% and thus the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of ships have decreased. The result of the analysis is also supported by the decision made at the MEPC 75 meeting to bring EEDI Phase 3 forward and start with it in 2022. This is due to the fact that ships already sailing and under construction already meet the requirements of EEDI Phase 3.

As short-term strategies, the author of the Master's thesis also investigated market-based methods, but the analysis showed that their implementation is not cost-effective. Market-based methods create an unequal situation where financially better off shipping

companies can afford more and there is no win in terms of CO<sub>2</sub> reduction. Also, area-based speed limits would not work, as the time lost in the unrestricted area will be reversed, thereby increasing CO<sub>2</sub> emissions.

The best long-term strategy is the use of LNG in 2021. The use of LNG produces 20-30% less CO<sub>2</sub> than other fuels. The use of LNG also produces methane, but this is only 2-5% of the total amount of LNG. LNG has also been identified as a long-term fuel and a LNG network is being developed to ensure convenient bunkering for ships and thus reduce logistical challenges in voyage planning.

Within the framework of long-term strategies, the author of the Master's thesis also investigated the possibility of using alternative energy sources in the form of solar, wind and nuclear energy. Research and analysis have shown that in 2021 the above technologies have not yet been sufficiently developed to be fully exploited by maritime shipping.

For wind power, the options are flettner type rotors, kites and sails. All these technologies have been used, but only as an aid to fuel economy. So far, it has not been possible to implement them 100% of the time, because the wind direction is crucial in means of the technologies to work.

In the case of solar energy, the panels are only able to operate with 22% efficiency, which gives 7.38% fuel savings. In addition, the efficiency of solar panels is affected by the weather and cleanliness of the panel. Solar panels also work in cloudy weather, but the efficiency is lower than on a sunny day.

Unfortunately for nuclear energy, there are unpredictable costs and payback times. Another problematic issue is with the ports which don't allow the ship to enter its territory. This can often stem from unreasonable by historical fears that have arisen since the global nuclear disasters.

Despite alternative energy solutions that are currently performing poorly, they have the potential for the future.

In summary, it can be said that as a result of this analysis of the strategies discussed in the Master's thesis, the author of the work, based on factual justifications, has confirmed their hypothesis that in 2021 the best short- and long-term strategies exist.

## Viidatud allikad

- Al Baroudi, H., Awoyomi, A., Patchigolla, K., Jonnalagadda, K., & Anthony, E. J. (2021). A review of large-scale CO<sub>2</sub> shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation and storage. *Applied Energy*, 287, 116510. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116510> (26.02.2021)
- Anh Tran, T. (2016). Calculation and Assessing the EEDI Index in the Field of Ship Energy Efficiency for M/V Jules Garnier. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 06(06). <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000212> (15.03.2021)
- Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, 182, 72–88. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080> (1.03.2021)
- Buis NASA's, A. (2019, June 25). *A Degree of Concern: Why Global Temperatures Matter – Climate Change: Vital Signs of the Planet*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/news/2865/a-degree-of-concern-why-global-temperatures-matter/> (15.03.2021)
- Cariou, P. (2011). Is slow steaming a sustainable means of reducing CO<sub>2</sub> emissions from container shipping? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(3), 260–264. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.12.005> (12.03.2021)
- Chang, C.-C., & Wang, C.-M. (2014). Evaluating the effects of speed reduce for shipping costs and CO<sub>2</sub> emission. *Transportation Research Part D: Transport*

*and Environment*, 31, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.020>

(07.03.2021)

Colarossi, D., & Principi, P. (2020). Technical analysis and economic evaluation of a complex shore-to-ship power supply system. *Applied Thermal Engineering*, 181, 115988. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115988> (03.03.2021)

*Com 2013 479 en.* (2013).

[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/shipping/docs/com\\_2013\\_479\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/shipping/docs/com_2013_479_en.pdf) (10.03.2021)

*Decarbonization in shipping - DNV GL.* (2020). DNV GL.

<https://www.dnvgl.com/maritime/insights/topics/decarbonization-in-shipping/regulatory-overview.html> (15.03.2021)

*E U R O P E 2 0 2 0.* (n.d.).

<https://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20EN%20BARROSO%20%20%20007%20-%20Europe%202020%20-%20EN%20version.pdf> (16.03.2021)

*EEDI & SEEMP explained.* (2014). Website of Marpol-Annex-Vi! <https://www.marpol-annex-vi.com/eedi-seemp/> (26.02.2021)

*EEDI Energy Efficiency Design Index.* (n.d.).

<https://marine.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocumentsarchive/eedi.pdf?sfvrsn=4> (26.02.2021)

*EEXI | Energy Efficiency Existing Ship Index - DNV GL.* (2020). DNV GL.

<https://www.dnvgl.com/maritime/insights/topics/eexi/index.html> (26.02.2021)

EUR-Lex - 52012DC0046 - ET. (2012). *Europa.eu.*

<https://doi.org/http://europa.eu.int/eur->

lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52012DC0046:ET:HTML

(26.02.2021)

*European Commission sees maritime, aviation sector hardest to decarbonize amid fresh targets* / *S&P Global Platts*. (2020, December 10). Spglobal.com.

<https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/121020-european-commission-sees-maritime-aviation-sector-hardest-to-decarbonize-amid-fresh-targets> (26.02.2021)

Finnsgård, C., Kalantari, J., Roso, V., & Woxenius, J. (2020). The Shipper's perspective on slow steaming - Study of Six Swedish companies. *Transport Policy*, 86, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.10.005> (12.03.2021)

Freire, L. O., & Andrade, D. A. de. (2015). Historic survey on nuclear merchant ships. *Nuclear Engineering and Design*, 293, 176–186.

<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2015.07.031> (18.03.2021)

*Full-length report Accompanying the document Report from the Commission 2019 Annual Report on CO2 Emissions from Maritime Transport {C(2020) 3184 final}*. (n.d.).

[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/shipping/docs/swd\\_2020\\_8\\_2\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/shipping/docs/swd_2020_8_2_en.pdf) (18.03.2021)

Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., & Hopman, J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Applied Energy*, 194, 30–54.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.060> (15.03.2021)

Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., Loonstijn, M. A., & Hopman, J. J.

(2017). Pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion:



- Modelling, validation and performance quantification. *Applied Energy*, 206, 1609–1631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.103> (15.03.2021)
- Georgeff, E., Mao, X., Rutherford, D., & Osipova, L. (2020). *Liquid hydrogen refueling infrastructure to support a zero-emission U.S.-China container shipping corridor*. <https://theicct.org/sites/default/files/publications/ZEV-port-infrastructure-hydrogen-oct2020-v2.pdf> (15.03.2021)
- Ghenai, C., Bettayeb, M., Brdjanin, B., & Hamid, A. K. (2019). Hybrid solar PV/PEM fuel Cell/Diesel Generator power system for cruise ship: A case study in Stockholm, Sweden. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100497. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100497> (18.03.2021)
- Glykas, A., Papaioannou, G., & Perissakis, S. (2010). Application and cost–benefit analysis of solar hybrid power installation on merchant marine vessels. *Ocean Engineering*, 37(7), 592–602. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.01.019> (18.03.2021)
- Gu, Y., Wallace, S. W., & Wang, X. (2019). Can an Emission Trading Scheme really reduce CO2 emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 74, 318–338. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.009> (18.03.2021)
- Hall, W. J. (2010). Assessment of CO2 and priority pollutant reduction by installation of shoreside power. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(7), 462–467. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.002> (18.03.2021)

hellenicshippingnews. (2020). *MEPC 75 BRIEF | Hellenic Shipping News Worldwide*.  
Hellenicshippingnews.com. <https://www.hellenicshippingnews.com/mepc-75-brief/> (18.03.2021)

*Implementation of EEXI in shipping - DNV GL*. (2020). DNV GL.  
<https://www.dnvgl.com/maritime/insights/topics/eexi/implementation.html>  
(18.03.2021)

Kamiya, S., Nishimura, M., & Harada, E. (2015). Study on Introduction of CO2 Free Energy to Japan with Liquid Hydrogen. *Physics Procedia*, 67, 11–19.  
<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.06.004> (18.03.2021)

Karatuğ, Ç., & Durmuşoğlu, Y. (2020). Design of a solar photovoltaic system for a Ro-Ro ship and estimation of performance analysis: A case study. *Solar Energy*, 207, 1259–1268. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.037> (18.03.2021)

Kiviro, G. (2021). Kuku raadio Meretund 2021-03-20  
<https://router.euddn.net/media.kuku.ee/meretund/meretund20210320.mp3>  
(22.03.2021)

*Kliimamuutused*. (2020). Kliimamuutused. <https://www.kliimamuutused.ee/>  
(18.03.2021)

Lagouvardou, S., Psaraftis, H., & Zis, T. (2020). A Literature Survey on Market-Based Measures for the Decarbonization of Shipping. *ResearchGate*.  
<https://doi.org/10.3390/su12103953> (18.03.2021)

Mander, S. (2017). Slow steaming and a new dawn for wind propulsion: A multi-level analysis of two low carbon shipping transitions. *Marine Policy*, 75, 210–216.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.018> (18.03.2021)

- Marine Environment Protection Committee (MEPC) 75, 16-20 November (virtual session).* (2020). Imo.org;  
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-75th-session.aspx> (18.03.2021)
- Maximum ozone hole extent over the southern hemisphere, from 1979 to 2019.* (2019). European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/maximum-ozone-hole-area-in-7> (18.03.2021)
- Miola, A., Marra, M., & Ciuffo, B. (2011). Designing a climate change policy for the international maritime transport sector: Market-based measures and technological options for global and regional policy actions. *Energy Policy*, 39(9), 5490–5498. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.013> (18.03.2021)
- Monitoring ship and fleet efficiency performance with an SEEMP - DNV GL.* (2020). Dnvgl.com. <https://www.dnvgl.com/maritime/energy-efficiency/monitoring-ship-and-fleet-efficiency-performance-with-an-SEEMP.html> (18.03.2021)
- NASA Global Climate Change. (2020, July 16). *Global Surface Temperature | NASA Global Climate Change*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> (18.03.2021)
- Nguyen, S. (2018). Development of an MCDM framework to facilitate low carbon shipping technology application. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(4), 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.12.005> (18.03.2021)
- Panoutsou, C., Germer, S., Karka, P., Papadokostantakis, S., Kroyan, Y., Wojcieszek, M., Maniatis, K., Marchand, P., & Landalv, I. (2021). Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that

- impact their successful market uptake. *Energy Strategy Reviews*, 34, 100633.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100633> (18.03.2021)
- Psaraftis, H. N. (2018). Decarbonization of maritime transport: to be or not to be?  
*Maritime Economics & Logistics*, 21(3), 353–371.  
<https://doi.org/10.1057/s41278-018-0098-8> (18.03.2021)
- Readily Achievable EEDI Requirements for 2020*. (2020). CE Delft.  
<https://www.cedelft.eu/en/publications/1917/readily-achievable-eedi-requirements-for-2020> (18.03.2021)
- Rehmatulla, N., Parker, S., Smith, T., & Stulgis, V. (2017). Wind technologies: Opportunities and barriers to a low carbon shipping industry. *Marine Policy*, 75, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.021> (18.03.2021)
- Revision for phase 4 (2021-2030)*. (2016, November 23). European Commission.  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en) (18.03.2021)
- Salim, O., Alshawi, M., & Avtandil, T. (2019). *Ship energy efficiency management plan: analysis of biofouling Ship energy efficiency management plan: analysis of biofouling effect on CO2 emission performance of Iraq non-trading fleet effect on CO2 emission performance of Iraq non-trading fleet*.  
[https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=2185&context=all\\_dissertations](https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=2185&context=all_dissertations) (18.03.2021)
- Schøyen, H., & Steger-Jensen, K. (2017). Nuclear propulsion in ocean merchant shipping: The role of historical experiments to gain insight into possible future applications. *Journal of Cleaner Production*, 169, 152–160.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.163> (18.03.2021)

Scott Michael Rank. (2014, December 8). *Industrial Revolution Working Conditions*.

History; History. <https://www.historyonthenet.com/industrial-revolution-working-conditions> (18.03.2021)

Tokuslu, A. (2020). Analyzing the Energy Efficiency Design Index (EEDI)

Performance of a Container Ship. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. <https://doi.org/10.30897/ijgeo.703255> (18.03.2021)

Traut, M., Gilbert, P., Walsh, C., Bows, A., Filippone, A., Stansby, P., & Wood, R.

(2014). Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes. *Applied Energy*, *113*, 362–372.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.026> (18.03.2021)

*UN body adopts climate change strategy for shipping*. (2020). Imo.org.

<http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx> (18.03.2021)

*Wärtsilä achieves new marine benchmark with hybrid solution for bulk carriers*. (2019).

Wartsila.com. <https://www.wartsila.com/media/news/09-07-2019-wartsila-achieves-new-marine-benchmark-with-hybrid-solution-for-bulk-carriers-2486688> (18.03.2021)

White Paper on transport Roadmap to a single euRopean tRanspoRt aRea - towaRds a

competitive and ResouRce-eFFicient tRanspoRt system. (2011). *White Paper on*

*Transport Roadmap to a Single EuRopean TRanspoRt ARea - towards a*

*Competitive and ResouRce-EFFicient TRanspoRt System*.

<https://doi.org/10.2832/30955> (18.03.2021)

- Winkel, R., Weddige, U., Johnsen, D., Hoen, V., & Papaefthimiou, S. (2016). Shore Side Electricity in Europe: Potential and environmental benefits. *Energy Policy*, 88, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.013> (18.03.2021)
- Zis, T. P. V. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.003> (18.03.2021)

## 5 Lisa 1 Lihtlitsents

### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Evelin Harik

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Laeva heitgaasides CO<sub>2</sub> vähendamise lühi- ja pikaajalised strateegiad 2021-2050“ mille juhendaja on Tarmo Post

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.