

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EESTI MEREAKADEEMIA
Merenduskeskus

Andreas Vaab

**Laeva kütuse- ja energiakulu vähendamise võimalused Silja
Europa näitel**

Magistritöö

Juhendaja: lektor Tarmo Post

Kaasjuhendaja: Silja Europa 2. mehaanik Kristo Pulk

Tallinn 2020

Olen koostanud töö iseseisvalt.

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

Andreas Vaab

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 182983VAAM

Üliõpilase e-posti aadress: andi.vaab47@gmail.com

Juhendaja lektor Tarmo Post :

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Meelike Paalberg

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

Sisukord

Lühendid.....	4
Jooniste loetelu	5
Tabelite loetelu.....	6
Annotatsioon.....	7
Sissejuhatus	8
1 Laeva energiatõhususe suurendamine	10
1.1 Operatiivsed laeva energiatõhususe suurendamise meetmed	14
1.2 Laevaehituse ning seadmete rekonstrueerimine.....	18
2 Silja Europa energiasäästuprojekt.....	22
2.1 Uurimisülesannete lahendamine	27
2.1.1 Abimasinate töötundide muutus 2017–2019.....	28
2.1.2 Kütusekulu ja energiakulu arvutamine	31
2.1.3 Kasvuhoonegaaside arvutamine	34
2.1.4 Projekti prognoosi võrdlus tegelike tulemustega	36
3 Tulemuste analüüs.....	39
3.1 Märkused projekti kohta	42
3.2 Teised lahendused	44
Kokkuvõte	47
Summary.....	49
Kasutatud kirjandus.....	50

Lühendid

IMO Rahvusvaheline Mereorganisatsioon (International Maritime Organization)

SEEMP Laevade energiatõhususe juhtimiskava (Ship Energy Efficiency Management Plan)

EEDI Uute laevade energiatõhususe indeks (Energy Efficiency Design Index)

EEOI Operatiivse energiatõhususe näitaja (Energy Efficiency Operational Indicator)

MARPOL Rahvusvaheline laevade põhjustatava merereostuse vältimise konventsioon (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)

IAS Integreeritud alarmisüsteem (Integrated Alarm System)

KHG Kasvuhooonegaasid

HVAC Soojendus, ventilatsioon ja kliimaseade (Heating, Ventilation and Air Conditioning)

AM Abimasin

PM Peamasin

MEPC Merekeskkonnakaitse komitee (Marine Environment Protection Committee)

ROI Investeeringute tootlus (Return on investment)

VSD Muutuva kiirusega ajam (Variable speed drive)

AC Kliimaseade (Air Climate)

VAV Reguleeritav õhukogus (Variable Air Volume)

SCADA Arvutisüsteemide ja sidevõrkude abil toimuv tehniliste protsesside jälgimine ja juhtimine (Supervisory control and data acquisition)

AMS Automaatne sildumisseade (Automatic Mooring System)

ÜRO Ühendatud Rahvaste Organisatsioon

EL Euroopa Liit

SEM Süsteemide energiahaldus (System energy management)

HPCM Laevakere ja sõukruvi seisundi hooldus (Hull and propeller condition management)

VPM Reisi jõudluse haldamine (Voyage performance management)

TEU 20 jala pikkune konteiner (Twenty foot equal unit)

PMS Planeeritud hooldussüsteem (Planned Maintenance System)

Jooniste loetelu

Joonis 1. Proгноositud CO ₂ heitgaaside kasv	13
Joonis 2. Kere saastumine	15
Joonis 3. Sõukruvi enne ja peale puhastust	16
Joonis 4. Hoolduste liigid	17
Joonis 5. Tugilabaga tunnel, statsionaarsed labad ja PBCF	19
Joonis 6. Õhkmäärde süsteem	20
Joonis 7. Kinnitatud tiivad, pehmed purjed, rootorpurjed	20
Joonis 8. Avalike ruumide ventilatsioon 2017 a.	23
Joonis 9. Avalike ruumide ventilatsioon 2019 a.	24
Joonis 10. VAV kast	25
Joonis 11. AC mereveepumpade ning jahutuspumpade süsteem	26
Joonis 12. Uurimisülesannete lahendamine	28
Joonis 13. Kruiisilaevade CO ₂ väljalasketasemed g/pax*k.....	40
Joonis 14. Silja Europa 4. utiili torustik	44

Tabelite loetelu

Tabel 1. EEDI etapid ja vähendamise määr	11
Tabel 2. Energiat säästvad tehnoloogiad.....	19
Tabel 3. Taastuenergia kasutamine	21
Tabel 4. Abimasinate töötunnid 2017 aastal	29
Tabel 5. Abimasinate töötunnid 2019. aastal	30
Tabel 6. AM töötundide võrdlus.....	30
Tabel 7. 2017 ja 2019 kütusekulu.....	31
Tabel 8. Kütuse- ja energiakulu.....	34
Tabel 9. CO ₂ kogused	35
Tabel 10. SO _x kogused	36
Tabel 11. AM töötundide võrdlus prognoosiga	37
Tabel 12. Kütusekulu ja CO ₂ võrdlus prognoosiga	37
Tabel 13. Tegelikult säästetud raha võrdlus prognoosiga	38
Tabel 14. CO ₂ väljalasketasemed g/t*km.....	41
Tabel 15. Projekti tulemused	41
Tabel 16. Projekti prognoosi täituvus	42
Tabel 17. Kui kaldavool oleks olnud kasutusel 2019. a.....	45

Annotatsioon

Magistritöös antakse ülevaade Silja Europol energiasäästuprojekti raames läbi viidud töödest ning arvutatakse tehtud uuenduste mõju laevale. Ülesanded 1–4 sisaldasid abimasinate töötundide, laeva kütusekulu, väljalaskegaaside ja energiakulu arvutamist projektile eelneval ning järgneval aastal. Ülesandes 5 võrreldi projekti prognoosi tegelike tulemustega. Ülesannete tulemustest selgus, et projekti teel vähenes energiakulu üle 16%, mis oli aga 17% vähem kui prognoositud. Mille põhjal võib öelda, et projekt tasus end ära, kuid ei saavutanud oma täieliku potentsiaali.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 42 lehekülge, 3 peatükki, 14 joonist, 17 tabelit.

Sissejuhatus

Keskmine laeva eluiga vastavalt laevatüübile on 25–35 aastat (Mikelis, 2008). Seoses järjest karmistuvate keskkonna ja energiatõhususe nõuetega ning erinevate energiaressursside hindade kasvuga on alustatud vanemate laevade rekonstrueerimisega, et vähendada energia- ja tegevulusid. Ettevõetavad projektid on tihti kallid ning ajamahukad. Olemasolevatele laevadele uute süsteemide paigaldus on palju kulukam ja keerulisem kui see oleks uue laeva projekti raames, seega peavad ette võetud muudatused kindlasti ka märgatavaid tulemusi tooma, et tehtud kulutused ka põhjendatud oleksid. Laevade energiaefektiivsemaks muutmine on aga vajalik, kuna ainuüksi konteinerlaevanduses on 2020. aastaks ennustatud, et IMO poolt kehtestatud madala väävlisisaldusega kütuste kasutamise nõue tõstab kulutusi küttele 10–15 miljardi dollari võrra (UNCTAD, 2019).

2019. aasta seisuga on maailmas 95 402 alust, millest kaubalaevastikus 53 000 (UNCTAD, 2019). Probleem – kuidas vähendada energiakulu ja energiat efektiivselt kasutada on oluline lahendada, mitte ainult reederi seisukohast, vaid võidab ka keskkond, kuna energia säästmine tekitab lumepalliefekti millest saavad kasu kõik. Väheneb kütusekulu, motoressursi kasutamine ning kasvuhoonegaaside kogus. Kütusekulu vähenemine tähendab laevandusettevõttele arvestatavat rahalist kokkuhoidu kuna kütus moodustab suure osa kogu tegevkuludest (Popel, 2013).

Magistritöö eesmärk on uurida ja analüüsida 2018. aastal eMarine Engineering Nordic AB poolt läbi viidud energiasäästuprojektile Silja Europa peal, mille põhjal, vastavalt uurimustulemustele, saavad ka teiste vanemate laevade omanikud kaaluda sarnaste rekonstrueerimiste ettevõtmist. Eesmärgi saavutamiseks otsib autor vastust järgnevatele uurimisülesannetele:

- 1.) Arvutada, kui palju on muutunud abimasinate töötunnid aastatel 2017–2020.
- 2.) Arvutada, kui palju on muutunud kütusekulu aastatel 2017–2020.
- 3.) Arvutada, kui palju on muutunud energiakulu aastatel 2017–2020.
- 4.) Arvutada, kui palju on muutunud SO_x ja CO² tasemed aastatel 2017–2020.

5.) Võrrelda saadud tulemusi projektis prognoositud tulemustega.

Magistritöö koosneb kolmest peatükist. Esimene peatükk räägib energia säästmise vajadusest laevanduses, millest see on tingitud ja milliseid meetmeid on ette võetud olukorra parendamiseks. Teine peatükk annab ülevaate Silja Euroopal tehtud energiasäästuprojektist ning tegeleb uurimisülesannete lahendamise ja lahendamise teostamisega. Kolmandas peatükis toob magistritöö autor välja ülesannetes arvatud tulemused, teeb omapoolseid märkusi seoses laeval teostatud töödega ning lisab soovitusi energia kokkuhoiu suurendamiseks.

1 Laeva energiatõhususe suurendamine

Meretransport on rahvusvahelise kaubanduse ja globaalse majanduse selgroog. Ligikaudu 80 protsenti ülemaailmsest kaubandusest mahult ja üle 70 protsenti kogukaubandusest väärtuse järgi veetakse meritsi ja neid käitlevad sadamad kogu maailmas (UNCTAD, 2018). Need protsendid on veelgi suuremad enamikes arengumaades (UNCTAD, 2015).

Vaatamata nende kättesaadavusele ei ole kulutõhusad meetmed laevade energiatõhususe parandamiseks alati laevaomanike poolt vastu võetud. Seda olukorda iseloomustab energiatõhususe lõhe olemasoleva ja võimaliku vahel. Takistused selle potentsiaalselt saavutatava efektiivsuse saavutamiseks võivad olla majandusliku, organisatsioonilise või käitumusliku algega. Samuti võib informatsioonipuudust lugeda üheks olukorda põhjustavaks faktoriks kuna võivad puududa spetsiifilised teadmised laeva pardal tarbitava energiakoguse, olemasolevate seadmete võimaluste ja uute rakendavate meetodite kohta. (Jafarzadeh, Pedersen, Notti, Sala, & Ellingsen, 2014).

Uute laevade energiatõhususe indeks (EEDI) on tehtud kohustuslikuks kõikidele uutele laevadele ning laevade energiatõhususe juhtimiskava (SEEMP) kõikidele laevadele alates 2011 aastast (MEPC, 2011). Uute laevade EEDI on kõige olulisem tehniline meede ja selle eesmärk on edendada energiatõhusate (vähem saastavate) seadmete ja mootorite kasutamist. EEDI nõuab erinevate laevatüüpide ja suurusega laevadele energiatõhususe taset miili kohta. Alates 2013. aastast peab uus laevakujundus vastama nende laevatüübi võrdlustasemele. Taset karmistatakse järk-järgult iga viie aasta tagant ning seega stimuleerib EEDI kõikide laevade kütusesäästlikkust mõjutavate komponentide jätkuvat uuendustegevust ning tehnilist arengut. EEDI on ettekirjutuseta, tulemuspõhine mehhanism, mis jätab konkreetse laevakujunduse jaoks kasutatavate tehnoloogiate valiku tööstusele. Kuni nõutav energiatõhususe tase on saavutatud, võivad laevade projekteerijad ja ehitajad kasutada eeskirjadele vastamiseks laevadel kõige kuluefektiivsemaid lahendusi. (IMO, 2014).

EEDI annab konkreetse arvu, konkreetse laeva projekti kohta, väljendatuna grammides süsinikdioksiidi (CO₂) laeva mahutavuse miili kohta (mida väiksem on EEDI seda energiatõhusam on laev). EEDI arvutatakse valemiga, mis põhineb laeva tehnilistel parameetritel.

Esimese etapi süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamise (CO₂ g/t*miilile) on 10% ja seda karmistatakse iga viie aasta tagant, et pidada sammu tehnoloogia arenguga. Vähendamismäärad on kehtestatud kuni 2025. aastani, kus nõutud vähendus on 30%, mis arvutatakse 2000–2010 ehitatud laevade keskmise kasuteguri võrdlusjoonelt lähtudes. (Ibid)

Tabel 1. EEDI etapid ja vähendamise määr

Laeva tüüp	Suurus	1. etapp 2015 (%)	2. etapp 2020 (%)	3. etapp 2025 (%)
Puistlasti laev	20 000+ DWT	10	20	30
LNG tanker	10 000+ DWT	10	20	30
Tankerid	20 000+ DWT	10	20	30
Konteinerlaevad	15 000+ DWT	10	20	30
Ro-ro reisilaevad	1000+ DWT	5	20	30
Kruiisilaevad	85 000+ DWT	5	20	30
	25 000–85 000 DWT	0-5	0-20	0-30

Allikas: (IMO, 2015)

EEDI on välja töötatud kõige suurematele ja energiamahukamatele laevadele kaubalaevastikus. See kehtib järgnevale laevatüüpidele: tankerid, puistlastlaevad, LNG tankerid, üldlastilaevad, konteinerlaevad, külmutuslaevad ja kombineeritud. 2014. aastal võttis MEPC vastu EEDI määruse ka LNG tankeritele, ro-ro laevadele ja kruiisilaevadele, millel on tavapärasel propulsiivseadmed. Antud muudatused tähendavad, et laevad, mis tekitavad umbes 85% rahvusvahelise laevanduse süsinikdioksiidi heitkogusest, peavad arvestama rahvusvaheliste regulatsioonide määradega. (IMO, 2014)

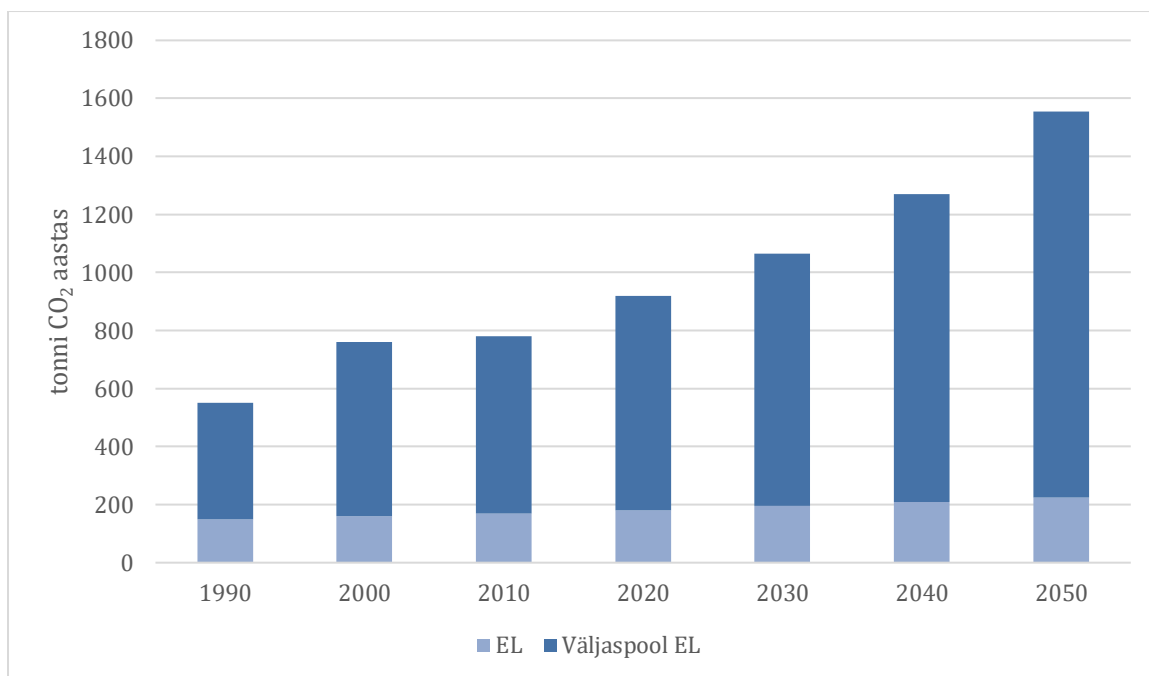
Laeva energiatõhususe juhtimiskava (SEEMP) on operatiivne meede, millega on loodud mehhanism laeva energiatõhususe parandamiseks kulutõhusatel viisidel. SEEMP pakub laevaettevõtetele ka võimalusi laevade ja laevastike energiaefektiivseks juhtimiseks, kasutades selleks energiatõhususe operatiivset indikaatorit (EEOI). Uute ja olemasolevate laevade SEEMP juhend sisaldab kütusesäästlikke laeva eksploatatsiooni tavaid ning suuniseid EEOI vabatahtlikuks kasutamiseks. EEOI võimaldab laeval mõõta kütusesäästlikkust ja tehtud muudatuste mõju. Näiteks reisi parem planeerimine, sõukruvi sagedasem puhastamine või tehniliste meetmete nagu väljalaskegaaside soojusenergia taaskasutamine. SEEMP soovib laevaomanikul ja operaatoril plaani igas etapis kaaluda laeva jõudluse optimeerimise uusi tehnoloogiaid ja tavaid. (Ibid)

2015 aastal kirjutasid IMO, ülemaailmne keskkonna asutus (GEF) ning ÜRO arenguprogramm (UNDP) alla kokkuleppele, millega järgneva kahe aasta jooksul eraldati 2 miljonit dollarit ülemaailmsele energiatõhususe projektile. Selle eesmärk oli toetada energiatõhusate energiaallikate suuremat kasutuselevõttu ning rakendamist laevadel. (IMO, 2015)

GloMEEP projekt, mille ametlik nimi on Globaalse Meretranspordi Tööstuse Väheses Süsinikusalduseks Muutmine läbi Energiatõhususe Parandamise. Projekt keskendus rohkem võimekuse suurendamisele ja operatiivmeetmete rakendamisele arengumaades, kuhu laevandus järjest rohkem koondunud on. Selle eesmärk oli edendada vähese süsinikdioksiidi heitegaasidega merendussektorit, et minimeerida laevanduse heitkoguste kahjulikku mõju kliimamuutustele, ookeani hapestumisele ning õhukvaliteedile. Projekti eriti huvitavaks aspektiks oli selle eeldatav roll projekti raames uuendusliku avaliku ning erasektori partnerluse käivitamisel, uue ülemaailmse tööstusliidu (GIA) kaudu, merenduse energiatõhususe suurendamiseks. Osalesid juhtivad erasektori ettevõtted, sealhulgas klassifikatsiooniühingud, laevaehitajad, laevaomanikud, laevavarustuse tarnijad, laevaoperaatorid ning sadamaoperaatorid. (Ibid)

Ka Euroopa Liit toetab kliimamuutustega võitlemise ambitsioonikat rahvusvahelist tegevust. Mitmepoolne ning laiapõhiline koostöö on jätkuvalt EL kliimapoliitika keskmes. Kooskõlas selle rahvusvahelises narratiivis on EL rakendanud poliitikat, et hõlbustada oma üleminekut madala süsinikusaldusega majandusele. (Euroopa Komisjon, 2013)

EL tasandil jääb rahvusvaheline meretransport ainsaks transpordiliigiks, mis ei ole lisatud kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise kohustusse. Laevanduse KHG heitkogused moodustasid 2013. aastal 4% EL kasvuhoonegaaside heitkogusest. Kasvuhoonegaasid laevanduses, tulevikus kindlasti suurenevad märkimisväärselt. Vastavalt EL hinnangule kasvasid Euroopa Liiduga (EL sisesed, sisenevad ja väljuvad reisirid) seotud heitkogused aastatel 1990–2008 pea 48%. Kooskõlas maailma kasvuprognosidega eeldatakse, et laevandusega seotud heitkogused suurenevad aastatel 2010–2050 veelgi 51% (võrreldes 1990. aastaga 86%), vaatamata Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni kehtestatud laevade tõhususe miinimumstandarditele. (Euroopa Komisjon, 2013)



Joonis 1. Prognoositud CO₂ heitgaaside kasv
Allikas: (Euroopa komisjon, 2013)

Globaalsel tasandil moodustas meretranspordi heitkogused 2013. aastal 3% kogu maailma heitkogustest, kuid 2050. aastal eeldatavasti 5%. Tõus on seotud maailmamajanduse kasvuga ja sellega seotud transpordinõudlusega. See tõus peaks eeldatavasti juhtuma, vaatamata operatiivsete meetmete ja olemasolevate tehnoloogiate kättesaadavusele, mis vähendavad laevade energiakulu ning väljalaskegaase 75%. (Ibid)

Laevandus on oluline lüli ülemaailmses tarneahelas ja see on Euroopa Liidule võtmesektor majanduses. Laevandus on suhteliselt vähem saastav kui muud veoliigid transpordis. Kuid tehnoloogia areng ka teistes sektorites, liigne sõltuvus naftast ja tugev avalik surve mitte ainult süsinikdioksiidide vähendamise osas, vaid ka SO_x ja NO_x on selge põhjus, miks laevandus ei tohiks oma tegevustes hoogu maha võtta. IMO ja laevandustööstus tegutsevad aktiivselt, kuid uute tehnoloogiate ja rakendusmeetmete kasutusele võtt on endiselt ebaühtlane. Energiatõhususe ja jätkusuutlikuse julgustamine laevandussektoris läbi vähendatud kütusekulu ning klientide parema teeninduse (tulles vastu nende ootustele), tagab laevanduse konkurentsivõime – globaalsel tasandil läbi kaubandussidemete toimimise ning EL tasemel läbi stabiilse kvaliteetse juhtimise. (Ibid)

IMO poolt kehtestatud rangemad heitgaaside koguste eeskirjad ja kõikuvad kütusehinnad on juhtivateks teguriteks, mis on mõjutanud meretranspordi tööstust viimastel aastatel. Antud tegurite mõjutusel on laevaühingud, prahtijad ja laevaomanikud sunnitud leidma võimalusi kütusekulu vähendamiseks. Seega on kütuse tarbimise vähendamine ülioluline ja seda saab vaadelda kahest aspektist: tarbimise vähendamine laevaehituse ja seadmete rekonstrueerimise teel (kere takistuse vähendamine, sõukruvi efektiivsuse tõstmine, energiasäästlike seadmete kasutamine) või tarbimise vähendamine laeva süsteemse juhtimise kaudu – kiiruse ja marsruutide optimeerimine (Sharifi, Ghassemi, Zanganeh 2017, 21).

1.1 Operatiivsed laeva energiatõhususe suurendamise meetmed

Potentsiaal laevanduses kütust säästa on suur, 25–75% on võimalik säästa olemasoleva tehnoloogia, tavade ning tehniliste täiustuste abil. Hoolimata paljude tehnoloogia- ja disainipõhiste lähenemisviiside olemasolust, on limiidid nende meetmete kasutamisel, põhjustanud arutelusid energiasäästu üle läbi operatiivsete muudatuste. (Beşikçi, Kececi, Arslan, & Turan, 2016)

Reisi jõudluse haldamine (VPM), sisaldab kiiruse optimeerimist, autopiloodi arendamist, ilmastikupõhist reisi planeerimist ning laeva diferentsiaali ja süvise optimeerimist. Kiirus on meretranspordi oluline muutuja – isegi, kui laevad liiguvad aeglasemalt kui muud transpordiliigid. Mida kiiremini laevad liiguvad, seda rohkem majanduslikku kasu saab, kuna kauba õigeaegne kättetoimetamine vähendab laokulusid. Kiiruse optimeerimine on muutunud oluliseks uurimisvaldkonnaks keskkonna ning majanduse aspektist. Näiteks puistlastlaevadel jääb kiirus 13–16 sõlme ning konteinerlaevadel 24–26 sõlme. Varasemad uuringud on näidanud, et 2–3 sõlme võrra väiksem konstrueeritud kiirus vähendab laeva tegevulusid. Laeva kiiruse 10% vähendamine toob kaasa heitekoguste 10-15% vähenemise ning sellega koos ka olulise tulude kasvu. Laeva optimaalse kiiruse üle otsustamiseks tuleks kaaluda mitmesuguseid reisiplaani mõjutavaid parameetreid. Isegi kui madalam kiirus on kasumlik kütusesäästu mõttes, tuleb arvestada muude äriliste ning tegevusnõuetega. Näiteks liinilaevadel on vaja tegutseda vastavalt graafikule, aga tramplaevanduses puudub kindel marsruut ning ajakava. Kui laev liigub aeglasemalt, selle asemel, et ummikute tõttu enne sildumist oodata sadamas, võimaldab see kütust kokku hoida. Autopiloot vähendab reisidistantsi läbi rooli vähema liikumise. Rooli liikumine tekitab laevakere lohistamist ning seega suureneb ka laeva

takistus vees. Kohandatud autopilootsüsteemidel on mitmeid eeliseid, näiteks kavandatud teekonna ülitäpne jälgimine ning kursi muutmisel on roolinurgad väga väikesed. Autopiloodi kohandused nagu keskkonnatingimustega, ning laeva parameetritega arvestamine, mõjutavad kütusekulu 0,5-3%. Ilmastikuolude järgi teekonna planeerimine tähendab kõige optimaalsema teekonna planeerimist põhinedes ilmaoludele ning laeva karakteristikutele. Saavutades sellega minimaalse kütusekulu ning kiireima saabumisaja. Näiteks paljud laevandusettevõtted on spetsialiseerunud koguma meteoroloogilisi andmeid ning põhinedes nendel andmetel hindavad kuidas laevad teatud tingimustele reageerivad. Võimalik kütusesääst küündib kolme protsendini. Nõuetekohane diferentsiaal ning süvis vähendavad laeva takistust vees ning seega ka kütusekulu. Parim ning halvim diferentsiaal võib mõjutada peamasinatelt nõutavat võimsust 10%. Kuigi kaptenid ning laadijad arvestavad diferentsiaaliga pidevalt, siis seiresüsteemid suudavad valida kõige parema diferentsiaali olemasoleva süvise juures. Hästi seadistatud tarkvaraga on võimalik vähendada kütusekulu 5%. (Ibid)

Laevakere ja sõukruvi seisundi hooldus (HPCM) on tingitud füüsikalistest ning bioloogilistest omadustest. Kere karedus ja saastumine võib suurendada laeva kütusekulu dramaatiliselt. (IMO, 2015) Saastumine suurendab laeva massi ja kere hõõrdetakistust ning mõjutab laeva hüdrodünaamilisi omadusi, töökiirust ja laeva juhitavust (vt. joonis 2).



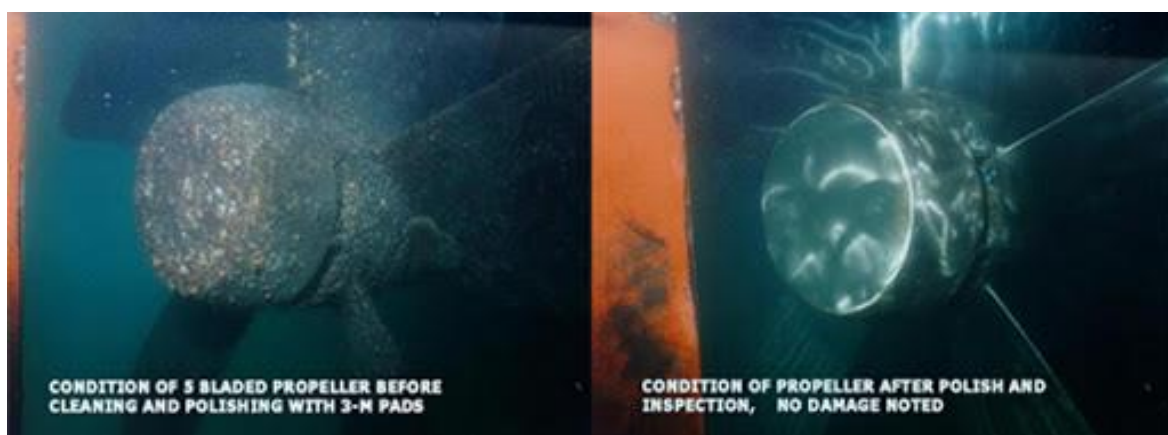
Joonis 2. Kere saastumine
Allikas: (Mfame, 2016)

Vee vastupanu suureneb märkimisväärselt, kui erinevat tüüpi mereelukad moonutavad laeva kere siledust ning suureneb ka laevade takistus, kui rohkem vett laevaga kaasa tõmmatakse. Laevakere suureneva takistuse mõjul, muutuvad töötingimused ja laeva kiirus väheneb või laeva nõutav võimsus suureneb, et saavutada sama kiirus. Töötingimuste muutused laevakere

saastumise tõttu mõjutavad tõukejõusüsteemide komponente alates propellerist kuni tõukelaagrite, väntvõlli, võlli laagrite, silindrirõhu, põlemisparameetrite ja turbiinini. Kerge ja raske lima mõjutab laevade jõudlust kuni 19% ning kareduse suurenemine 130 mikronilt 280 mikronini suurendab sama töökiiruse saavutamiseks vajalikku võimsust 0,4–4,6%. (Dere, Kandemir, Zincir, & Deniz, 2016)

Regulaarne (ekspluatatsioonis nt. tuukrite poolt) põhja puhastus on kasulik, kui pinnakatte kahjustusi välditakse ning põhja hooldus dokis lausa vajalik. Osalise puhastuse prioriteet kohtadeks on kere vööripoolne osa (umbes 1/3) ning piirkonnad kuhu pääseb rohkem valgust. Põhja saastumise kiirus oleneb mitmest faktorist nagu: kere algne karedus, kere värvikatte kvaliteedist ja selle vastupanust mehaanilistele vigastustele, merevee temperatuurist ja päikesevalgusest, merevee soolsusest ja vetikatest ning laeva sõidugraafikust ja kiirusest. Parima tulemuse saamiseks peaks puhastamise ajakava põhinema kas jõudlusel, seirel või regulaarsel veealusel ülevaatusel. (IMO, 2015)

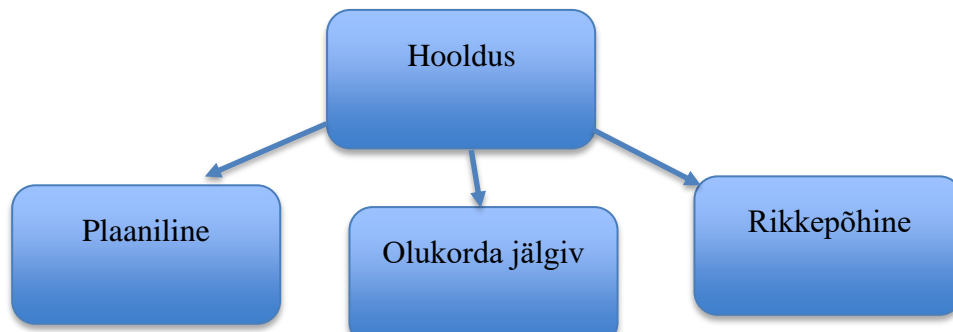
Sarnaselt kere pinnaga, väheneb ka sõukruvi jõudlus pinna kareduse kasvuga, mis võibolla tingitud korrosioonist, kavitatsioonist, mehaanilistest vigastustest või normaalsest kulumisest (vt. joonis 3). Vale hooldus võib karedust ka suurendada. Sõukruvi poleerimine vähendab peamiselt hõõrdumiskadusid, aga ka pöörlemiskadusid. Kareda sõukruvi pinna poleerimine võib tekitada 3% kütuse kokkuhoidu. (Ibid)



Joonis 3. Sõukruvi enne ja peale puhastust
Allikas: (Seaward Marine Services, 2020)

Masinate hooldus peab toimuma vastavalt tootjate juhenditele kuna muudatused võivad mõjutada energiakulu märgatavalt. Efektive planeerimine ja adekvaatne varustuse kasutamine on produktiivse hoolduse aluseks. Põhilisteks hooldustüüpideks on ennetav või plaaniline hooldussüsteem, parandav või rikkepõhine süsteem ning seisukorda jälgiv süsteem

(vt. joonis 4). Plaanilise hooldussüsteemi (PMS) järgi toimub hooldus vastavalt töötundidele või kalendriliste intervallidega. Hooldus teostatakse sõltumata masina seisukorrast. Osad tuleb välja vahetada, kui see on ajakavas kirjas, isegi kui neid saab endiselt kasutada. Rikkepõhise



Joonis 4. Hoolduste liigid
Autori koostatud

süsteemi järgi toimub hooldus masina rikke korral. See ei ole sobiv ja hea meetod, kuna võib tekkida olukordi, kus masin on hädaolukorras vajalik. Ainus eelis on see, et masinaosad kasutatakse ära kogu eluea pikkuses või kuni nende purunemiseni. See süsteem võib minna kulukaks, kuna rikke korral võivad kahju saada ka mitmed muud osad. Seisukorda jälgivas süsteemis kontrollitakse masinaosi regulaarselt. Andurite ja seadete abil saab ülevaate masinate seisundist regulaarselt ning hooldus toimub vastavalt. See süsteem vajab kogemusi ja teadmisi, kuna vale tõlgendamine võib masinaid kahjustada ja viia kulukate remonttöödeni, mis ei pruugi ettevõtetele vastuvõetavad olla. (Kaushik, 2019)

Kütusehaldus on vajalik, kuna kütuseid on mitut tüüpi ning eri hinnaga. Punkri kütusehaldusstrateegia koosneb kolmest komponendist – punkerdamise jaoks sadamate valimine, punkerdamiskoguste valimine ja laeva kiiruse reguleerimine. Kuna need kolm komponenti on omavahel seotud, on neid vaja optimeerida koos, et saada õige kütusehaldusstrateegia. (Yao, Ng, & Lee, 2011)

Süsteemide energiahaldus ehk laevas olevate mehaaniliste ning elektriliste seadmete optimeerimine on laevade jaoks väga oluline. Tehnoloogia areng võimaldab olemasolevate süsteemide täiustamist või välja vahetust – läbi mille, on võimalik väga suur energia kokkuhoid. Lisaks on uued või täiustatud süsteemid tihtipeale palju ohutumad, lihtsamini kasutatavad ning jälgitavad.

Katelde ning aurustüsteemi korrektne ekspluatsioon võib vähendada neile kuluvat energiat kuni 30%. Vältida tuleb vee saastumist ning jälgida katla seisukorda vee ning väljalaske poolel. Töös tuleb katelt hoida vaja mineval koormusel ning ära peab maksimaalselt kasutama ka utiile.

Aurutorustiku isolatsioon peab olema heas korras ja lekked süsteemis tuleb eemaldada. Temperatuurid tankides tuleb hoida nõutud tasemetel ning vastavalt ilmale võib soojenduse teatud laeva sektsioonides isoleerida. (Kabir, 2016)

Vastuvõetud meetmete tõhusaks ning ühtlaseks rakendamiseks on vaja tõsta töötajate teadlikust. Väljaõppe pakkumine nii kalda kui parda personalile on oluline element. Sellist inimressursi arendamist tuleb julgustada ja seda tuleks pidada oluliseks osaks nii planeerimise kui rakendamise etapis. (MEPC, 2012)

1.2 Laevaehituse ning seadmete rekonstrueerimine

Parimad meetmed laeva tõhustamiseks erinevad suuresti sõltuvalt laeva tüübist, lastist, marsruudist ja muudest teguritest. Keeruline on määrata, millised meetmed on konkreetse laeva jaoks kõige sobivamad.

Laevakere parameetrite optimeerimist peetakse endiselt kasvavaks valdkonnaks energiatõhususe suurendamisel. Näiteks konteinerlaevade suurendamisel 4 500–8 000 TEU , väheneb sõuseadmetele kuluv energia 25%. Kõige rohkem säästavad suuruse optimeerimisest kiired laevad. Samuti vähenevad ka ehituskulud (USD/TEU) 15%. Samas aga, kiiruse vähendamine 1 sõlme võrra, vähendab kütusekulu 12–15% – seega on uue laeva ehitusel, kiiruse ja suuruse valimisel vaja arvestada ka turu nõudlusega. Laeva pikkuse/laiuse suhte suurendamine võib anda 3–5% kütuse säästu, aga võrreldes laius/süvis suhtega, on pikkus palju kallim parameeter. Pikkus/laius suhte suurendamine vähendab lainetest tulenevat takistust ja laius/süvis suhte suurendamine veealust takistust. (Sharifi, Ghassemi, & Zanganeh, 2017) Ka teraskonstruktsiooni kaalu saab vähendada. Konventsionaalses laevas saab terase massi vähendada 5-20% võrra. Terasest 20% kaotamine, vähendab tõukejõu võimsuse vajadusi 5%. (Pariotis, Zannis, Yfantis, Roumeliotis, & Katsanis, 2016)

Keretakistuse minimaliseerimine ja sõuseadmete efektiivsuse suurendamine annab 5–8% kütusekulu vähenemise. Ümarat vööri eelistatakse rohkem kui teravat. Ümaram vöör tagab sujuvama ülemineku ning võimaldab mahu nihutamist laeva keskosast vööri poole. Selle tulemuseks on parem laevakere vastupidavus. Vööriosa optimeerimine hõlmab pirnvööri kujundust, veeliini sissepääsu ning vööriõlga. Selles optimeerimise protsessis rakendatakse potentsiaalseid vooluarvutusi. Õigesti kujundatud pirnvöör vähendab lainete tekitatud takistust,

tekitades enda poolse lainesüsteemi, mis on vöörikere lainetega faasist väljas, moodustades sellega tühistava mõju. Ahtriosa optimeerimine hõlmab jõupingutusi ahtripoolsete lainete leevendamiseks, sõukruvile suunatud veevoolu parendamist ning veepöörise vältimist. Õigesti konstrueeritud ahter võib vähendada harjaslaineid, läbivaid sügavaid laineid ning ahtrilaineid. Veevoolu parendamine sõukruvile parandab tõukejõudu (vt. joonis 5).



Joonis 5. Tugilabaga tunnel, statsionaarsed labad ja PBCF
Allikas: (Dang, et al., 2011)

Kahe sõukruviga tõukejõuseadmed pakuvad paremat juhitavust ning seda kasutatakse ka siis, kui ühe sõukruvi jaoks vajalik võimsus oleks liiga suur. Topelt sõukruvid saab disainida lahtistena, millel on toed või täävikand. Kahe sõukruviga on võimalik efektiivsust suurendada 2–3% rohkem kui ühega (vt. kokkuvõtet tehnoloogiatest tabel 2). (Sharifi, Ghassemi, & Zanganeh, 2017)

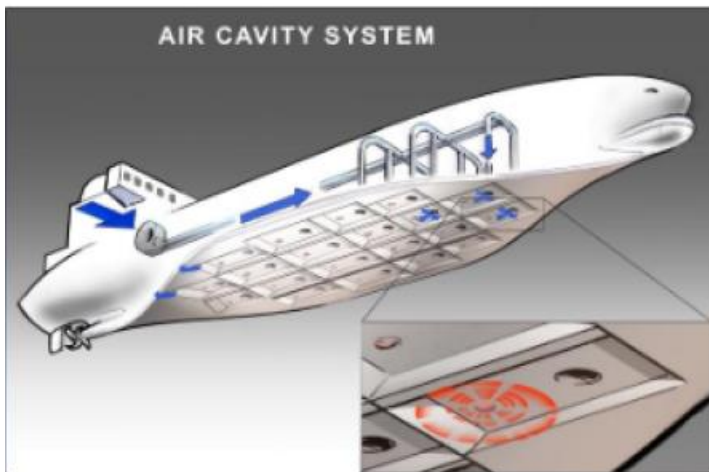
Tabel 2. Energiat säästvad tehnoloogiad

Tehnoloogia	Märkused
Vööri optimeerimine	Vähendab takistust
Ahtri optimeerimine	Suurendab sõuseadmete tõhusust ning vähendab takistust
Kiiluvee võrdsustamine	Muudab veevoolu ühtlaseks ning suunab sõukruvile
Spoilerid	Suunab veevoolu sõukruvile
Ahtritunnelid	Suunab veevoolu sõukruvile
Statsionaarsed labad (enne sõukruvi)	Teeb paremaks sõukruvi labadele tulevat veevoolu nurka, mistõttu vajab sõukruvi tõukejõu tekitamiseks vähem kineetilist energiat
Ahtertäävikand x2	Parandab juhitavust

Autori koostatud

Laeva kere põhja moodustatud süvendid (vt. joonis 6), millesse saab suruõhku pumbata, vähendab hõõrdetakistust laeva kere ja vee kokkupuutealal. Suure kerepinnaga laevadel nagu

tankeritel vähendab antud meetod kütusekulu kuni 15%, konteinerlaevadel 7,5% ning praamlaevadel 3,5%. (Pariotis, Zannis, Yfantis, Roumeliotis, & Katsanis, 2016)



Joonis 6. Õhkmäärde süsteem

Allikas: (Pariotis, Zannis, Yfantis, Roumeliotis, & Katsanis, 2016)

Energiaefektiivne valgustus võib säästa abimasinatele kuluvat energiat kuni 3%. Keskmine energiakulu valgustusele kaubalaeval on 5% ja reisilaeval pea 10%. Energiaefektiivsema valgustuse saamiseks tuleb kasutada madala energiakuluga halogeene või LED valgustust. Dimmeritega saab muuta valguse intensiivsust, hoida kokku raha ja pikendada valgusallika eluiga. Samuti vähendab energiakulu sensoritega juhitud automaatne valgustus. (Kabir, 2016)

Taastuvate energiaallikate kasutamine saab paljudes riikides laialdast tähelepanu mitmetes tööstusvaldkondades, kaasaarvatud merendussektoris. Merenduse katsed selles suunas keskenduvad kõige rohkem tuuleenergiale.

Taastuvenergia võimalusi on igas suuruses laevadele ning need sisaldavad rakendusi peajõuseadmetele ja abijõuseadmetele tavaliselt läbi hübriidsete lahenduste. Kõige potentsiaalsemalt kasutatav taastuvenergia on tuuleenergia (vt. joonis 7) – pehmed purjed,



Joonis 7. Kinnitatud tiivad, pehmed purjed, rootorpurjed

Allikas: (IRENA, 2015)

kinnitatud tiivad, rootorid, tuulelohed. Kasutatakse ka päikeseenergiat, biokütuseid, laineenergiat ja taastuveniagiaga laetud superakumulaatoreid. Neid puhta energia lahendusi saab integreerida ka olemasolevasse laevastikku (vt. tabel 3). (IRENA, 2015)

Tabel 3. Taastuveniagi kasutamine

Energiatallikas	Märkused
Tuul	Toodab lisaenergiat laeva tõukejõu tõhususe suurendamiseks
Päike	Lisaenergia (nt. laeva elektriga toitmiseks)
Laineenergia	Lisaenergia tõukejõu suurendamiseks ja laeva elektrienergia tootmiseks
Biokütused	Kasutatakse kütuse lisandina (vähendab fossiilse kütuse osakaalu)
Akumulaatorid	Kasutatakse lühikeste ülesõitide puhul (20 min), laetakse kaldapealsetest taastuveniagi jaamadest (10 min).

Autori koostatud

Taastuveniagi seadmete tehnoloogiad ei ole alati üksteisega ühilduvad ja võivad olla ainult konkreetsete laevatüüpide jaoks teostatavad. Selles osas üritatakse luua mingeid kindlaid suuniseid iga seadme rakendatavuse kohta.

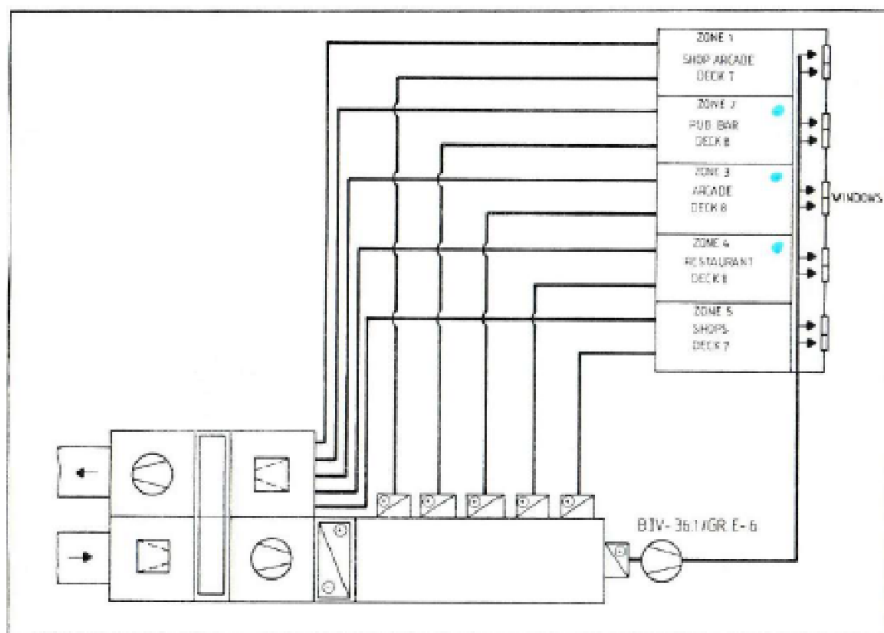
2 Silja Europa energiasäästuprojekt

M/S Silja Euroopal on 40 kliimaseadet, mis teenindavad avalikke ruume, teenindusruume ning kajuteid. Kõik seadmed on toodetud Rud. Otto Meyer poolt ja olid juhitavad tsentraliseeritud Lyngsø Marine juhtimissüsteemist Damatic. Süsteem ei olnud ajakohane ning automaatne ventilaatori kiiruse juhtimine ei töötanud. Raske oli saada ka varuosasid. Töö käigus paigaldati uus juhtimissüsteem ning kõikidele ventilaatoritele lisati sagedusmuundurid. Kõik temperatuuriandurid vahetati välja ning lisati juurde veel uusi, millest osad on kombineeritud tüüpi andurid ehk mõõdavad lisaks temperatuurile ka CO₂ taset, tuvastamaks halba õhukvaliteeti ruumides. Iga seadme jahutusmähiste paigaldati uued juhtventiilid, mis võimaldavad tõhusamat temperatuuri reguleerimist eelsoojendamise, jahutamise ja taaskuumutamise vahel, mille tulemuseks on märkimisväärne jahutusenergia kokkuhoid suvel. Parema õhuvoolu tasakaaluks sisse- ja väljatõmbe vahel paigaldati õhuvoolulugejad. Akende sulatusventilaatoritele paigaldati VSD-d, mis töötavad vastavalt välistemperatuurile. Kuna kajutites toimus temperatuuri reguleerimine õhu segamise näol siis, parima tulemuse saavutamiseks oli vaja VAV kastidesse tulevad õhuvoolud tasakaalustada kuna testide tulemused näitasid, et tasakaalu enam polnud. Võeti kasutusse peamasinate, ning renoveeriti abimasinate soojustaaste süsteem. Kõikidele suurema koormusega pumpadele paigaldati sagedusmuundurid.

Kõik ventilatsiooniseadmed olid varustatud jahutusmähistega, aga puudusid juhtventiilid. 31 seadet olid varustatud soojatagastusratastega, mida juhiti käsitsi eraldiseisvalt paneelilt. Ülejäänud üheksal seadmepoolt soojatagastusratas puudus, aga selle asemel oli neil spetsiaalne eelsoojendusmähis ühendatud soojavee kuumutus süsteemiga. 15 seadet olid ka algselt varustatud muutuva kiirusega ajamitega (VSD), aga nende ajamite asemel olid kliimaseadmete sisse- ja väljatõmbe ventilaatoritele paigaldatud uued VSD-d käivituskappi, kus nad võisid häirida temperatuuri- ja niiskusandurite signaale. Ülejäänud kliimaseadmed olid otseajamite või kahe kiirusrežiimiga.

Avalike ruumide (vt. joonis 8) kliimaseadmete (AC 3, AC 12, AC 14, AC 16, AC 18, AC 34, AC 36, AC 56, AC 58, AC 81, AC 83, AC 85, AC 87, AC 100) juhtimissüsteem oli piiratud

ning ei töötanud korralikult. Kiiruse regulaatorid ei töötanud, mis tähendas käsitsi juhtimist.

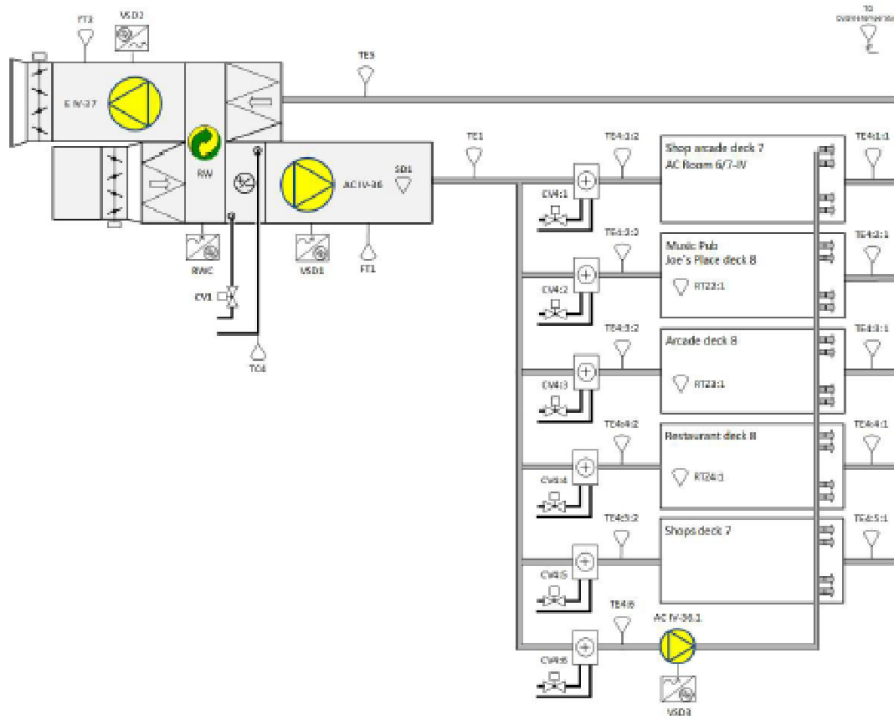


Joonis 8. Avalike ruumide ventilatsioon 2017 a.

Allikas: (eMarine Engineering Nordic AB, 2017)

Paljud VSD-d töötasid täiskiirusel ja mõned olid piiratud. Mõned temperatuuriandurid olid lakanud töötamast ning soojatagastusrattaid juhiti käsitsi, mille tulemusena reisijad või meeskond temperatuuride üle pidevalt kurtsid. Erinevate tsoonide temperatuuri reguleerimist juhiti ventilaatorruumides, aga temperatuuri mõõtmine hõivatud alast eemal ei ole optimaalne kuna see võib erineda mitme kraadi võrra. Akende sulatamiseks mõeldud ventilaatorid töötasid aastaringselt ning tarbisid asjatult energiat.

Olukorra parandamiseks paigaldati avalike ruumide AC olemasolevatesse kappidesse uued juhtimissüsteemid ning olemasolevad sagedusmuundurid paigutati ventilaatorite lähedusse. Välja vahetati kõik temperatuuriandurid ning lisati veel 23 tükki juurde. Akende sulatusventilaatoritele paigaldati VSD-d, mis töötavad vastavalt välistemperatuurile. AC jahutusmähistele paigaldati uued juhtventiilid, mis võimaldavad tõhusamalt temperatuuri reguleerida kasutades ära soojust kuumutus, eelsoojendus ja soojustaaste süsteemidest. Parema tulemuse saavutamiseks paigaldati igasse sisse- ja väljapuhkeventilaatorisse õhuvooluandurid (vt. joonis 9). Vajalik õhuvool mõõdeti ära ning seadmed programmeeriti madalaima võimaliku energiatarbimise peale.



Joonis 9. Avalike ruumide ventilatsioon 2019 a.
 Allikas: (eMarine Engineering Nordic AB, 2017)

Tööruumide kliimaseadmete (AC 6, AC 29, AC 52, AC 60, AC 60A, AC 66, AC 68, AC 75, AC 89, AC 102) juhtimissüsteem samuti ei töötanud korralikult. Ventilaatorite mootorid olid võimelised töötama pool ja täiskiirusel, aga enamik neist töötas täiskiirusel kuna kiiruseregulaatorid ei toimunud. Soojatagastusrattad puudusid ning nende asemel olid eelsoojendusmähised, mis pidid võtma soojusenergiat sooja vee kuumutussüsteemist, mis aga ei olnud kasutuses.

Tööruumide kliimaseadmetele paigaldati uus juhtimissüsteem ning kõikidele ventilaatoritele lisati sagedusmuundurid. Kõik temperatuuriandurid vahetati välja ning lisati juurde veel 3, millest 2 on kombineeritud tüüpi andurid ehk mõõdavad lisaks temperatuurile ka CO2 taset, tuvastamaks halba õhukvaliteeti ruumides. Iga seadme jahutusmähiste paigaldati uued juhtventiilid, mis võimaldavad tõhusamat temperatuuri reguleerimist eelsoojendamise, jahutamise ja taaskuumutamise vahel, mille tulemuseks on märkimisväärne jahutusenergia kokkuhoid suvel. Parema õhuvoolu tasakaaluks sisse- ja väljatõmbe vahel paigaldati õhuvoolulugejad.

Kajutite ja teiste kõrgrõhu kliimaseadmete (AC 9, AC 20*, AC 22*, AC 32, AC 38*, AC 54, AC 62*, AC 77, AC 79, AC 91, AC 93, AC 1, AC 40, AC 42, AC 64, AC 73) ventilaatorid

nagu ka kõigil teistel töötasid täiskiirusel ning puudus kiiruse reguleerimise võimalus, aga need seadmed varustasid oma teeninduspiirkonda õhuga kahe kanali süsteemi kaudu (külm ja soe). Ehk õhk segatakse õige temperatuuri saavutamiseks VAV ajamiga. Mõned temperatuuriandurid ei töötanud ning temperatuuri reguleerimine käsitsi paika nii, et kõigil oleks piisavalt värsket õhku, oli pea võimatu. Ükski õhuniisuti kajutis ei töötanud ja neid ei ole töösse pandud tänaseni.

Kõrgrõhu kliimaseadmetele paigaldati uus juhtimissüsteem ning kõigile ventilaatorite sagedusmuundurid. Väljatõmbe poole peale pandi rõhulugejad ning sisse- ja väljatõmbeventilaatoritele õhuvoolulugejad. Vahetati välja kõik temperatuuriandurid ning lisati valmidus õhuniisutaja kasutamiseks. Kuna antud ruumides toimus temperatuuri reguleerimine õhu segamise näol siis, parima tulemuse saavutamiseks oli vaja VAV kastidesse (vt. joonis 10) tulevad õhuvoolud tasakaalustada kuna testide tulemused näitasid, et tasakaalu enam pole.



Joonis 10. VAV kast

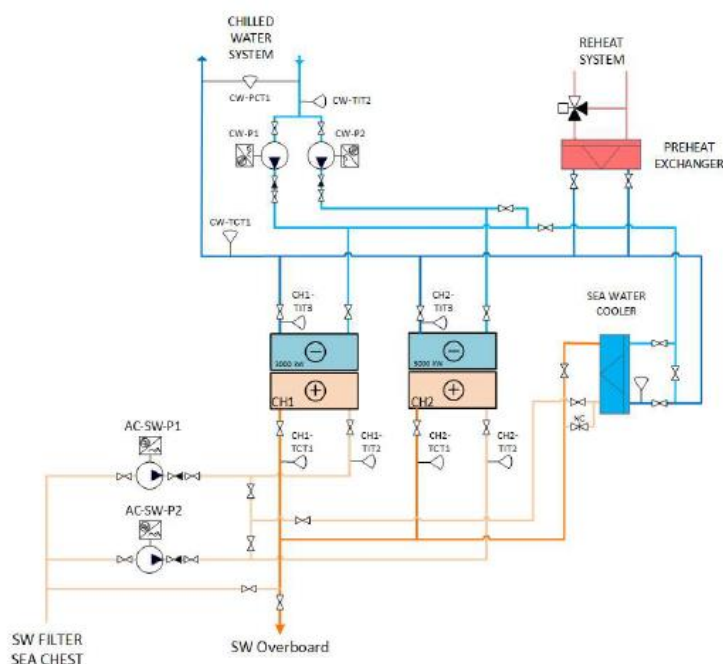
Allikas: (eMarine Engineering Nordic AB, 2017)

Probleem oli veel märgatavam, kui vähendati õhuvoolu kajutitesse, mis oli aga energiasäästuprojekti üks eesmärk.

Masinaruumi ventilatsiooni (16 ventilaatorit) juhiti keskjuhtimispuldil asuva Damatic süsteemi kaudu, olenevalt kas laev oli sadamas või merel. 13 ventilaatorit töötasid ühe kiirusega ning vaid kolmel ventilaatoril sai valida kahe kiiruse vahel. Lisaks oli veel 2 ventilaatorit jäätmeruumi sektsioonis, mida sai Damatic süsteemi kaudu vaid jälgida.

PM, AM, kütusetöötlusruumis ning AC ruumis paigaldati kõigile ventilaatoritele sagedusmuundurid. Vahetati välja ka kõik temperatuuriandurid ning PM ja AM ruumidesse lisati rõhuandurid, et masinaid automaatselt piisava õhukogusega varustada.

Silja Euroopal on palju eri suuruses pumpasid ning nende integreerimisel uude süsteemi nähti suurt potentsiaali energia säästmiseks. Soojenduspumbad ehk kuumavee pumbad HVAC süsteemis (2 tk), mõlemad 45 kW on mõeldud laeva soojendamiseks külmade välistemperatuuride ajal ning üks pumpadest töötab aastaringselt. Uues süsteemis lisati pumpadele uued sagedusmuundurid ning rõhuandurid, et kontrollida vajamineva vee kogust vastavalt vajadusele. Mõlemale AC-le on 1 merevee jahutusump ning kui AC töötab siis ka mereveepump töötab täisvõimsusel. Uues süsteemis töötab mereveepump vastavalt kondensaatorist väljuva merevee temperatuuri järgi. Selle jaoks paigaldati pumpadele sagedusmuundurid. Jahutusvee pumpasid on samuti kaks ning nad on mõeldud laeva jahutamiseks soojade temperatuuride puhul, ehk kui suvel on soe, siis pumpavad need pumbad jahutusvett läbi töötava AC süsteemi, mis jahutab jahutusvett (vt. joonis 11). Kui merevesi on piisavalt jahe siis AC seisab ning vett sealt läbi vaja lasta pole. Uues süsteemis paigaldati automaatklapid, mis reguleerivad jahutisse minevat veekogust. Rõhuandurid ja sagedusmuundurid lisati pumpadele, et kontrollida jahutusvee kogust.



Joonis 11. AC mereveepumpade ning jahutusumpade süsteem
Allikas: (eMarine Engineering Nordic AB, 2017)

Joogivee süsteemis on kaks (5 bar) pumpa 1-6 tekkidele ja kaks pumpa (7 bar) 7-13 tekk – neile kõigile lisati sagedusmuundurid. Nii madalama kui kõrgema rõhuga süsteemis töötab pidevalt üks pump ning sagedusmuunduriga loodeti vähendada pumpade koormust aegadel, millal joogivee tarbimine on väike. Samuti lisati sagedusmuundurid abikatelde toiteveepumpadele. Kuigi mõlemale katlale on 2 toiteveepumpa, siis katla kohta paigaldati sagedusmuundur vaid ühele pumbale. Kui ennem töötas üks katla pump sagedusega 50 Hz, siis möödunud aasta jooksul on pump seadistatud 30 Hz peale ja katlal veetaseme hoidmisega probleeme pole olnud.

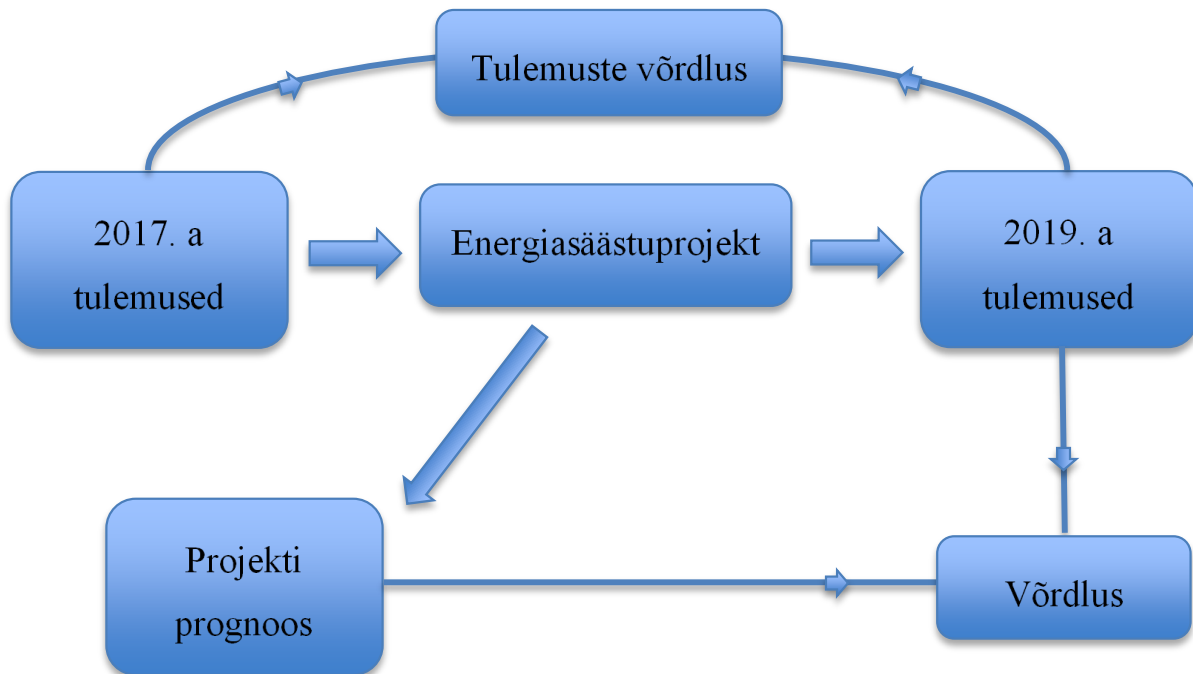
Silja Europale oli algselt ehitatud soojustaaste süsteem, mis kasutas peamasinate HT jahutusvett HVAC süsteemi vee soojendamiseks. Antud süsteem kasutuses ei olnud ning peale testimist selgus, et kõik toimib ning vajalik oli vaid uue juhtimissüsteemiga ühendamine. Samuti oli laeval süsteem, mis kasutas abimasinate HT vett kuuma joogivee soojendamiseks. Antud süsteem oli kasutuses vaid dokkides, kui abikatlad seisid ja joogivett oli vaja soojendada. Süsteem ehitati ümber abimasinate 1 ja 2 HT vee pealt masinatest tagasituleva LT vee peale. Vahetati välja osa kulunud torustikust, lisati uued käsi ning automaatklapid ning taastati soojusvahetid (5 ja 7 bar). Kuna abimasinate 1 ja 2 HT vett enam joogivee soojendamise süsteemis ei kasutatud siis lisati see HVAC soojustaaste süsteemi, kus sarnaselt peamasinate HT veega, kuumutab abimasinate HT vesi nüüd HVAC soojendusvett. Paigaldati uued klapid, ehitati uus torustik ning ühendati uue juhtimissüsteemiga. Vajadusel saab kõik eelnevalt mainitud süsteemid ringlusest eraldada klappidega.

Vana juhtimis- ja automaatsüsteem HVAC-le – Valmet Damaticu operatsioonisüsteem sisaldas väga vähe parameetreid, mis tegi juhtimise väga keeruliseks ning paljud funktsioonid ei töötanud üldse. Uus SCADA süsteem on paremini üles seadistatud ning seda on võimalik juhtida ja seadistada ka läbi interneti.

2.1 Uurimisülesannete lahendamine

Uurimisülesannete lahendamiseks vajalikud andmed on kogutud laeval igakuiselt täidetavatest statistilistest tabelitest, tehnilistest kasutusjuhenditest, punkri saatekirjadelt ja teistest laeval asuvatest dokumentidest. Ülesannetes 1–4 arvutatakse kõigepealt otsitavad väärtused 2017. a

ja 2019. a seisuga ning seejärel leitakse erinevus enne ja peale energiasäästuprojekti nii arvuliselt kui protsentuaalselt. Ülesandes 5 võrdleb magistr töö autor 2019. aasta tulemusi algse energiasäästuprojekti prognoosiga, mis näitab ära kas ja millises mahus on projekt oma eesmärgi täitnud (vt joonis 12).



Joonis 12. Uurimisülesannete lahendamine
 Autori koostatud

2.1.1 Abimasinate töötundide muutus 2017–2019

Silja Europa peal on kokku kolm abimasinat, igaüks võimsusega 3000 kW ning nende kõige tähtsam ülesanne on laeva elektrienergiaga varustamine. Abimasina töötundide üles kirjutamine toimub laeval igapäevaselt ning on väga tähtis just hooldustsüklite arvestuseks. Mida vähem peavad abimasinad töötama seda rohkem säästab hoolduste ja kütuse pealt, mistõttu on töö autor antud ülesande lahendamiseks ka valinud.

Ülesande lahendamiseks võtab töö autor kõigepealt 2017. a jaanuari kuuaruandest AM töötunnid kuu alguses ning AM töötunnid 2017. a detsembri kuuaruandest kuu lõpus (vt tabel 4).

Et saada iga AM töötunnid 2017. aasta lõikes tuleb lahutada aasta lõpu töötundidest aasta alguse omad.

$$\text{AM 1} = 140\,780 - 135\,394 = 5386 \text{ (h)};$$

$$\text{AM 2} = 103\,314 - 97\,264 = 6050 \text{ (h)};$$

$$\text{AM 3} = 189\,064 - 183\,001 = 6063 \text{ (h)}.$$

Tabel 4. Abimasinate töötunnid 2017 aastal

Abimasinad	Töötunnid 2017. aasta alguses (h)	Töötunnid 2017. aasta lõpus (h)	Töötunnid 2017. aastal (h)
AM 1	135 394	140 780	5386
AM 2	97 264	103 314	6050
AM 3	183 001	189 064	6063
Kokku			17 499

Autori koostatud

Peale iga AM töötundide leidmist tuleb need kokku liita, et teada saada mitu tundi AM-d 2017. aastal töötasid.

$$\text{AM töötunnid kokku 2017. aastal} = 5386 + 6050 + 6063 = 17\,499 \text{ (h)}.$$

Järgmisena on vaja leida AM töötunnid 2019. aastal. Töötundide leidmiseks võetakse andmed 2019. aasta kuaruannetest ning kasutatakse sama meetodit nagu 2017. aasta töötundide leidmisel (vt tabel 5).

AM töötundidest 2019. aasta lõpus lahutatakse töötunnid 2019. aasta alguses.

$$\text{AM 1} = 149\,550 - 145\,037 = 4513 \text{ (h)}$$

$$\text{AM 2} = 112\,393 - 107\,863 = 4530 \text{ (h)}$$

$$\text{AM 3} = 201\,190 - 196\,519 = 4671 \text{ (h)}$$

$$\text{AM kokku 2019. aastal} = 4513 + 4530 + 4671 = 13\,714 \text{ (h)}$$

Tabel 5. Abimasinate töötunnid 2019. aastal

Abimasinad	Töötunnid 2019 aasta alguses (h)	Töötunnid 2019 aasta lõpus (h)	Töötunnid 2019 aastal (h)
AM 1	145 037	149 550	4513
AM 2	107 863	112 393	4530
AM 3	196 519	201 190	4671
Kokku			13 714

Autori koostatud

Viimasena tuleb arvutada palju on muutunud AM töötunnid 2019 aastal võrdluses 2017 aastaga. Selle jaoks on vaja lahutada 2019 a. töötundidest 2017 a. töötunnid (vt. tabel 6).

$$AM\ 1 = 4513 - 5386 = -873\ (h); \frac{-876 \cdot 100}{5386} = -16,21\%$$

$$AM\ 2 = 4530 - 6050 = -1520\ (h); \frac{-1520 \cdot 100}{6050} = -25,12\%$$

$$AM\ 3 = 4671 - 6063 = -1392\ (h); \frac{-1392 \cdot 100}{6063} = -22,96\%$$

$$AM\ Kokku = 13\ 714 - 17\ 499 = -3785\ (h); \frac{-3785 \cdot 100}{17499} = -21,63\%$$

Tabel 6. AM töötundide võrdlus

Abimasinad	Töötunnid 2017. aastal (h)	Töötunnid 2019. aastal (h)	Erinevus (h)	Erinevus (%)
AM 1	5386	4513	-873	-16,21
AM 2	6050	4530	-1520	-25,12
AM 3	6063	4671	-1392	-22,96
Kokku	17 499	13 714	-3785	-21,63

Autori koostatud

Silja Europa abimasina hoolduskulu iga töös oleva tunni kohta on 20 € (eMarine, 2017). Kuna on teada, mitu tundi vähem AM-d 2019. aastal töötasid, siis on võimalik arvutada, kui suur summa hoitakse aasta jooksul kokku hoolduskuludelt.

$$\text{Säästetud summa hoolduskuludelt} = 20 * 3785 = 75\ 700\ (EUR)$$

2.1.2 Kütusekulu ja energiakulu arvutamine

Silja Europa kütust tarbivad seadmed on neli peamasinat, kolm abimasinat, kaks katelt ning mingi osa kütusest kulub kütusepuhastusseadmetes. Antud alapeatüki ülesandeks on välja arvutada kütusekulu ning energiatõhusus 2017. ja 2019. aastal ning võrrelda 2019. aasta tulemusi 2017. aasta omadega arvuliselt ja protsentuaalselt. Andmed kütusekulu ja efektiivsuse arvutamiseks võetakse laeva kuuaruannetest.

2017. ja 2019. aasta kütusekulu leidmiseks tuleb kokku liita iga kuu kütusekulu. Kütusekulu on arvestatud tonnides. Järgmisena arvutab töö autor, kui palju on muutunud kütusekulu 2019. aastal võrreldes 2017. aastaga. Selle jaoks tuleb 2019. aasta kütusekulust lahutada 2017. aasta kütusekulu (vt. tabel 7).

$$11\,092,841 - 13\,256,201 = -2163,360 \text{ (t)}; \frac{-2163,360 \cdot 100}{13\,256,201} = -16,32\%$$

Tabel 7. 2017 ja 2019 kütusekulu

Periood	2017 (t)	2019 (t)	Muutus (t)	Muutus (%)
Jaauar	1103,680	924,084	-179,596	-16,27
Veebruar	987,580	821,475	-166,105	-16,82
Märts	1081,990	854,300	-227,690	-21,04
Aprill	1043,990	792,948	-251,042	-24,05
Mai	1031,321	875,655	-155,666	-15,09
Juuni	1172,400	932,747	-239,653	-20,44
Juuli	1329,720	1306,728	-22,992	-1,73
August	1151,640	1069,319	-82,321	-7,15
September	1052,970	870,299	-182,671	-17,35
Oktoober	1079,340	894,549	184,791	-17,12
November	1103,060	865,259	-237,801	-21,56
Detsember	1118,690	885,478	-233,212	-20,85
Aasta	13 256,201	11 092,841	-2163,360	-16,32

Autori koostatud

2017. aastal läbis Silja Europa 35766,57 nm ja 2019. aastal 110,93 nm rohkem ehk 35877,5 nm. Et leida, kui palju oleks kütusekulu 2019. aastal vähenenud samade läbitud miilide puhul, tuleb kõigepealt enam läbitud meremiilid läbi korrutada peamasinatate keskmise kütusekuluga

meremiili kohta. Läbi tuleb korrutada ainult peamasinate kütusekuluga kuna teised seadmed töötavad olenemata sellest kas laev liigub või mitte. Keskmise peamasinate kütusekulu oli 175 kg/nm, seega $110,93 * 175 = 19\,412,75$ (kg) ehk 19,4 tonni. Järgmisena tuleb liita 2019. aastal vähenenud kütusekulule veel 19,4 tonni, et teada saada palju oleks kütusekulu vähenenud samade läbitud miilide puhul. $2163,36 + 19,4 = 2182,76$ t.

Kuna on teada läbitud vahemaad 2017. ja 2019. aastal, siis on võimalik arvutada (vt. valem 1) ka keskmine kütusekulu iga kilomeetri kohta. Silja Europa sõidab ööpäevas keskmiselt seitse tundi ja ülejäänud aja seisab kai ääres. See tähendab, et järgnevad arvutused ei kirjelda keskmist kütusekulu ülesõitude ajal, vaid terve aasta vältel.

$$\text{Keskmine kütusekulu} = \frac{\text{Kulutatud kütus}}{\text{Läbitud vahemaa}} \quad (1)$$

1 meremiil vastab 1,852 kilomeetrile (International Committee for Weights and Measures 2006, 127). Seega 35 766,57 nm on teisendatuna 66 239,69 km ja 35 877,5 nm on 66 445,13 km.

$$\text{2017 keskmine kütusekulu} = \frac{13\,256\,201}{66\,239,69} = 200,12 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$$

$$\text{2019 keskmine kütusekulu} = \frac{11\,092\,841}{66\,445,13} = 166,95 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$$

Transpordi energiatõhusus on reisijate, kaupade või mis tahes tüüpi veose kasulik läbitud vahemaa jagatud veojõuseadmetesse pandud koguenergiaga (m/J). Olenevalt jõust võivad energia sisendid olla erinevat tüüpi ja tavaliselt esitatakse selline energia vedelate kütuste, elektrienergia või toiduenergiana. Energiatõhusust kirjeldatakse sageli kütusekulu järgi, kütusekulu on seotud vedelkütuseid kasutatava tõukejõuga, aga energiatõhusus on rakendatav mis tahes tüüpi käituritele. Segaduse vältimiseks ja selleks, et oleks võimalik võrrelda igat tüüpi sõidukite energiatõhusust, kipuvad eksperdid energiat mõõtma rahvusvahelises ühikute süsteemis ehk džaulides. Energiatõhususe pöördväärtus on energiakulu ja seda mõõdetakse džaulides meetri kohta (J/m) ehk mida tõhusam on sõiduk seda vähem džauli ta ühe meetri läbimiseks kasutab. Transpordi energiatõhusus varieerub transpordiliikide lõikes suuresti. Erinevat tüüpi transpordivahendid ulatuvad mõnest sajast kilodžaulist kilomeetri kohta jalgrattal kuni kümnete megadžaulideni kilomeetri kohta helikopteril. (Wikipedia, 2020).

Eelnevalt on arvatatud kütusekulu 2017. ja 2019. aastal. Et arvutada energiakulu KJ/t*km (vt. valem 4) ja KJ/pax*km (vt. valem 3) kohta on vaja kõigepealt leida aastane kütusekulu ka liitrites (vt valem 2). Silja Euroopal kasutatava kütuse keskmine tihedus on 0,89 kg/m³ kohta.

$$\text{Aastane kütusekulu liitrites} = \frac{\text{Aastane kütusekulu (kg)}}{\text{Kütuse tihedus (kg/m}^3\text{)}} \quad (2)$$

$$2017 \text{ kütusekulu liitrites} = \frac{13\,256\,201}{0,89} = 14\,894\,608$$

$$2019 \text{ kütusekulu liitrites} = \frac{11\,092\,841}{0,89} = 12\,463\,866$$

2017. aastal vedas Silja Europa 1 252 852 reisijat ja 465 457 tonni kaupa. Kasutatava kütuse energiatihedus on 40,6 MJ/l. 40,6 MJ/l = 40 600 KJ/l

$$\text{Energiakulu reisija kohta} = \frac{\text{Aastane kütusekulu (l)} * \text{Kütuse energiatihedus (KJ)}}{\text{Reisijate arv (pax)} * \text{läbitud vahemaa (km)}} \quad (3)$$

$$\text{Energiakulu reisija kohta} = \frac{\text{Aastane kütusekulu (l)} * \text{Kütuse energiatihedus (KJ)}}{\text{Kauba kogus (t)} * \text{läbitud vahemaa (km)}} \quad (4)$$

$$2017 \text{ energiakulu reisija kohta} = \frac{14\,894\,608 * 40\,600}{1\,252\,852 * 90,74} = 5319 \frac{\text{KJ}}{\text{pax} * \text{km}}$$

$$2017 \text{ energiakulu kauba kohta} = \frac{14\,894\,608 * 40\,600}{465\,457 * 90,74} = 14\,317 \frac{\text{KJ}}{\text{t} * \text{km}}$$

2019. aastal vedas Silja Europa 1 260 253 reisijat ja 415 382 tonni kaupa ning kasutatav kütus oli sama mis 2017. aastal.

$$2019 \text{ energiakulu reisija kohta} = \frac{12\,463\,866 * 40\,600}{1\,260\,253 * 91,02} = 4411 \frac{\text{KJ}}{\text{pax} * \text{km}}$$

$$2019 \text{ energiakulu kauba kohta} = \frac{12\,463\,866 * 40\,600}{415\,382 * 91,02} = 13\,384 \frac{\text{KJ}}{\text{t} * \text{km}}$$

2019. aastal kulutas Silja Europa inimese transportimise jaoks kilomeetri kohta 5319 – 4411 = 908 KJ ja kauba transportimiseks kilomeetri kohta 14 317 – 13 384 = 933 KJ vähem energiat kui 2017. aastal (vt. tabel 8).

Tabel 8. Kütuse- ja energiakulu

Aasta	Kütusekulu (l/km)	Energiakulu (KJ/t*km)	Energiakulu (KJ/pax*km)
2017	224,86	14 317	5319
2019	187,63	13 384	4411

Autori koostatud

Energiakulu 2017. aastal oli $40,6 * 14\,894\,608 = 604\,721\,085$ (MJ) ja 2019. aastal $40,6 * 12\,463\,866 = 506\,032\,960$ (MJ)

2.1.3 Kasvuhoonegaaside arvutamine

Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni (IMO) kolmanda kasvuhoonegaaside uuringu kohaselt põhjustab rahvusvaheline meretransport umbes 2,5 protsenti kogu maailma KHG heitkogustest, eraldades iga aasta ligikaudu 1000 miljonit tonni süsinikdioksiidi atmosfääri ning sellise trendi jätkudes kasvaksid meretranspordi KHG heitkogused 2050. aastaks 50 kuni 250 protsenti. (Keskkonnaministeerium, 2019).

Silja Euroopal läbi viidud energiasäästuprojekti üheks eesmärgiks oli ka KHG heitkoguste vähendamine. Uurimisülesandes arvutab töö autor, kui palju CO₂ ja NO_x heitgaase Silja Euroopa 2017. ja 2019. aastal atmosfääri paiskas ning võrdleb saadud tulemusi. Heitgaaside koguste g/pax*km ja g/t*km arvutused põhinevad MEPC/Circ.471 meetodil (IMO, 2005).

Esimesena arvutatakse valitud aastate lõikes tekitatud CO₂ koguste hulk (vt. valem 5), siis keskmine CO₂ kogus reisija transportimiseks 1km (vt. valem 6) ja keskmine CO₂ kogus tonn kauba transportimiseks 1 km (vt. valem 7).

$$\text{CO}_2\text{väljalaskekogus aasta lõikes} = \text{kütusekulu(t)} * \text{CO}_2\text{väljalaske koefitsent} \quad (5)$$

$$\text{CO}_2\text{ väljalaskekogus 2017.a} = 13256,201 * 3114400 = 41\,285\,112\,394,4 \text{ g} = 41\,285,11 \text{ t}$$

$$\text{CO}_2\text{ väljalaskekogus 2019.a} = 11\,092,841 * 3\,114\,400 = 34\,547\,544\,010,4 \text{ g} = 34\,547,54 \text{ t}$$

$$\text{CO}_2\text{ heitetegur (g/pax * km)} = \frac{\text{kütusekulu(t)} * \text{CO}_2\text{ väljalaske koefitsent}}{\text{transporditud inimesed} * \text{läbitud vahemaa(km)}} \quad (6)$$

$$\text{CO}_2\text{ heitetegur 2017. aastal (g/pax * km)} = \frac{41\,285\,112\,394,4}{1252852 * 90,74} = 363,157$$

$$\text{CO}_2 \text{ heitetegur 2019. aastal (g/pax * km)} = \frac{34\,547\,544\,010,4}{1\,260\,253 * 91,02} = 301,176$$

$$\text{CO}_2 \text{ heitetegur (g/t * km)} = \frac{\text{kütusekulu(t) * CO}_2 \text{ väljalaske koefitsent}}{\text{transporditud kaup * läbitud vahemaa(km)}} \quad (7)$$

$$\text{CO}_2 \text{ heitetegur 2017. aastal (g/t * km)} = \frac{41\,285\,112\,394,4}{465457 * 90,74} = 977,496$$

$$\text{CO}_2 \text{ heitetegur 2019. aastal (g/t * km)} = \frac{34\,547\,544\,010,4}{415\,382 * 91,02} = 913,761$$

2019. aasta tulemusi võrreldakse 2017. aasta tulemustega ning leitakse erinevus arvuliselt ja protsentuaalselt. Erinevuse leidmiseks lahutatakse 2019. aasta tulemustest 2017. aasta omad (vt. tabel 9)

Tabel 9. CO₂ kogused

	2017. aasta	2019. aasta	Erinevus	Erinevus (%)
CO ₂ väljalaskekogus (t)	41 285,11	34 547,54	-6 737,57	-16,32
CO ₂ (g/pax*km)	363,157	301,176	-61,981	-17,07
CO ₂ (g/t*km)	977,496	913,761	-63,735	-6,52

Autori koostatud

Laevadel kasutatav kütus sisaldab, olenevalt kütuse kvaliteedist, teatud määral väävlit. Peale põlemisprotsessi lõppu sattub heitgaasides olev väävel atmosfääri. Vääveloksiid on kahjulik inimeste tervisele, põhjustades hingamisraskusi ja teisi kopsuhaigusi. Atmosfääris võib vääveloksiid põhjustada happelihmasid, mis kahjustavad viljapõldusid, metsasid ja ka merefaunat, kuna merevesi muutub happelisemaks. (IMO, 2020)

Et teada saada, kui palju on muutunud SO_x kogus Silja Europol peale energiasäästuprojekti lõpetamist, on vaja järgnevaid andmeid: väävli osakaal kütuses – 1%; väävli molaarmassi suhe – 2; kütuse kogus; läbitud vahemaa; transporditud inimeste arv ning transporditud kauba kogus tonnides. Kõigepealt arvutatakse aastane väävlikogus (vt. valem 8), seejärel SO_x kogus g/pax*km (vt. valem 9) ning viimasena SO_x kogus g/t*km (vt valem 10).

$$\text{Aastane SO}_x \text{ kogus} = \text{kulutatud kütus (g)} * \text{väävliisaldus kütuses} * \text{väävli molaarmassi suhe} \quad (8)$$

$$\text{2017. aasta SO}_x \text{ kogus} = 13\,256\,201\,000 * 0,01 * 2 = 265\,124\,020 \text{ g} = 265,12 \text{ t}$$

2019. aasta SO_x kogus = 11 092 841 000 * 0,01 * 2 = 221 856 820 g = 221,86 t

$$\text{SO}_x \text{ heitetegur (g/pax * km)} = \frac{\text{kulutatud kütus (g)*väävlisisaldus *väävli molaarmassi suhe}}{\text{transporditud inimesed*läbitud vahemaa}} \quad (9)$$

$$2017. \text{ aasta SO}_x \text{ heitetegur (g/pax * km)} = \frac{265\,124\,020}{1\,252\,852 * 90,74} = 2,332$$

$$2019. \text{ aasta SO}_x \text{ heitetegur (g/pax * km)} = \frac{221\,856\,820}{1\,260\,253 * 91,02} = 1,934$$

$$\text{SO}_x \text{ heitetegur (g/t * km)} = \frac{\text{kulutatud kütus (g)*väävlisisaldus *väävli molaarmassi suhe}}{\text{transporditud kaup*läbitud vahemaa}} \quad (10)$$

$$2017. \text{ aasta SO}_x \text{ heitetegur (g/t * km)} = \frac{265\,124\,020}{465\,457 * 90,74} = 6,277$$

$$2019. \text{ aasta SO}_x \text{ heitetegur (g/t * km)} = \frac{221\,856\,820}{415\,382 * 91,02} = 5,868$$

Leidmaks, kui palju on muutunud SO_x kogused peale energiasäästuprojekti, on vaja 2019. aasta tulemustest lahutada 2017. aasta omad (vt. tabel 10).

Tabel 10. SO_x kogused

	2017. aasta	2019. aasta	Erinevus	Erinevus (%)
SO _x väljalaskekogus (t)	265,12	221,86	-43,26	-16,32
SO _x (g/pax*km)	2,332	1,934	-0,398	-17,07
SO _x (g/t*km)	6,277	5,868	-0,409	-6,52

Autori koostatud

2.1.4 Projekti prognoosi võrdlus tegelike tulemustega

Energiasäästu potentsiaal Silja Europa peal 2017. aastal oli suur ning potentsiaali kirjeldamiseks tegi eMarine projekti tasuvusprognoosi, mida antud ülesandes töö autor võrdleb tegelike tulemustega 2019. aastal. Tasuvusprognoosist võib aru saada kui lubadusest töö tulemuslikkusest ning see on kindlasti väga oluline töösse minevate projektide valimisel. Ülesande tulemusena saab näha, kas projekt on ootusi ületanud või jääb neile alla.

Projektis prognoositud abimasinate vähenenud töötundide arv on 4376, mis tähendab, et aastas säästetakse hoolduskulude pealt 87 520 eurot. Tegelikult töötasid abimasinad vähem 3785 tundi, mis teeb hoolduskuludelt säästetavaks summaks 75 700 eurot – see on 591 tundi ja 11 820 eurot vähem, ehk prognoosi täituvus on 86,49 % (vt. Tabel 11).

Tabel 11. AM töötundide võrdlus prognoosiga

	Prognoos	Tegelik tulemus	Erinevus	Täituvus (%)
AM vähenenud töötunnid (h)	4 376	3 785	-591	86,49
AM vähenenud hoolduskulud (€)	87 520	75 700	-11 820	86,49

Autori koostatud

Prognoositud aastane kütusekulu sääst oli 2621,9 tonni. Tegelikult säästeti aasta jooksul 2163,4 tonni kütust. See on 458,5 tonni vähem, mistõttu on prognoosi täituvus 82,51%. Kuna CO₂ kogused sõltuvad otseselt kulutatud kütusest, siis ei vähenenud ka CO₂ kogused niipalju kui prognoositi (vt. lisaks tabel 12).

Tabel 12. Kütusekulu ja CO₂ võrdlus prognoosiga

	Prognoos	Tegelik tulemus	Erinevus	Täituvus (%)
Vähenenud kütusekulu (t)	2621,9	2163,4	-458,5	82,51
Vähenenud CO ₂ kogus (t)	7591,0	6737,6	-853,4	88,75

Autori koostatud

Teadagi on kütusekogused, seega on võimalik arvutada ka säästetud kütuse rahaline väärtus ja võrrelda seda prognoositud tulemusega (vt. tabel 13). Prognoosis arvutusteks kasutatud kütuse hind oli 400 €/t, mis tegi aastaseks kütuse pealt säästetavaks summaks 1 048 760 eurot. Kui sellele liita AM hoolduskuludelt säästetav summa, oli projekti prognoositud aastane rahaline sääst eurodes 1 136 260. Tegelik rahaline sääst kütuse pealt oli $400 * 2163,36 = 865 344$ € ja koos AM hoolduskuludelt säästetava rahaga teeb see kogusummaks $865 344 + 75 700 = 941 044$ €.

Tabel 13. Tegelikult säästetud raha võrdlus prognoosiga

	Prognoos	Tegelikult	Erinevus (€)	Täituvus (%)
Säästetud raha kokku	1 136 260	941 044	-195 216	82,82

Autori koostatud

Ettevõtetes arvutatakse tihti investeeringute tootlust (ROI) projektide valimisel või investeeringu tulumäära arvutamisel. Mida suurem on tootlus seda kasulikum projekt on. (Chen, 2020)

ROI arvutamiseks on vaja teada investeeringust saadavat kasumit ning jagada see investeeringu maksumusega. Prognoositud ROI oli 75,83% ning tegelik 62,81%. Samade andmetega on võimalik arvutada ka projekti tasuvusaeg, mis prognoosis oli 1,32 aastat. Tegelik tasuvusaeg tavalise sõidugraafiku juures on 1,59 aastat ehk umbes kolm kuud pikem.

3 Tulemuste analüüs

Esimese ülesandena arvutas magistritöö autor AM töötunnid enne ja peale energiasäästuprojekti. 2017. a töötasid AM-d kokku 17 499 tundi. Kõige rohkem töötas AM 3 (6063 tundi) ning kõige vähem AM 1 (5386 tundi). Kokku oli AM 3 2017. a lõpuks töötanud 189 064 tundi, mis on vastavalt 48 284 ja 85 750 tundi rohkem kui AM 1 ja 2.

Suur töötundide vahe tuleneb sellest, et AM 3-l on eraldiseisev kütuse- ja jahutusvee süsteem esimesest ja teisest. See tähendab, et palju ohutum on paralleelis lasta töötada masinatel 1-3 või 2-3. Lisaks on AM 3 ainuke, mis ühendab ennast automaatselt parema parda toitekilpi – AM-te paralleelseks tööks peab üks AM töötama vasakust pardast ja teine paremast.

2019. a töötasid AM-d kokku 13 714 tundi, kõige rohkem töötas AM 3 (4671 tundi) ning kõige vähem AM 1 (4513 tundi). See tähendab, et AM-te töötunnid vähenesid võrreldes 2017. aastaga 3785 tunni võrra ehk 21,63%. Kõige rohkem vähenesid AM 2 töötunnid (25,12%). Arvestades, et iga AM töötund tähendab 20 eurost kulutust hooldusele, säästeti 2019. aastal 75 700 € hoolduskuludelt.

Kuna vähenesid AM töötunnid, oli juba selle põhjalt alust arvata, et vähenenud oli nii kütuse- kui energiakulu. 2017. a kulus 13 256,201 tonni kütust. Kõige rohkem kulus kütust juulis (1329,720 t) ja kõige vähem veebruaris (987,58 t). 2019 a. kulus 11 092,841 tonni kütust, mis on 2163,36 t vähem kui 2017 aastal. Kõige rohkem kulus kütust juulis (1306,728 t) ja kõige vähem aprillis (792,948 t). Teades aastast läbitud vahemaid, siis oli võimalik arvutada ka keskmine kütusekulu. 2017. a oli keskmine kütusekulu 224,86 l/km ja 2019 a. 187,63 l/km. Tähendab, et keskmine kütusekulu aastast vähenes 16,58%

Tulemustest saab välja lugeda ka, et kõige suurem kütusekulu on suvekuudel (juuni, juuli, august), kus sooja ilma tõttu võivad korruga kasutuses olla mõlemad energiakulud AC masinad. Samuti toimusid suvel mitmed erikriisid, mistõttu läbiti suuremaid vahemaid kui teistel kuudel.

2017. a vedas Silja Europa 1 252 852 reisijat. Energiakulu reisija kohta oli $5319 \frac{\text{KJ}}{\text{pax*km}}$. Kaupa veeti 465 457 t, mis tegi energiakuluks $14 317 \frac{\text{KJ}}{\text{t*km}}$. 2019 a. veeti 1 260 253 reisijat ning

energiakulu reisija kohta vähenes, saades uueks väärtuseks $4411 \frac{\text{KJ}}{\text{pax*km}}$. Võrdlusena kulutab jalgratas $18 \frac{\text{KJ}}{\text{pax*km}}$ ning käimine $220 \frac{\text{KJ}}{\text{pax*km}}$ (Wikipedia, 2020). Vähenes ka energiakulu tonn kauba kilomeetri kohta 13 384 kilodžaulini, hoolimata sellest, et transporditud kauba kogus langes 415 382 tonnini.

Väljalaskegaaside CO₂ ja SO_x heitkogused sõltuvad kulutatud kütuse kogusest ning see tähendab, et protsentuaalselt pidid väljalaskegaasid vähenema sama palju kui kütusekulu ehk 16,32%. 2017. aastal ulatus CO₂ heitgaaside kogus 41 285,11 tonnini. 2019. aastal vähenes CO₂ kogus 6737,57 tonni võrra 34 547,54 tonnini, kuigi läbitud kilometraaž suurenes üle 200 km.

CO₂ heitetegur g/pax*km (mitu grammi CO₂ tekitati 1 reisija vedamisel 1 km) oli 2017. aastal 363,157 ning 2019. aastal juba 301,176. Võrdluseks võib välja tuua, et 100 000+ GT kruisilaeval on sama tegur 198,8 (vt. joonis 13).

A=100000+ GT; B=60000-99999 GT; C=10-59999 GT; D=2000-9999 GT

Ship number	Ship category	kg CO ₂ per passenger-day	g CO ₂ per passenger-kilometre	ALB [®] occupancy rate (%)
1	A	93.0	198.8	108.4
2	B	200.1	427.5	112.4
3	B	185.2	395.7	107.1
4	B	214.3	458.0	109.4
5	B	243.6	520.5	101.0
6	B	260.2	556.0	105.5
7	C	368.8	788.2	64.5
8	C	202.3	432.2	91.3
9	C	214.0	457.3	94.6
10	C	227.6	486.2	97.7
11	C	170.0	363.2	90.5
12	C	231.9	495.4	65.8
13	C	434.3	928.1	69.7
14	C	236.6	505.5	92.9
15	C	173.5	370.8	84.0
16	C	336.3	718.5	96.4
17	C	201.2	429.8	105.8
18	C	235.1	502.3	97.1
19	C	115.7	247.3	108.9
20	C	348.2	745.3	86.0
21	C	246.5	526.3	93.6
22	C	227.2	485.5	84.6
23	C	615.7	1,314.5	60.0
24	D	93.9	200.7	78.0
25	D	134.1	286.6	102.6
26	D	338.4	723.0	61.7
27	D	337.9	722.8	87.2
28	D	392.8	838.2	102.4

Joonis 13. Kruisilaevade CO₂ väljalasketasemed g/pax*km
Allikas: (Walnum 2019, 13)

CO₂ heitetegur g/t*km (mitu grammi CO₂ tekitati 1 tonni kauba vedamisel 1 km) oli 2017. aastal 977,496 ning 2019 aastal 913,761. CO₂ heitetegur g/t*km vähenes vaid 6,5%, aga see oli tingitud kaubakoguse vähenemisest 2019. a 50 075 tonni võrra. Võrdluseks kogu kaubalaevastiku keskmine näitaja on 14.0 (vt. tabel 14).

Tabel 14. CO₂ väljalasketasemed g/t*km

	gCO ₂ /tonne-km	Source
Väikesed tankerid	20	DEFRA
Suured tankerid	5	DEFRA
Süvamere tankerid	5	NTM
Väikesed puistlastilaevad	11	DEFRA
Suured puistlastilaevad	7	DEFRA
Väikesed konteinerlaevad	13,5	DEFRA
Suured konteinerlaevad	11,5	DEFRA
Merenduse keskmine	14	TRENDS

Allikas: (ECTA, 2011)

2017. a atmosfääri paisatud SO_x kogus oli 265,12 tonni. 2019. a vähenes SO_x kogus 43,26 t 221,86 tonnini. SO_x heitenäitaja g/pax*km langes 2019. a 0,398 võrra 1,934-ni ning g/t*km langes 5,868-ni. Mõlemad näitajad võivad tunduda väga väikesed ja muutus minimaalne, aga tegelikult tähendab 0,398 grammine muutus inimese kohta, aastas 43,26 tonnist vähenemist SO_x kogustes (vt. tabel 15).

Tabel 15. Projekti tulemused

	Kokkuhoid	Kokkuhoid võrreldes 2017. aastaga (%)
Raha (€)	941 044	-
Kütusekulu (t)	2163,4	16,32
CO ₂ (t)	6737,6	16,32
SO _x (t)	43,26	16,32
AM töötunnid (h)	3785	21,63

Autori koostatud

Kuigi projekt oli väga edukas, jäi tegelik tulemus prognoositud tulemustele mõnevõrra alla. AM töötunnid vähenesid 3785 tunni võrra, kuigi prognoositi, et vähenevad 4376 tunni võrra – see tähendab, et prognoosile jäädi alla 591 tunniga. Kütusekulu vähenes 2163,4 t võrra, mis on

458,5 t vähem kui oodati ning CO₂ kogused vähenesid 853,4 tonni võrra vähem. Projektijärgsel ajal oli oodata väga suurt rahalist säästu aastas, prognoosi järgi 1 136 260 €. Tegelikult säästeti 941 044 €, mis on 195 216 € lubatust vähem (vt. lisaks tabel 16). Kuna tegelik rahaline sääst oli väiksem, siis pikenes ka projekti tasuvusaeg kolme kuu võrra 1,59 aastani.

Tabel 16. Projekti prognoosi täituvus

	Vahe prognoosiga	Prognoosi täituvus (%)
Raha (€)	-195 216	82,82
Kütusekulu (t)	-458,5	82,51
CO ₂ (t)	-853,4	88,75
AM töötunnid (h)	-591	86,49

Autori koostatud

Nagu juba ka eespool mainitud, on projekt olnud väga edukas. Kõikide uurimisülesannete tulemused näitavad 16,32–21,63% langust võrreldes projektieelse aastaga. Kahjuks, aga ei ole tegelikud tulemused küündinud projektis prognoositud tulemusteni, täites prognoose, olenevalt uurimisülesandest 82-89% ulatuses.

3.1 Märkused projekti kohta

Energiasäästuprojekti raames lisati kõigile neljale joogivee süsteemis olevatele (5 ja 7 bar) pumpadele sagedusmuundurid ning vahetati välja ülevoolu rõhuklapid kõrgema rõhu omade vastu. Eesmärk oli vähendada töötavate pumpade koormust. Plaan oli, et kui veetarbimine väheneb, siis langetab sagedusmuundur pumpade elektrimootoritel sagedust ning pumbad suudavad väiksema pöörlemiskiiruse juures hoida ette seatud rõhku. Soovitud tulemust saavutatud ei ole, kuna pumba mootorid töötavad ikkagi sagedusel 47-50 Hz, et vaja minevat rõhku hoida – see tähendab, et neli sagedusmuundurit, mis paigaldati, ei teeni ühtegi eesmärki peale pumba käivituskoormuse alandamise. Pumbad, aga töötavad pikaajaliselt ning ümberlülitusi toimub minimaalselt. Lisaks, kui on vajalik kiire pumpade ümberlülitus, siis aeglaselt kiirust koguva pumba puhul võib tekkida olukord, kus toitevee toru jääb veest tühjaks. Seejärel on vaja tegeleda süsteemis oleva õhu välja saamisega (eriti kui vett võetakse põhjatankidest). Ehk lisaks *top up* pumpadele peab ka käsitsi õhku pumba pealt välja laskma või pumbale käsitsi vett lisama. Laeva meeskond on otsinud põhjust koos eMarine

inseneridega, miks pumbad väiksema tarbimise juures madalama sagedusega rõhku ei suuda hoida. Uurimise käigus on kontrollitud õhulekkeid pumpade juurest, toitevee torustiku olukorda ning imitorusid veetankides. Välja on vahetatud klappid, millel oli lekke kahtlusi, kuid seni tulemusi näha veel pole.

Enne projekti algust soojustaaste süsteemid, nagu peamasinade HT vee kasutamine HVAC soojendusvee kuumutamiseks, kasutuses ei olnud. Joogivee soojendamise võimalust abimasinate HT veega kasutati vaid dokis. Üks põhjustest, miks antud süsteemid pidevat kasutust ei leidnud, võib olla, et lihtsalt ei pööratud varem tähelepanu energia säästmisele. Teine põhjus võib olla masinate tööohutuse kaalutlusel. HT vesi jahutab silindri hülssi, silindri kaant ning väljalaskeklappe. Kui HT vee temperatuur tõuseb liiga kõrgeks, näiteks põhjusel, et süsteemist on HT vesi kadunud või rõhku enam pole, siis jääb masin seisma. Seisma jääb masin, kuna jahutust enam pole ning edasine töötamine tähendaks masinale suurt ohtu, sest soojuspaisumise mõjul võivad kolvid hakata kraapima silindrihülssi või kinni kiiluda, kepsupoldid katki minna, keps läbi painduda jpm. HT vee kasutamine teistes süsteemides eeldab palju rohkem torustikke, klappe ja soojusvaheteid – seega on ka suurem võimalus, et HT vesi kuskilt lekkima võib hakata.

Uus juhtimissüsteem masinaventilatsioonile on palju mugavam, rohkemate parameetrite ja seadistusvõimalustega kui varasem. Kuid osades olukordades ei tööta süsteem nii nagu vaja oleks. Kui peamasinad töötavad, siis on tihti peale vaja panna ventilaatoritele juhtpuldist käsitsi tootlikust juurde, kuna seadistatud rõhu järgi programm loeb, et õhku juurde vaja pole, kuigi tegelikult on. Samuti on jäänud mulje, et süsteem ei tunneta ära automaatselt, kui laeva peamasinad töötavad või seisavad, mistõttu on vajalik käsitsi vahetada sadama või mere režiimi vahel. Ka mõned joonised on kohati valesti tehtud ning üksikud indikatsioonid valetavad. Näiteks PM-te ventilatsiooni juhtimise leheküljel näitab süsteem, et kaks PM koguaeg töötavad ja kaks koguaeg seisavad. Kuigi ei ole raske mainitud operatsioone läbi viia käsitsi juhtimisel, siis võiks süsteem loodud võimaluste juures ka automaatselt toimida.

Üleüldine hinnang eMarine tehtud tööle on kindlasti positiivne. Tööd tehti vastavalt planeeritud graafikule ning insenerid olid tasemel. Tänu uuele SCADA operatsioonisüsteemile toimub HVAC jälgimine ja teenindus läbi interneti. Märkates muutusi süsteemis, võetakse ühendust laeva meeskonnaga ning küsimuste tekkimisel vastab eMarine kiiresti.

3.2 Teised lahendused

Silja Euroopal on 4 utiilkatelt (iga PM kohta üks utiil), millest vähemalt kaks hoitakse koguaeg töös. Utiilid kasutavad ära PM-te väljalaske gaaside soojusenergiat, millega kuumutatakse sealt läbipumbatavat katlavett, tekitades auru. Silja Europa teeb regulaarsel liinil sõites kaks ülesõitu päevas. Ülesõidul on kasutuses tavaliselt 2 PM-t ning kummalgi ülesõidul kasutatakse erinevaid peamasinaid. Üks ülesõit kestab 3,5 tundi – tähendab, et ka iga töös hoitav utiil saab ära kasutada päevas vaid 3,5 tundi väljalaskegaaside soojusenergiat. See teeb utiilide seisuaajaks vähemalt 20 tundi päevas. Tehnilise manuaali järgi võivad utiilid seista järjest maksimaalselt 24 tundi. Magistritöö autori arvates võib utiilides oleva vee pidev maha jahtumine ja üles kuumutamine halvasti mõjuda seal olevale torustikule (vt. joonis 14).



Joonis 14. Silja Europa 4. utiili torustik
Autori koostatud

Viimaste aastate jooksul on parandust vajanud kõik utiilid ning mõned seksioonid utiilidest on tööst eemaldatud (igal utiilil vähemalt üks). Samuti on utiilide vähese tööaja tõttu põhjust arvata, et utiilides tsirkuleeriva vee soojas hoidmiseks ja sealt seisu ajal kaduv soojus (eriti talvel) ületab masinate töö ajal saadavat energiasäästu. Lahendusena pakub magistritöö autor, et teha tuleks energiakulu ja energiasäästu arvutused või mõõdistused, mille põhjal saaks teha otsuse kas ja kui palju utiilkatlaid antud liinil töös tasub hoida.

Alternatiivne voolutoitesüsteem laevadele kai ääres oleks kaldavoolu kasutamine. Tallinna Vanasadama 7. kai juures (kus Silja Europa tavaliselt peatub) on kaldapoolne võimekus juba olemas. 2020. a dokis tõsteti ja paigaldati Silja Europale kaldavoolutransformaator ning tööd ühenduse loomiseks jätkuvad.

Kaldaühenduse korral oleks võimalik seisma jätta abimasinad, mis vähendaks kasvuhoonegaase ja mürataset linnas ning kütusekulu ja motoressursikulu laeval. Kaldaühendus peab muidugi vastama laevasisese elektrisüsteemi tingimustele ning olema võimeline asendama laeva diiseldiiselaatoreid. Laeva elektriline koormus kai ääres võib koosneda valgustusest, jahutitest, pumpadest, ventilaatoritest jpm. – korrektse kaldaühendussüsteemi valimine on toimiva lahenduse võti ning see tuleb arvutada vastavalt laeva koormusele sadamas. (Ion, Megdiche, Bacha, Radu, 2013)

Eeldusel, et Silja Europa jätkab sõitmist samal liinil, siis oleks võimalik kaldaühenduse kasutamise aeg vähemalt 12 tundi ööpäevas. See tähendab, et AM töötavad aastas $12 \cdot 365 = 4380$ tundi vähem (vt. tabel 17). Arvestades, et AM hooldusele kuluv summa tunnis on 20 €, teeb see aastaseks säästuks hoolduse pealt $20 \cdot 4380 = 87\,600$ €. Kütusesäästu arvutamisel arvestatakse, et AM kütuse erikulu on 247 g/KWh, mis teeb 1800 KW koormuse juures kütusekuluks 445 kg/h. See teeb aastaseks kütusesäästuks $4380 \cdot 445 = 1\,949\,100$ kg = 1949,1 tonni. Arvutatud kütusekoguse rahaline väärtus oleks $400 \cdot 1949,1 = 779\,640$ €. CO₂ kogused väheneksid aastas $1949 \cdot 3\,114\,400 = 6\,069\,965\,600$ g = 6070 tonni võrra.

Tabel 17. Kui kaldavool oleks olnud kasutusel 2019. a

	2019. a	2019. a kasutades kaldavoolu	Erinevus	Erinevus (%)
AM töötunnid (h)	13714	9334	-4380	-32
Kütusekulu (t)	11 093	9144	-1949	-18
CO ₂ kogused (t)	34 547	28 477	-6070	-18

Autori koostatud

Silja Europa CO₂ heitkoguse võrdlemiseks põlevkivi baasil toodetud energia heitkogustega MWh kohta, tuleb arvutada kõigepealt AM erikulu liitritesse. $247/0,89 = 277$ liitrit. Teades AM erikulu liitrites, saab arvutada CO₂ koguse kWh kohta. $277 \cdot 3,114 = 863$ g. Teisendatuna on see 863 kg CO₂/MWh. Põlevkivi baasil toodetud energia CO₂ heitkogus oli

1211 kg/MWh (Keskkonnaministeerium, 2015). Saadud tulemustele põhinedes võib öelda, et CO₂ heitekogus on kaldavoolul olles $\frac{(1211-863)*100}{863} = 40,32\%$ võrra suurem.

Tänapäeval on olemas n-ö vaakumtasse ja magneteid kasutavad automaatsed sildumissüsteemid (AMS), mis on paigaldatud juba paljudesse sadamatesse. AMS vähendab märkimisväärselt manöövrite läbi viimiseks kuluvat aega laeva sildumisel ja väljumisel. AMS kasutamisel võtavad sildumisoperatsioonid aega umbes 30 sekundit. Mida vähem aega kulub, seda rohkem säästetakse kütust ja energiat. Hinnanguliselt on keskmine aastane ro-ro/pax laeva poolt sildumisoperatsioonide ajal õhku paisatud väljalaskegaaside kogus 833 tonni. Sadamates, kus AMS on kasutusele võetud, on CO₂ gaaside kogus vähenenud 97 % . (Navamuel, Piris, Labajos, 2018)

Silja Europale värskelt paigaldatud IAS võimaldaks, vajalike sisendite lisamisel, jälgida laeva manöövrite ökonoomsust kogu reisi vältel. Kapten ja tüürimehed näeksid jooksvalt ja tagantjärele tehtud manöövritele kulunud energiat ning selle põhjal saaksid välja töötada kõige ökonoomsemad võtted. Samuti võib programmi võistlusmomendi lisamiseks luua pingerea marsruudi või sildumise kõige ökonoomsemalt läbimiste kohta.

Kokkuvõte

Laevandus on üks kõige energiaefektiivsematest kauba transportimise viisidest, kuid nõuded järgida järjest rangeimaid heitkoguste eeskirju ning finantsilise koormuse tõus, tingitud kütusehindade kasvust, inspireerib laevandusettevõtteid energiaefektiivsust veelgi suurendama. Operatiivsete või tehnoloogiste meetmete rakendamisega võib saavutada veel märkimisväärset edasiminekut.

2018. aastal viis eMarine Engineering Nordic AB läbi energiasäästuprojekti Silja Europa peal. Projekti raames võeti kasutusse peamasinat ning renoveeriti abimasinat soojustaaste süsteem. HVAC süsteemile paigaldati uus juhtimissüsteem, uued temperatuuriandurid, rõhuandurid, õhuvoolulugejad ning juhtventiilid. Õhuvool kajutites tasakaalustati ning ventilaatoritele lisati sagedusmuundurid. Sagedusmuundurid lisati veel HVAC, katla ning magevee pumpadele.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida ning analüüsida läbi viidud projekti. Uurimisülesannetes arutati ning võrreldi Silja Europa abimasinat töötunde, kütusekulu, energiakulu ja heitgaaside koguseid enne ja peale energiasäästuprojekti. Et näha, kas projekt on oma eesmärgi täitnud, võrreldi projekti prognoosi tegelike resultaasidega.

Ülesannete tulemusena selgus, et abimasinat töötunnid vähenesid 21,63% võrra, tänu millele säästeti hoolduskuludelt 75 700 eurot. Aastane kütusekulu vähenes 16,32%. Kõige suurem kütusekulu oli suvekuudel, mis tähendab, et laeva jahutamisele kulub rohkem energiat kui soojendamisele. Üldine energiakulu vähenes võrdeliselt kütusekuluga, kuid energiakulu tonn kauba kilomeetri kohta langes vaid 6,5%, sest vähenes ka transporditud kauba kogus. CO₂ kogused vähenesid 6737 tonni ning SO_x kogused 43 tonni võrra.

Nagu magistritööst selgus, siis oli projekt vägagi edukas, säästes laevale aastas 941 044 €. Kahjuks jäid tegelikud resultaadid prognoositud tulemustele alla, täites prognoosi 83% ulatuses. Lisaks kirjeldati töös kuidas võivad kütuse ja energiakulu vähenemist mõjutada käesolevad projektid ning toodi välja märkusi laeval olevate süsteemide kohta. Näiteks kaldavoolule üleminek, mille ühe tulemusena selgus, et põlevkivi baasil toodetud elektrienergia kasutamise tõttu tõuseb CO₂ koguste hulk 40% võrra.

Magistritöö põhjal oleks võimalik kaaluda sarnaste projektide tegemist ka teistel vanematel laevadel. Saadud tulemusi on võimalik võrrelda teiste projektidega ning selle põhjal koostada valim energiat säästvatest projektidest, mida võimalusel esmajärjekorras laevadel rakendada.

Magistritöö autorile andis tehtud uurimustöö arvestataval määral uusi teadmisi HVAC süsteemi ülesehituse ning toimimise kohta. Saadud teadmisi on võimalik rakendada tööalaselt ning tehtud uurimistöö on pannud vaatama kriitilisema pilguga ka teiste laevasüsteemide ülesehitust.

Summary

Possibilities for reducing the ship's fuel and energy consumption on the example of Silja Europa

Shipping is one of the most energy-efficient ways of transporting goods, but the requirement to comply with increasingly stringent emission rules and the growing financial burden caused by rising fuel prices are inspiring shipping companies to further elevate energy efficiency. Significant progress can still be made through the implementation of operational or technological measures.

The aim of this master's thesis was to study and analyze the project done by eMarine Engineering Nordic AB onboard Silja Europa. The research tasks calculated and compared the diesel generator operating hours, ships fuel consumption, energy consumption and emissions before and after the energy saving project. To see if the project has met its goal, the project forecast was compared with the actual results.

As a result of the tasks, it was found that the working hours of the diesel generators decreased by 21,63%. Annual fuel consumption decreased by 16,32%. Fuel consumption was highest in the summer months, which means that more energy is needed to cool the ship than to heat it. The overall energy consumption decreased in proportion to the fuel consumption, but the energy consumption KJ/tonne*km dropped only by 6,5% due to the decrease in the amount of transported goods. The amount of CO₂ was reduced by 6737 tons and the amount of SO_x by 43 tons.

As it turned out, the project was quite successful, saving the ship 941 044 € per year. Unfortunately, the actual results fell short of the expected outcome, fulfilling the forecast by 83%. On this basis, it can be said, that the project paid off, but did not reach its full potential.

Kasutatud kirjandus

- Beşikçi, E., Kececi, T., Arslan, O., & Turan, O. (2016). *An application of fuzzy-AHP to ship operational energy efficiency* 392-402. Ocean Engineering. doi:10.1016/j.oceaneng.2016.05.031
- Chen, J. (2020). *Investopedia. Return on Investment (ROI)*. Allikas: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>
- Dang, J., Chen, H., Dong, G., Ploeg, A. v., Hallmann, R., & Mauro, F. (2011). *An Exploratory Study on the Working Principles of Energy Saving Devices*. Wuxi. Allikas: <https://pdfs.semanticscholar.org/15b0/dcd2611603c331edf71c317696981cf973ea.pdf>
- Dere, C., Kandemir, C., Zincir, C., & Deniz, B. (2016). *Hull Fouling Effect on Propulsion System Components*. Bodrum. Allikas: https://www.researchgate.net/publication/311517960_Hull_Fouling_Effect_On_Propulsion_System_Components
- ECTA. (2011). *Guidelines for Measuring and Managing CO2 emission from Freight Transport Operations*. Allikas: https://www.ecta.com/resources/Documents/Best%20Practices%20Guidelines/guideline_for_measuring_and_managing_co2.pdf
- EMarine. (2017). Project description. eMarine Engineering Nordic AB.
- Euroopa Komisjon. (2013). *Integrating maritime transport emissions in the EU's greenhouse gas reduction policies*. Brüssel. Allikas: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/shipping/docs/com_2013_479_en.pdf
- IMO. (2005). Interim Guidelines for Voluntary Ship CO2 Emission Indexing. London: MEPC/Circ.471. Allikas: <http://docs.yasinskiy.net/books/imo-mepc-circ1/471.pdf>
- IMO. (2014). *Energy Efficiency Measures*. Allikas: IMO: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- IMO. (2015). *Energy Efficient Ship Operation*. IMO. Allikas: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/M4%20TTT%20course%20Posters%20final1.pdf>
- IMO. (2015). *Funding agreed for Global Maritime Energy Efficiency Partnerships Project (GloMEEP)*. Allikas: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/35-glomeep-signing.aspx>

- IMO. (2015). Module 2: Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. Allikas: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air pollution/M2 Energy Efficiency Regulations - IMO TTT course presentation final1.ppt](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/M2%20Energy%20Efficiency%20Regulations%20-%20IMO%20TTT%20course%20presentation%20final1.ppt)
- IMO. (2020). *Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions*. Allikas: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>
- International Committee for Weights and Measures. (2006). *The International System of Units (SI)*. Allikas: https://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf
- Ion, Megdiche, Bacha, & Radu. (2013). *Transient Analyses of a Shore-to-Ship Connection*. Schneider Electric Industries. Allikas: https://www.ipstconf.org/papers/Proc_IPST2013/13IPST045.pdf
- IRENA. (2015). *Renewable energy options for shipping*. Allikas: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Tech_Brief_RE_for-Shipping_2015.pdf
- Jafarzadeh, Pedersen, Notti, Sala, & Ellingsen. (2014). *A Bond Graph Approach to Improve the Energy Efficiency of Ships*. doi:10.1115/omae2014-24026
- Kabir, M. (2016). Energy efficiency measures in shipping from operation and maintenance perspective. Bangladesh. Allikas: https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1039&context=marener_conference
- Kaushik, M. (Oktoober 2019. a.). *Marineinsight*. Allikas: How Maintenance Work is Done Onboard a Ship: <https://www.marineinsight.com/guidelines/how-maintenance-work-is-done-onboard-a-ship/>
- Keskkonnaministeerium. (2015). *Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030*. Allikas: https://www.envir.ee/sites/default/files/arengukava_eelnou.pdf
- Keskkonnaministeerium. (2019). *IMO algatused KHG heite vähendamiseks*. Allikas: <https://www.envir.ee/et/merendus>
- MEPC. (2011). *Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution From Ships*. IMO. Allikas: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203\(62\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203(62).pdf)
- MEPC. (2012). *GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN*. Allikas:

- <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.213%2863%29.pdf>
- Mfame team. (2016). All you need to know about hull fouling. Allikas: <https://mfame.guru/need-know-hull-fouling-intertankos-guide/>
- Mikelis. (2008). *A Statistical Overview of Ship Recycling*. WMU Journal of Maritime Affairs, 227-239. doi:10.1007/bf03195133
- Navamuel, Piris, & Labajos. (2018). *Reduction in CO2 emissions in RoRo/Pax ports equipped with automatic mooring systems*. Environmental Pollution vol. 241. doi:10.1016/j.envpol.2018.06.014
- Pariotis, E. G., Zannis, T., Yfantis, E. A., Roumeliotis, I., & Katsanis, J. (2016). *Energy Saving Techniques in Ships*. Athens. Allikas: https://www.researchgate.net/publication/304335354_Energy_Saving_Techniques_in_Ships_Technical_and_Operational_Measures
- Popel, A. (2013). *Kütuse Hinnariski Maandamise Võimalused Laevandusettevõttes*. Tartu: Tartu Ülikool. Allikas: https://web-proxy.io/proxy/dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/32413/popel_aleksandr.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sharifi, Y., Ghassemi, H., & Zanganeh, H. (2017). *Various Innovative Technologic Devices in Shipping, Energy Saving and Diminish Fuel Consumption*. Teheran: International Journal of Physics 21-29. doi:10.12691/ijp-5-1-4
- UNCTAD. (2015). *Review of Maritime Transport*. New York, Genfi: United Nations. Allikas: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2015_en.pdf
- UNCTAD. (2018). *Review of Maritime Transport*. New York, Genfi: United Nations. Allikas: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf
- UNCTAD. (2019). *Review of Maritime Transport*. New York, Genfi: United Nations. Allikas: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf
- Walnum, H. J. (2011). *Energy use and CO2 emissions from cruise ships*. Western Norway Research Institute. Allikas: https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-notat-2-2011-cruise.pdf
- Wikipedia. (2020). *Energy efficiency in transport*. Allikas: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_efficiency_in_transport

Yao, Z., Ng, S. H., & Lee, L. H. (2011). *A Study on bunker fuel management for the shipping liner services.* Singapoure: Elsevier. Allikas:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030505481100205X>