

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2016

Mika Renvall

POLTTOAINEEN SYÖTTÖKONEIKON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

– taajuusmuuttajakäyttö

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | Energia- ja polttomoottoritekniikka

2016 | 69 s. + liitteet 4 s.

Ohjaajat Jouko Salo Auramarine Oy, Tommi Paanu Turku AMK

Mika Renvall

POLTTOAINEEN SYÖTTÖKONEIKON ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

- taajuusmuuttajakäyttö

Tämä insinöörityö tehtiin toimeksiantona Auramarine Oy:lle, ja sen tarkoituksena oli selvittää taajuusmuuttajakäytön soveltuvuutta pyrkimyksessä kehittää laivan polttoaineen syöttökoneikon energiatehokkuutta.

Työssä tutustutaan laivan polttoainejärjestelmään ja käytettävään polttoaineeseen sekä eri tahojen näille esittämiin vaatimuksiin. Tätä syvällisemmin tutustutaan polttoainekoneikon toimintaan ja siinä erityisesti pumppujen ja niiden käsittelemän polttoainemäärän mitoitukseen.

Nykyisellään polttoainetta kierrätetään ilman säätömahdollisuuksia kaikissa moottorin kuormitustilanteissa täydellä pumpputeholla. Kuormituksen ollessa alhaisempi esimerkiksi alhaisemman nopeuden, slow steamingin, johdosta, pumppausteho saattaa olla moninkertaisesti ylimitoitettu. Taajuusmuuttajaohjatuilla pumpuilla pyritään optimoimaan niin pumpattava polttoaineen määrä kuin siihen kulutettava energiakin kuhunkin kuormitustilanteeseen sopivaksi.

Työn case-osiossa käsitellään aluksia ja niiden todellisia ajoprofiileja (nopeus- ja propulsio- ja tehotietoja) perustuen niistä kerättyihin tietoihin. Näitä aluksilta saatuja tietoja suhteutetaan aluksiin, joissa koneikot ovat Auramarinen omia toimituksia ja tarkat mitoitus- ja tuotantotiedot siten tiedossa. Polttoaineella tuotettavan energian hinta määritellään laskennallisesti ja saatujen tulosten perusteella arvioidaan esimerkkialuksille taajuusmuuttajakäytöllä saavutettavat energia- ja kustannussäästöt.

Tutkielman tuloksina todetaan ohjaustekniikan kehittämisellä saavutettavan merkittäviä prosentuaalisia säästöjä. Kustannussäästö laivan operoijalle jää pienimmillään alle 10 MW tehoisilla aluksilla raskaan polttoöljyn (HFO) nykyhinnoilla vuositasolla melko vaatimattomaksi. Pidemmän ajanjakson aikana kuitenkin erityisesti suuremmalla moottoriteholla operoivat alukset saavuttavat jo huomattavia säästöjä polttoainekustannuksissa.

Saavutettujen tulosten johdosta on perusteltua jatkaa kehitystyötä ja pyrkiä tuotteistamaan taajuusmuuttajakäyttö polttoaineen syöttökoneikossa.

ASIASANAT:

Energiatehokkuus, taajuusmuuttaja, propulsio, polttoaineenkulutus, optimointi.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Energy and Combustion Engine Technology

2016 | 69 pp. + appendices 4 pp.

Instructors Jouko Salo Auramarine Ltd, Tommi Paanu Turku University of Applied Sciences

Mika Renvall

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE FUEL SUPPLY SYSTEM

-variable speed drives

This Bachelor's thesis was commissioned by Aura Marine Ltd. The purpose of this thesis was to examine the suitability of the use of the frequency converter in order to develop the energy efficiency of the fuel supply unit of a ship.

This thesis discusses the fuel treatment system of the ship and the fuel used, as well as the requirements made to these by authorities and engine manufacturers.

The thesis focuses on the actions of the fuel supply unit and in particular the ability to control the pumps to optimize the amount of recycled fuel to the engine.

Currently, the fuel is circulated without the possibility of adjustments in all load conditions at full pump power. The pumping power can be several times greater when the engine load is lower for instance as a result of lower speed, so called slow steaming.

Frequency converters are designed to optimize the speed of pumps so that it is sufficient in each rate of the engine load. The case section of the thesis deals with ships and their actual operation profiles (used speed and engine power) based on data collected from them.

This obtained data from other vessels are related to vessels that are equipped with the Auramarine's fuel supply units and accurate technical details are thus known. Energy prices are specified on the basis of calculations and with the achieved results, the comparative energy and cost savings in vessels with variable speed drives can be estimated. The results of this study show that use of frequency converters makes it possible to develop the energy efficiency of the unit.

The cost level and saving for the ship operator remains rather modest in the smallest vessels, power less than 10 MW, with current prices of fuel oil (HFO). However, over a longer period, especially vessels that operate with a higher power can reach large savings in the fuel costs. Due to the achieved results, it is reasonable to continue the development and strive to products with the use of variable speed drives in the fuel supply unit.

KEYWORDS:

Energy efficiency, frequency converter, variable speed drives, fuel consumption, optimizing.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 KÄYTETTÄVÄ POLTTOAINE JA SEN KÄSITTELY	10
2.1 Laivan polttoaineen käsittelyjärjestelmä	10
2.2 Polttoaineen puhdistus	10
2.3 Lämmitys	11
2.4 Polttoaineet	11
3 FEEDER BOOSTER -KONEIKKO	13
3.1.1 Koneikon toiminta	14
3.1.2 Koneikon valinta ja mitoitus	15
3.1.3 Koneikon energiankuluttajat	17
3.2 Luokituslaitokset	18
3.3 Moottorivalmistajat	19
4 ENERGIAN KÄYTTÖ JA TUOTANTO	21
4.1 Tuotettava teho ja MCR	21
4.2 Tehontarve	22
4.3 Slow steaming	23
5 NYKYISET SÄÄTÖJÄRJESTELMÄT	26
5.1 Polttoainekoneikko (feeder, booster), käynnistin (starter)	26
5.2 Varmennuspumppujen käynnistyminen	27
5.3 Lämmitys, lämpötila, viskositeetti, tilavuusvirta	27
5.4 Nykyisen koneikon hyötynäkökantoja	27
5.5 Nykyisen koneikon rajoitteet	28
6 DYNAAMISET KÄYTTÖTAVAT	29
6.1 Polttoainekoneikko (feeder, booster), taajuusmuuttaja	29
6.2 Sähkömoottorien soveltuvuus	30
6.3 Pumppujen soveltuvuus	32
6.4 Taajuusmuuttajaohjatun koneikon hyötynäkökantoja	33
6.5 Taajuusmuuttajaohjatun koneikon rajoitteet	34

6.6 Kustannukset	34
7 CASE: MOOTTORITYYPPI JA -VALMISTAJA	36
7.1 Case alusvalinnat	37
7.2 Ajoprofiili	38
7.3 Polttoaineen ominaiskulutus, SFOC	38
7.4 Polttoaineen hinta	39
7.5 Sähkön tuotanto ja häviöt	40
7.6 Polttoainekustannus	41
7.7 Käyttöaika	41
7.8 Case 1. Tankkeri, 22864 bruttotonnia, 7050 kW	42
7.8.1 Käytetty nopeus ja teho	42
7.8.2 Polttoaineen kierrätys ja kulutus	43
7.8.3 Pumppujen energiankulutus	45
7.8.4 Käyttökustannukset	46
7.8.5 Yhteenveto	48
7.9 Case 2. Tankkeri, 47129 bruttotonnia, 13560 kW	49
7.9.1 Käytetty nopeus ja teho	49
7.9.2 Polttoaineen kierrätys ja kulutus	50
7.9.3 Pumppujen energiankulutus	52
7.9.4 Käyttökustannukset	53
7.9.5 Yhteenveto	55
7.10 Case 3. Irtolastialus, 107229 bruttotonnia, 17140 kW	56
7.10.1 Käytetty nopeus ja teho	56
7.10.2 Polttoaineen kierrätys ja kulutus	57
7.10.3 Pumppujen energiankulutus	59
7.10.4 Käyttökustannukset	60
7.10.5 Yhteenveto	62
8 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	63
9 YHTEENVETO JA POHDINTA	65
LÄHTEET	68

LIITTEET

- Liite 1. Polttoaineen viskositeetti eri lämpötiloissa.
Liite 2. Polttoaineille asetetut vaatimukset, ISO 8217.
Liite 3. Sähkomoottorien uudet hyötysuhdeluokat.
Liite 4. Feeder booster -koneikko (PI).

KUVAT

Kuva 1. Polttoaineen varastointi, periaate.	10
Kuva 2. Dieselmootoreissa käytettävien polttoaineiden vaatimukset (CIMAC/ISO). (Mollenhauer & Tschöke 2006, 105)	12
Kuva 3. AMB-Mc 02-07 SS Heavy Fuel Supply Unit (Auramarine Oy).	13
Kuva 4. Polttoaineen syöttölaitteiston, ns. booster-koneikon yksinkertaistettu kaavio.	14
Kuva 5. Tyypillinen meridieselin käyttöalue, kiinteälapainen potkuri (Wärtsilä 2014b).	21
Kuva 6. Booster-koneikko, PI-kaavio (Auramarine Oy).	26
Kuva 7. Laivan sähköverkossa tapahtuvien häviöiden muodostuminen.	40

KUVIOT

Kuvio 1. Kokonaistehon ja kiertosuhteen vaikutus koneikkovalintaan.	16
Kuvio 2. Käytettävän nopeuden suhde tehontarpeeseen ja kulutukseen (Wärtsilä 2010).	23
Kuvio 3. Nopeuden ja aluksen koon suhde päivittäiseen polttoaineenkulutukseen (Maritime Economics & Logistics 2013).	24
Kuvio 4. Oikosulkumoottorin (AC) maksimimomentti ja jännite suhteellisen nopeuden funktiona (ABB 2001a).	30
Kuvio 5. Vakio-oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuus taajuusmuuttajalla säädetyssä käytössä 1) ilman erillistä jäähdytystä ja 2) erillisjäähdytyksellä (ABB 2001a).	31
Kuvio 6. Sähkomoottorin hyötysuhde eri kuormituksilla (Motiva 2009).	31
Kuvio 7. 3-ruuvipumpun toiminta eri nopeuksilla (Kral Screw Pumps 2009).	32
Kuvio 8. Energiankulutus ja taajuusmuuttajakäyttö (Danfoss 2008).	33
Kuvio 9. Koneikkotoimitukset: moottorityypit ja -valmistajat, jakauma (Auramarine Oy).	36
Kuvio 10. Toimitetut koneikot, alustyytit ja konetehot (Auramarine Oy).	37
Kuvio 11. Polttoaineen hintakehitys 2009–2016 (Bunker Index 2016).	39
Kuvio 12. Case 1, toteutuneet nopeus- ja tehojakaumat.	42
Kuvio 13. Case 1, toteutuneet nopeus- ja tehoarvot vs. designarvot.	43
Kuvio 14. Case 1, polttoaineen kulutus vs. vertailualukset.	44
Kuvio 15. Case 1, moottorille kierrätetty polttoaine vs. todellinen tarve ja kulutus.	44
Kuvio 16. Case 1, käytetty pumppausteho vs. teho taajuusmuuttajakäytöllä.	46
Kuvio 17. Case 2, toteutuneet nopeus- ja tehojakaumat.	49
Kuvio 18. Case 2, toteutuneet nopeus- ja tehoarvot vs. designarvot.	50
Kuvio 19. Case 2, polttoaineen kulutus vs. vertailualukset.	51

TAULUKOT

Taulukko 1. Nopeuden vaikutus tehoon ja kulutukseen, Wärtsilä 10RTA96C.	25
Taulukko 2. Case 1–3 moottorien ominaiskulutukset (MAN Project Guide).	38
Taulukko 3. Case 1, aluksen perustiedot.	42
Taulukko 4. Case 1, vertailualusten polttoainekulutus.	43
Taulukko 5. Case 1, vertailualusten pumppujen virtausmäärät ja tehot.	45
Taulukko 6. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2016.	47
Taulukko 7. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2010–2014.	47
Taulukko 8. Case 2, aluksen perustiedot.	49
Taulukko 9. Case 2, vertailualusten polttoainekulutus.	50
Taulukko 10. Case 2, vertailualusten pumppujen virtausmäärät ja tehot.	52
Taulukko 11. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2016.	54
Taulukko 12. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2010–2014.	54
Taulukko 13. Case 3, aluksen perustiedot.	56
Taulukko 14. Case 3, vertailualusten polttoainekulutus.	57
Taulukko 15. Case 3, vertailualusten pumppujen virtausmäärät ja tehot.	59
Taulukko 16. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2016.	61
Taulukko 17. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2010–2014.	61

KÄYTETYT LYHENTEET

CIMAC	The International Council on Combustion Engines.
cSt	senttiStoke. Viskositeetin mittayksikkö.
DF	Dual Fuel. Kaksoispolttoainekäyttö.
EEDI	Energy Efficiency Design Index, IMO. Energiatohokkuusindeksi.
FC	Frequency converter. Taajuusmuuttaja.
GHG	Green House Gas. Kasvihuonekaasu.
HFO	Heavy Fuel Oil. Raskas polttoöljy.
IFO	Intermediate Fuel Oil.
IMO	International Maritime Organization. YK:n alainen kansainvälinen merenkulun turvallisuusasioita hallinnoiva järjestö.
LNG	Liquified Natural Gas. Nesteytetty maakaasu.
MCR	Maximum Continuous Rating. Suurin sallittu jatkuva teho.
MDO	Marine Diesel Oil.
MGO	Marine Gas Oil.
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea. IMO-yleissopimus.
TEU	Twenty-foot Equivalent Units. Konttiliikenteessä käytettävä perusmittayksikkö kontille.

1 JOHDANTO

Tämä insinööri työ tehtiin Auramarine Oy:n toimeksiantona. Auramarininen päätuotteita ovat erilaiset laivojen polttoaineen syöttöjärjestelmät, joita yritys toimittaa asiakkailleen eri puolille maailmaa. Tuotantoa yrityksellä on Suomessa Liedossa sekä Shanghaissa Kiinassa. Työssä tutustutaan dieselmootoreilla energiansa tuottaviin aluksiin ja selvitetään taajuusmuuttajakäyttöjen soveltuvuutta ja niillä saavutettavia etuja pyrkimyksissä parantaa polttoaineen syöttökoneikkojen energiatehokkuutta. Työssä tarkastellaan myös muun muassa luokituslaitoksien ja moottorivalmistajien määräyksiä ja teknisiä vaatimuksia. Merenkulkua säännellään kansainvälisin sopimuksin, jotka ovat velvoittavia. Kansainvälisen sääntelyn pohjana ovat YK:n alaisen Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n (International Maritime Organization) yleissopimukset.

IMO:n asettamat energiatehokkuusvaatimukset (Energy Efficiency Design Index EEDI) aluksille, jotka on rakennettu vuoden 2013 jälkeen, velvoittavat operaattorit kehittämään alusten energiatehokkuutta. Tehokkuuden parantamiselle asetettu tavoite vuoteen 2025 mennessä on asteittain 10 – 30 %. Ympäristönäkökulmasta lisäarvoa saavutetaan vaikuttamalla syntyvien ympäristöpäästöjen, kuten CO₂, SO₂, ja NO_x määriin.

Laivaoperoinnin kokonaiskustannukset muodostuvat suurelta osin aluksen käyttökustannuksista ja sen hankinnassa syntyneistä pääomakustannuksista. Käyttökustannuksiin voidaan suoraan vaikuttaa vähentämällä polttoaineen kulutusta. Tehontarpeeseen vaikutetaan osaltaan jo hankintavaiheessa koneiden ja laitteiden valinnoilla. Valitsemalla polttoaineen syöttölaitteistoksi taajuusmuuttajaohjauksella varustettu koneikko, voidaan laitteiston energiankulutus optimoida mahdollisimman energiatehokkaaksi.

Syöttökoneikon kuluttama energia käytetään pääosin polttoaineen lämmittämiseen ja pumppaamiseen. Työssä kiinnitetään huomio kierrätetyn polttoaineen pumppaustarpeeseen eri käyttötilanteissa ja käytetyn tehon optimoimiseen sekä siitä muodostuviin säästöihin.

Raportin Case-osiossa tutkitaan ratkaisun hyötyjä kolmella todellisella, liikenteessä olevalla aluksella. Vertailussa ja laskelmissa käytetään lähteinä aluksilta kerättyä käyttötietoa. Syntyntä tietoa hyväksikäyttäen esitetään laskelmia ja arvioidaan laitteiston kannattavuutta niin sen valmistajan kuin laivan omistajankin näkökulmasta.

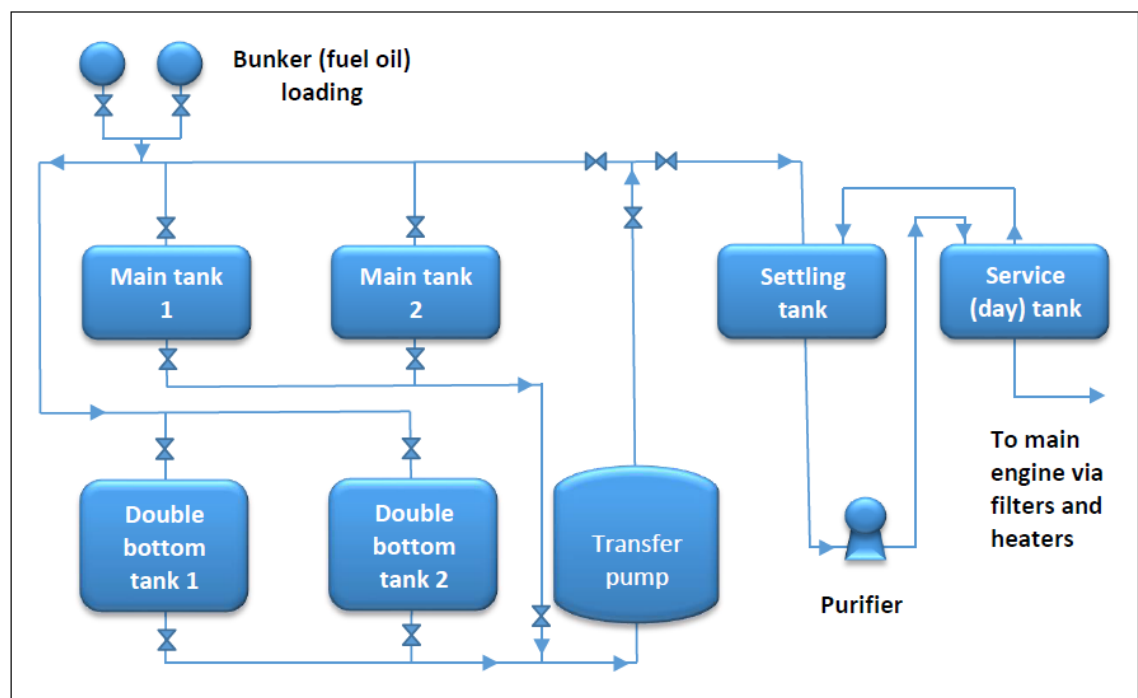
2 KÄYTETTÄVÄ POLTTOAINE JA SEN KÄSITTELY

2.1 Laivan polttoaineen käsittelyjärjestelmä

Laivan polttoaineen käsittelyjärjestelmä sisältää vähintään keskipakoistoimiset separaattorit, polttoaineen lämmityslaitteet, automaattisen suodatuksen, paineellisella sekoitussäiliöllä varustetun polttoaineen paineenostojärjestelmän (ns. booster) sekä automaattisen viskositeetin valvonnan ja lämpötilan valvonnan laitteiston. (DNVGL 2006.)

2.2 Polttoaineen puhdistus

Raskas polttoöljy (HFO) puhdistetaan useimmiten kahdessa vaiheessa (kuva 1). Selkeytystankissa (settling tank) polttoaine esipuhdistetaan painovoimaisesti, raskaammat nesteet ja kiinteät aineet erottuvat tankin pohjalle. Selkeytystankista polttoaine johdetaan lisälämmityksen jälkeen separointiin.



Kuva 1. Polttoaineen varastointi, periaate.

Separoinnissa erotetaan vesi ja kiinteät hiukkaset keskipakovoimaan perustuvan puhdistimen, separaattorin (purifier) avulla. Separoitu polttoaine johdetaan päivätankkiin (service tank), josta se on käytettävissä moottorille (Wärtsilä 2016).

Polttoöljylle, jonka viskositeetti on yli 180 cSt, suositetaan separointilämpötilaksi 98 °C. Kevyemmille polttoainelaaduille separoinnin suosituslämpötilat saattavat olla alhaisempia. (CIMAC 2006, 29.)

2.3 Lämmitys

Korkean viskositeetin takia polttoainetta lämmitetään koko polttoainejärjestelmässä, aina tankeista polttoaineen ruiskutukseen saakka. Tankeissa säilytettävä ja sieltä siirrettävä polttoaine lämmitetään noin 55...65 °C lämpötilaan, jotta sen pumppaaminen on mahdollista (Häkkinen 1994, 113). Polttoaineen siirtoputkistoissa käytetään lämmitykseen tyypillisesti höyrylämmittimiä, koneikon saattolämmityksinä on käytössä myös sähkölämmittimiä.

Syöttökoneikossa polttoaine paineistetaan ja lämmitetään lämpötilaan, jossa sen viskositeetti on sopiva ruiskutettavaksi moottoriin.

2.4 Polttoaineet

Meriliikenteen aluksissa on käytössä useita erilaisia polttoaineita, joista yleisimmin käytössä ovat MGO (Marine Gas Oil), MDO (Marine Diesel Oli), IFO (Intermediate Fuel Oil), HFO (Heavy Fuel Oil), biodiesel ja LNG (Liquified Natural Gas). Päätyypit on jaettu eri laatuihin niissä esiintyvien ainesosien ja niiden määrän sekä ominaisuuksien, kuten viskositeetin, mukaisesti. (Chevron 2012.)

Raskasta polttoöljyä (HFO) on käytössä ainoastaan hidaskäyntisissä 2-tahtisissa ja keskinopeissa 4-tahtimoottoreissa (Möllenbauer & Tschöke 2006, 108). Tässä työssä käsiteltävä polttoainekoneikko on tarkoitettu käytettäväksi raskaalle polttoöljylle ja kevyelle dieselöljylle (MDO). Kun koneikko varustetaan tarvittavin lisälaittein (cooler, chiller), myös MGO-käyttö on mahdollista. Käyttötarkoituksesta ja sen yleisyydestä johtuen keskitytään HFO- ja MDO-käyttöön.

Vaatimukset

Yleisesti käytössä olevien HFO- ja IFO-laatuisten kinemaattisen viskositeetin vaatimukset ovat laaduittain 180, 380, 500, ja 700 mm²/s (cSt) 50°C (kuva 2)(Chevron 2012).

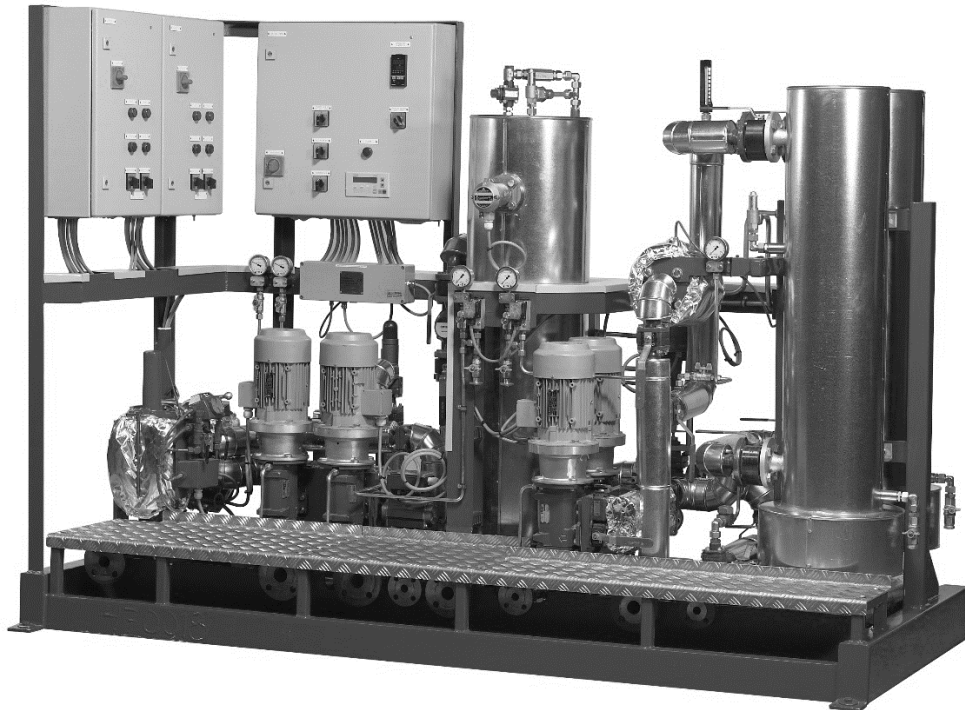
Requirements (1990) for residual fuels for diesel engines (as delivered)															
Designation:			CIMAC A 10	CIMAC B 10	CIMAC C 10	CIMAC D 15	CIMAC E 25	CIMAC F 25	CIMAC G 35	CIMAC H 35	CIMAC K 35	CIMAC H 45	CIMAC K 45	CIMAC H 55	CIMAC K 55
Related to ISO 8217 (B7):			F --												
Characteristic	Dim.	Limit	RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMH 45	RMK 45	RMH 55	–
Density at 15 °C	kg/m ³	max	950	975		980	991		991		1010	991	1010	991	1010
Kinematic viscosity at 100 °C ¹⁾	cSt ²⁾	max	10			15	25		35		45		55		
		min ³⁾	6				15								
Flash point	°C	min	60			60	60		60		60		60		
Pour point	°C	max	0 6 ³⁾		24	30	30		30		30		30		
Carbon Residue	% (m/m)	max	12		14	14	15	20	18	22		22		22	
Ash	% (m/m)	max	0.10			0.10	0.10	0.15	0.15		0.15		0.15		
Total sediment after ageing	% (m/m)	max	0.10			0.10	0.10		0.10		0.10		0.10		
Water	% (V/V)	max	0.50			0.80	1.0		1.0		1.0		1.0		
Sulphur	% (m/m)	max	3.5			4.0	5.0		5.0		5.0		5.0		
Vanadium	mg/kg	max	150		300	350	200	500	300	600		600		600	
Aluminium + Silicon	mg/kg	max	80			80	80		80		80		80		
Ignition properties			see appendix, section 3												
¹⁾ Approximate equivalent viscosities (for information only): Kinematic viscosity (cSt) at 100 °C 6 10 15 25 35 45 55 Kinematic viscosity (cSt) at 50 °C 22 40 80 180 380 500 700 Sec. Redwood I at 100 °F 165 300 600 1500 3500 5000 7000															
²⁾ 1cSt = 1 mm ² /sec ³⁾ Applies to region and season in which fuel is to be stored and used (upper value winter quality, bottom value summer quality) ⁴⁾ Recommended value only. May be lower if density is also lower. See appendix, part 3															

Kuva 2. Dieselmootoreissa käytettävien polttoaineiden vaatimukset (CIMAC/ISO). (Möllenhauer & Tschöke 2006, 105)

Raskaan polttoöljyn (HFO) viskositeetti on 100 °C:ssa 4,5 ...55 mm²/s (Kuiken 2012a, 142, Liite 1). Polttoaineen tulee täyttää standardin ISO 8217 vaatimukset (kuva 2, Liite 2). ISO 8217 määrittää raja-arvot käytettävän polttoaineen tiheydelle, viskositeetille ja lukuisille siinä esiintyvien aineiden määrille (Möllenhauer ym. 2006, 105). Käytettävälle polttoaineelle asetetaan luokituslaitosten määräysten muodossa vaatimuksia sen koostumuksen ja ominaisuuksien osalta.

3 FEEDER BOOSTER -KONEIKKO

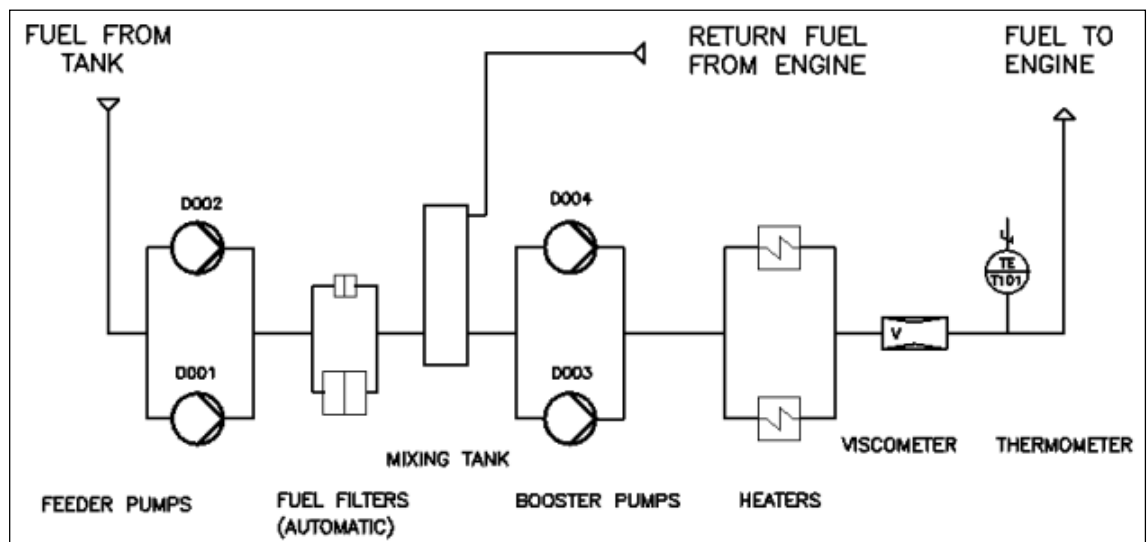
Feeder Booster -koneikon (kuva 3) tehtävä on johtaa moottorille riittävästi polttoainetta, luoda sille tarvittava paine ja lämpötila sekä varmistaa sopiva viskositeetti. Koneikkoon sisältyvät pumput, suodattimet, lämmittimet (tarvittaessa myös jäähdyttimet), sekoitus-säiliö ja polttoaineen tilaa (viskositeetti, lämpötila, paine) mittaavat laitteet. Koneikko on tarvittaessa varustettavissa erityisellä polttoaineen valintaventiilillä, joka mahdollistaa polttoaineen vaihdon hallitusti ajon aikana. Komponentti- ja mitoitusratkaisussa on arvioitu erilaisten kertavastuksien ja muiden asioiden, kuten virtausnopeuden ja eri komponenttien ominaisuuksien vaikutuksia koneikon häviöihin ja sen toiminnallisuuteen.



Kuva 3. AMB-Mc 02-07 SS Heavy Fuel Supply Unit (Auramarine Oy).

3.1.1 Koneikon toiminta

Käytettävä polttoaine johdetaan aluksen päivätankista puhdistettuna syöttökoneikolle (service tank, day tank). Polttoaineen paineennosto suoritetaan kaksivaiheisesti (kuva 4): Ensimmäisessä vaiheessa feeder-pumput nostavat paineen noin 4 bar tasolle ja huolehtivat sekoitussäiliön ja siten myös booster-pumpuille riittävästä polttoaineen määrästä. Polttoaineen toisen vaiheen paineen nostoon käytetään booster-pumppuja. Tyyppillisesti käytettävä taso on noin 8 bar, riippuen moottorivalmistajan vaatimuksista (CI-MAC 2006). Sähkötoimisten booster-pumppujen volumetrisen kapasiteetin (ylivirtaus, kiertosuhte) tulee olla vähintään kolminkertainen 100 % kuormituksella (MAN 2015, 334). Kiertosuhtevaatimus vaihtelee moottorityypeittäin.



Kuva 4. Polttoaineen syöttölaitteiston, ns. booster-koneikon yksinkertaistettu kaavio.

Polttoainetta lämmitetään ja kierrätetään keskeytyksettä moottorille käynnin aikana sekä myös tilanteessa jossa moottori on pysähtyneenä. Toimenpiteillä mahdollistetaan moottorin käynnistäminen tarvittaessa huolehtimalla raskaan polttoöljyn ruiskutettavuudesta ja pumpattavuudesta järjestelmässä.

Suodattimien tehtävänä on varmistaa polttoaineen laatu poistamalla partikkeleja ja siten suojata moottoria. Koneikko on varustettu kahdella suodattimella, tavallisella ja automaattisuodattimella. Automaattisuodatin on laite, jonka huuhtelutoiminto toimii itsenäisesti ennalta määrätyn aikavälin ja / tai asetetun paine-eron mukaisesti.

Sekoitussäiliö (mixing tank) toimii polttoaineen puskurisäiliönä (buffer), jonka avulla vaukautetaan myös polttoaineen viskositeettia ja lämpötilaa sekä mahdollistetaan ”pehmeämpi” polttoaineenvaihto esimerkiksi HFO:n ja MDO:n välillä (CIMAC 2006, 30). Moottorille johdettu käyttämätön, ylimääräinen polttoaine palautuu sekoitussäiliöön. Eri-tyisesti kevyempi polttoaine saattaa sitoa lisälämpöä itseensä kuumista ruiskutuspumpuista ja säiliöön palaavalla polttoaineella voi olla korkeampi lämpötila kuin feeder-pumpujen syöttämällä polttoaineella. Lämmön siirtyminen vaihtelee moottorikohtaisesti ja on riippuvainen moottorin sisäisistä jäähdytysratkaisuista. Sekoitussäiliö toimii myös järjestelmän ilmaussäiliönä.

Käytettävät pumput ovat tyypillisesti 3-ruuvipumppuja. Ruuvipumput ovat toiminnaltaan syrjäytyspumppuja ja ne soveltuvat tapauksiin, joissa tilavuusvirta pidetään vakiona vastapaineesta riippumatta (Huhtinen ym. 2008, 134–135). Järjestelmän redundanttisuus varmistetaan kahdennetuilla pumpuilla. Normaalisessa käyttötilanteessa yksi (1) feeder- ja yksi booster-pumppu on käynnissä toisen ollessa varalla ns. stand by -pumppuna. Stand by -pumppu käynnistyy automaattisesti paineen laskiessa alle asetetun tason.

Syöttökoneikko on varustettu viskositeetin ja lämpötilan mittauksella, jolla varmistetaan käytettävän polttoaineen mahdollisimman hyvä sopivuus kyseiselle moottorille. Polttoaineen halutun viskositeetin säätämiseksi on hyvin tärkeää, että asetus tehdään aina oikean viskositeetti-arvon, ei oikean lämpötila-arvon mukaisesti (Kuiken 2012a, 163). Vaaditun viskositeetin saavuttamiseksi polttoaine lämmitetään joko sähköisesti, höyryn, veden tai öljyn avulla.

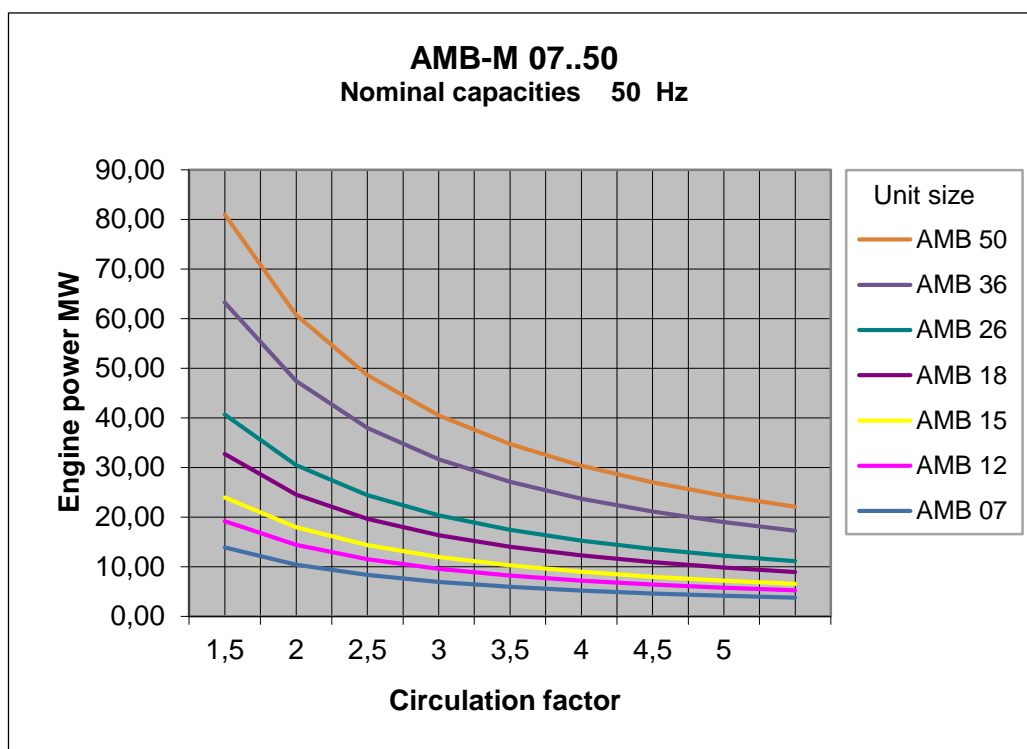
3.1.2 Koneikon valinta ja mitoitus

Polttoainekoneikko valitaan käytettävän polttoaineen ja moottorityypin (-tehon) perusteella. Erilaiset polttoaineet määrittelevät käytettävät ratkaisut joihin usein liittyvät lukuisat jäähdytys- ja lämmitysvaihtoehdot sekä niihin liittyvät automaatiotoiminnot. Moottorityyppi ja sen tuottama teho määrittelevät koneikon käsittelemän polttoaineen määrän ja ne polttoaineen ominaisuudet, jotka sen tulee saada aikaan.

Mitoitettaessa koneikkoa tärkein tarkasteltava asia on tarvittavaan moottoritehoon suhteutuva polttoaineen kulutus, joka kiertosuhteineen vaikuttaa keskeisesti kierrätettävään

tilavuusvirtaan. Kierrätettävän polttoaineen määrällä on suora yhteys sähkömoottorien ja pumppujen, lämmittimien sekä jäähdyttimien teho- ja virtausmitoituksiin.

Käytettävä kiertosuhte (-kerroin) on suuruudeltaan 3–5. Peruskoneikkoja on valmiiksi suunniteltuina useisiin konetehotarpeisiin välillä 3–60 MW aluksen sähköverkon taajuus huomioiden (kuvio 1). Usein asiakas kuitenkin haluaa peruskoneikon ominaisuuksista eriyvän laitteiston, esimerkiksi kiertosuhteeltaan poikkeavan tai lisälaitteilla varustetun koneikon, jolloin se suunnitellaan halutuilla ominaisuuksilla.



Kuvio 1. Kokonaistehon ja kiertosuhteen vaikutus koneikkovalintaan.

Koneikkotyyppin perusvalinta tapahtuu karkean konetehtoarvion mukaan. Mallimerkinässä esiintyvä luku viittaa aluksen konetehtoon (MW). Esimerkkinä AMB 07 on tarkoitettu käytettäväksi suurimmillaan noin 7 MW konetehton alukseen ja AMB 26 on vastavasti tarkoitettu noin 26 MW konetehtolle. Koneikon komponenttien valinta perustuu kuitenkin aina mitoittaviin laskelmiin ja näistä muodostuviin kiertosuhteisiin ja muihin huomioitaviin asioihin. Saman perustyyppin koneikosta onkin useita erilaisia versioita erilaisien asiakastarpeiden johdosta.

3.1.3 Koneikon energiankuluttajat

Polttoainekoneikossa on kaksi pääasiallista energiankuluttajaryhmää, pumppuja käyttävät sähkömoottorit sekä polttoaineen lämmittimet. Koneikossa on lisäksi myös muita sähköisiä komponentteja, jotka vähäisen tehontarpeensa vuoksi jätetään huomioimatta. Mahdollinen jäähdytys toteutetaan aina lämmönvaihtimilla väliaineen avulla.

Sähkömoottorien teho määräytyy siirrettävän polttoaineen määrästä ja vaihtelee pienestä 1,1 kW moottorista (pumpun siirtokapasiteetti < 2 m³/h) suureen yli 17 kW moottorilla varustettuun pumppuun, jonka siirtokapasiteetti on lähes 50 m³/h. Tehoon ja siirtokykyyn vaikuttaa myös aluksen sähköverkon taajuus, 50 tai 60 Hz. Käytettävä taajuus vaikuttaa sähkömoottorissa sen käyntinopeuteen. Sähkömoottoria valittaessa tulee kiinnittää huomio kierroslukualueen valintaan ja tarvittavaan säätöalueeseen, tarvittaessa moottori ylimitoitetaan. Tehomitoituksen lisäksi moottorivalinnassa huomioidaan kiristävät vaatimukset sähkömoottorien energiatehokkuudelle (Liite 3). Vuoden 2017 alusta hyötysuhdeluokan täytyy olla IE3 (0,75 kW–375 kW) tai vaihtoehtoisesti pitää käyttää IE2-luokan pumppua ja taajuusmuuttajaa (EY direktiivi 2005/32/EY).

Mitoitustarkasteluissa huomioidaan koneikon putkistoissa ja varusteissa, kuten venttiileissä ja muissa komponenteissa, esiintyvät virtaushäviöt ja niistä syntyvä lisätehontarve sekä polttoaineen virtaamalle asetettu tavoitenopeus 1 – 2 m/s paineenoston jälkeisessä putkiston osassa (AEL 2007). Suuremmalla virtausnopeudella syntyvät vastukset ja painehäviöt kasvavat merkittävästi. Korkeampi virtausnopeus vaikuttaa laitteiston elinikään venttiilien ja muiden komponenttien kulumisen muodossa. Mitoittavana tekijänä huomioidaan tarvittava polttoaineen siirtokyky, tilavuusvirta.

Lämmittimiä on koneikossa käytössä pääosin höyry- ja sähkötoimisina. Höyrylämmittimien energia saadaan aina aluksen kattilajärjestelmästä erillisellä höyryputkistolla. Koneikon teholuokka ei rajoita höyrylämmittinkäyttöä. Höyryä tarvitaan koneikkotyypistä riippuen 35 – yli 700 kg tunnissa.

Sähkölämmittimiä on käytössä tehoalueella 24–170 kW. Tehokkaimpia sähkölämmittimiä voidaan käyttää aluksissa, joiden konetehto on enintään 30 MW.

3.2 Luokituslaitokset

Meriliikenteen alukset ovat luokituslaitosten tarkastamia jo rakennusvaiheessa ja niille tehtävät luokitukset ovat voimassa määräajan. Luokituslaitokset ovat alusten tarkastamiseen valtuutettuja puolueettomia laitoksia joiden tehtävänä on suorittaa ehdottomat tekniset luokitukset ja pakolliset sertifioinnit mukaan lukien IMO:n yleissopimuksissa määritellyt asiat. Luokituksilla pyritään varmistamaan alusten turvallisuus ja luotettavuus meriliikenteessä. Merkittävimpiä luokituslaitoksia ovat DNVGL, BV, ABS, LR, CCS, ClassNK, SKR ja RS.

Vaatimukset

Luokituslaitos määrittelee polttoaineen siirtopumput kategoriaan tärkeitä laitteita (essential equipment), joiden keskeytymätön toiminta tulee varmistaa. Vaatimus täytetään järjestämällä laitteille varmennettu sähkönsyöttö. (DNVGL 2015a). Tämän lisäksi järjestelmässä, jossa feeder- tai booster-pumput huolehtivat polttoaineen syötöstä pää- tai apumoottoreille, tulee ne redundanttisuusvaatimuksen johdosta varustaa stand by -pumpuin (DNVGL 2015b). Polttoainekoneikossa on lukuisia laitteita ja ratkaisuja, joiden tulee olla luokituslaitoksen hyväksymiä. Luokitettuja laitteita ovat esimerkiksi säiliöt, moottorit, pumput ja varusteet. Käytettävät ratkaisut liittyvät useimmiten koneikon ominaisuuksiin, sen toiminnallisuuteen ja laitteiden tarkoitukseen sopivuuteen, sähköisiin tai mekaanisiin vaatimuksiin, virtausteknisiin arvoihin, pumpun tai moottorin suojausluokkaan.

Booster-järjestelmän polttoaineen lämmittimet tulee varustaa laitteella, jolla varmistetaan haluttu viskositeetti (DNV 2011).

Polttoaineen syöttökoneikon osalta luokittaja tarkastaa ja hyväksyy jokaisen yksittäisen koneikon paineellisena (testipaine) ja käyttökuntoisena. Tarkasteltavia asioita ovat koneikon toiminnallisuus ja pumppujen redundanttisuus, hälytykset häiriöistä sekä koneikoon liittyvä dokumentointi. Lisäksi koneikon pääkomponentit ja niiden valmistusnumerot dokumentoidaan.

Polttoainekoneikon komponenteille on luokituslaitoksien hyväksymiä erilaisia testausarvoja, esimerkkinä booster-pumppujen todellinen käyttöpainne 8 bar, suunnittelupaine 16 bar ja testauspainne 1,5 kertaa suunnittelupaine eli 24 bar.

3.3 Moottorivalmistajat

Valmistettavat polttoainekoneikot toimivat laivan moottorien apulaitteina. Merkittävimpinä yhteistyökumppaneina toimivat MAN B & W, CAT / MaK, Huyndai Heavy Industries ja Wärtsilä. 2-tahtimoottorien markkinat jakautuvat lähes kokonaan MANin ja Wärtsilän kesken niin, että MANin osuus on noin 80 % (The Motorship 2013).

Vaatimukset

Kullakin moottorivalmistajalla on hieman erilaisia vaatimuksia, jotka esitetään kunkin valmistajan moottorikohtaisissa projektioppaissa. Vaatimukset kohdistuvat useimmiten käytettävän polttoaineen ominaisuuksiin, kuten virtausnopeuksiin ja virtausmääriin, polttoaineen lämpötilaan ja sen viskositeettiin sekä käytettävään syöttöpaineeseen.

Viskositeettisuositus on tyypillisesti Wärtsilän moottoreissa 16–24 cSt ja MANin moottoreissa 12–14 cSt (HFO). Lämpötilan osalta Wärtsilän suositus maksimilämpötilalle (HFO 380) on 140 °C, MANin vastaava suositus on 142 °C. (Wärtsilä 2014a, 3.3; MAN 2015, 346.) Mikäli polttoaine on liian kuumaa, osa siitä saattaa höyrystyä ruiskutuspumppuissa (Draffin 2012, 96). Riittävän suurella polttoaineen määrällä ja painetasolla ehkäistään polttoaineen kavitoitumisilmiön syntymistä ruiskutussuuttimien avautumisen ja siitä johtuvan hetkellisen paineenlaskun aikana (Niemi, S. Henkilökohtainen tiedonanto 24.3.2016).

Valmistajat määrittelevät moottoreilleen vaadittavan kierrätettävän polttoaineen virtausmäärän, esimerkiksi MAN 6S60ME-C8.5 (NMCR 14280 kW) moottorin virtausvaatimus on 7,0 m³/h (MAN 2014, 150). Ylivirtausmäärällä tarkoitetaan booster-pumppujen kierrättämän polttoaineen ylimäärää, jolla varmistetaan sen riittävyys moottorille, ja joka palautuu käyttämättömänä uudelleen kierto. Yleisesti käytössä oleva vaatimus booster-pumppujen tuotolle on kolminkertainen polttoainemäärä 100 % kuormituksella. Osalla moottoreista kiertosuhteen vaatimus on kuitenkin korkeampi ja esimerkiksi Wärtsilän Dual Fuel moottoreilla on käytössä nelin- ja viisinkertaisia määriä (Wärtsilä 2015, 20). Polttoaineen ylivirtausmäärä vaihtelee moottorityypeittäin ja sillä varmistetaan riittävä polttoaineen määrä ennen moottorin korkeapainepumppuja ja ruiskutussuuttimia.

Esimerkkinä esitetään merkittävimpiä polttoainejärjestelmälle asetettuja vaatimuksia käytettäessä MAN S46 – 50 – 60 – 70 MC-C -moottoreita (MAN 2009a, 153–161). Kyseiset moottorityypit edustavat rahtialuksissa yleisiä hidaskäyntistä 2-tahtimoottoreita, jotka vaatimuksiltaan ovat hyvin samankaltaisia useimpien muiden moottorien kanssa:

- Booster-pumpuilla moottorille (moottorin korkeapainepumpuille) tuotettava paine on 7–8 bar, lämpötila 150 °C.
- Polttoaineen suurimmat sallitut virtausnopeudet moottorin ulkopuolisille putkistoille ja liitännöille ovat MDO 1,0 m/s ja HFO 0,6 m/s.
- Lämmittimien tulee olla putki- tai levylämmönvaihtintyyppisiä, työpaine 10 bar, painehäviö lämmönvaihtimessa enintään 1 bar, lämpötilat tulo- ja menopuolelle 100 / 150 °C ja höyrynsyötön paine 7 bar (a).
- Suodattimet voivat olla käsin- (duplex-tyyppinen) tai automaattisesti puhdistuvia ohivirtausventtiilillä varustettuja suodattimia. Suodattimen sallittu painehäviö on enintään 0,3 bar ja automaattisuodattimen huuhtelu käynnistetään kun painehäviö on enintään 0,5 bar. Tämän lisäksi automaattisuodattimen huuhtelun aikana tulee varmistua riittävästä polttoaineen painetasosta. Suodattimen verkon hienous eli tiheys on 50 µm.

Polttoaineen tulee täyttää ISO 8217-2010 standardi jonka lisäksi koostumuksessa saattaa olla moottorivalmistajan lisävaatimuksia yleisimmin veden, alumiinin ja piin osuuksista ennen moottoriin ruiskutusta.

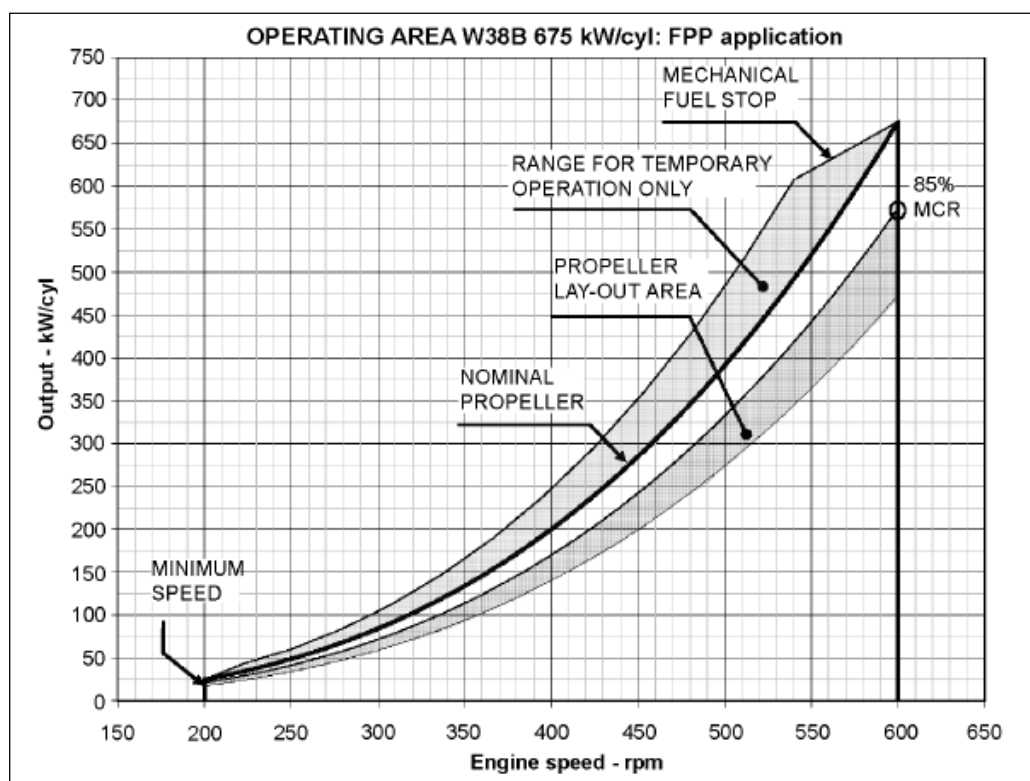
Projektioppaissa esitetään tiedot vaadituista arvoista jonka lisäksi useimmat moottorivalmistajat ilmoittavat ohjeensa polttoaineen vaihdon (HFO – MDO) aikana tapahtuvista toimenpiteistä (Kuiken 2012a, 164).

4 ENERGIAN KÄYTTÖ JA TUOTANTO

4.1 Tuotettava teho ja MCR

Käytetyin voimanlähde aluksissa on dieselmoottori. Valtaosa tankkereista ja irtolastialuksista varustetaan hidaskäyntisillä 2-tahtimoottoreilla. Hidaskäyntisiä moottoreita valmistetaan pienimmistä 1200 kW tehoisista alkaen ja tehokkaimmat kehittävät lähes 100000 kW (Kuiken 2012b, 102).

Laivakäytössä olevien mekaanista propulsiota käyttävien dieselmoottorien suurin jatkuva teho (MCR, Maximum Continuous Rating) on moottorivalmistajien yleisesti rajoittama 85 % täydestä konetehosta (kuva 5).



Kuva 5. Tyypillinen meridieselin käyttöalue, kiinteälapainen potkuri (Wärtsilä 2014b).

Operaattorit käyttävät aluksiaan usein vähäisemmällä kuormituksella, tankki- ja irtolastialuksia 55–60 % kuormituksella ja konttialuksia tätäkin alhaisemmalla 35–45 % kuormituksella. Tyypillinen aluksen nopeus on 70–80 % suunnittelunopeudesta (U.S. Energy

Information Administration 2015, 7–8). Kookkaan dieselmoottorin polttoaineen ominaiskulutus ei merkittävästi muutu kuormituksen ollessa välillä 40–100 %. Alle 40 % kuormituksella hyötysuhde heikkenee nopeasti (Niemi 2016). Suurien laivamoottorien ominaiskulutukset vaihtelevat moottorimalleista ja valmistajista riippuen 170–200 g/kWh välillä. Ilman säädettävää ruiskutuksen ajoituslaitteistoa (Variable Injection Timing, VIT) moottorin optimipiste on samassa pisteessä kuin sen MCR-piste (MAN 2009b, 2.04.1 - 2).

Riippuen käytettävästä moottorityypistä ja sylinteritilavuudesta dieselmoottorin hyötysuhde vaihtelee välillä 25–50 %. Suurien hidaskäyntisten 2–tahtisten ristikappalemoottorien hyötysuhde on jopa yli 50 % (Kuiken 2012b, 176) ja nykypäivänä myös suuret Dual Fuel -moottorit saavuttavat lähes saman tason (Niemi 2016).

4.2 Tehontarve

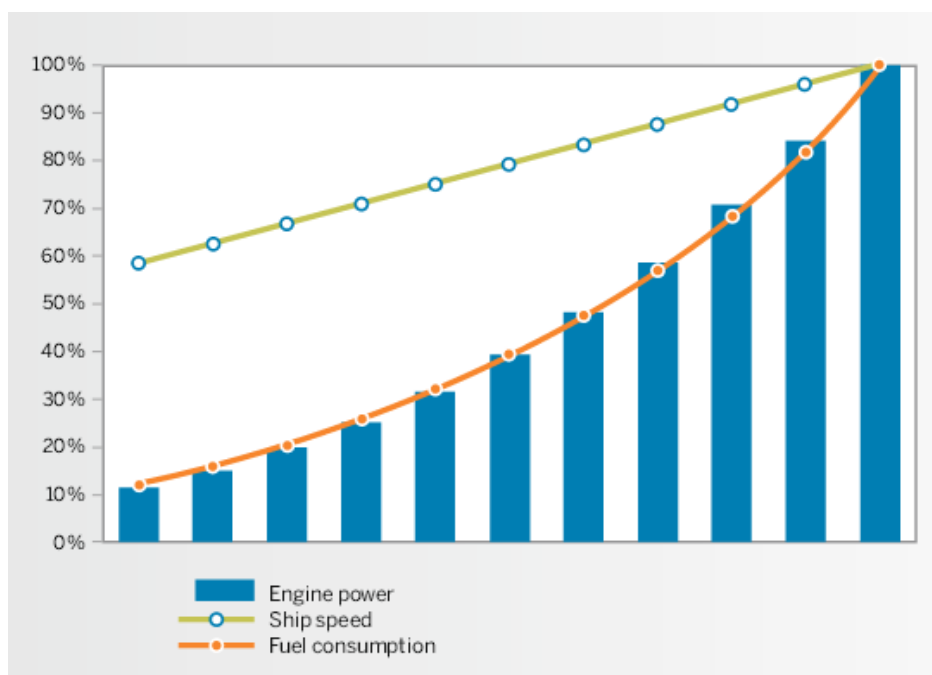
Meriliikenteessä olevan aluksen energiantarve ja sen jakautuminen vaihtelevat huomattavasti riippuen siitä minkälainen alus on kyseessä ja minkälaisella käyttöprofiililla sitä operoidaan. Rahtiliikenteeseen suunnitellun aluksen käytettävästä energiasta saattaa kulua jopa yli 80 % sen propulsiolaitteistoon, kun taas esimerkiksi risteilijän muu tehontarve on huomattavan suuri ja aluksen liikuttamiseen tarvittava energiamäärä saattaa olla noin 50–80 % kokonaistehosta. Loput käytettävästä energiasta kulutetaan aluksen muiden järjestelmien ylläpitoon kuten ilmanvaihtoon, valaistukseen ja muuhun kulutukseen.

Energiantarpeeseen vaikuttavista yksittäisistä tekijöistä merkittävin on aluksen käyttämä nopeus, jonka lisäksi vaikuttavat kulkuvastuksen muodossa sen hydrodynaamiset ominaisuudet, lastista ja painolastivesistä johtuva syväys, kulkuasento sekä vallitsevat sääolot. Kokonaisuudessaan aluksen kulkuvastuksen muodostuminen on hyvin kompleksinen arvioitava. Yksinkertaistettuna aluksen tehontarve voidaan suhteuttaa käytettävään nopeuteen ja huomioidessa eri laivatyypeille ominaisia, kokemusperäisiä suuntavia kertoimia, voidaan sen propulsioon käytettävä teho karkeasti määrittää.

4.3 Slow steaming

Konttialuksen ”täysi” nopeus on tyypillisesti 24 solmua, joka saavutetaan tavallisimmin noin 85–90 %:n koneteholla. Pienentämällä aluksen nopeutta 21 solmuun (-12,5 %), kutsutaan sitä ”slow steamingiksi”. Pudotettaessa nopeutta lisää 18 solmuun (-25 %), on käytettävä termi ”extra slow” ja 15 solmun nopeudella (-37,5 %) ”super slow”.

Kuviossa 2 esitetään arvio aluksen käyttämän nopeuden vaikutuksesta sen tehontarpeeseen ja siten myös polttoainekulutukseen.

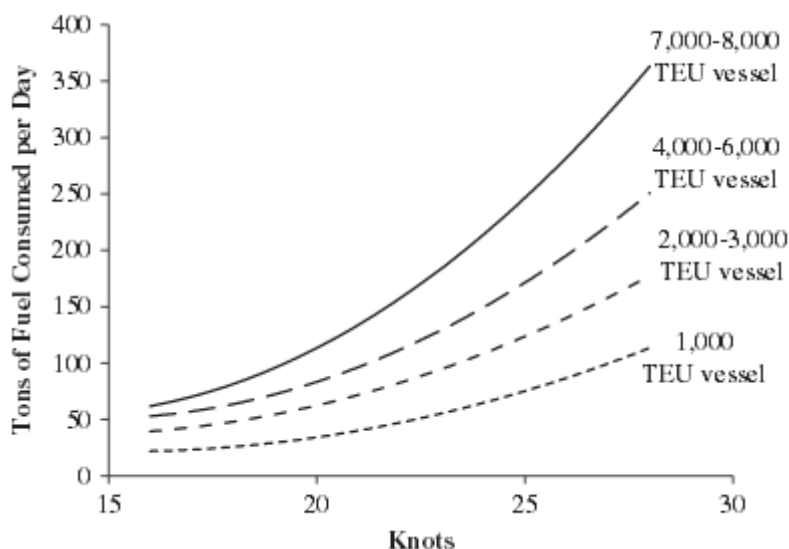


Kuvio 2. Käytettävän nopeuden suhde tehontarpeeseen ja kulutukseen (Wärtsilä 2010).

Täydellä nopeudella operoitaessa käytetty teho ja kulutus ovat huipussaan (100 %). Alennettaessa nopeutta 12,5 % (”slow”), on käytetty konetehtoa ja kulutus 70 % aiemmasta. ”Extra slow” -tapauksessa nopeutta lasketaan 25 %, josta on seurauksena 70 % pienentynyt tehontarve ja kulutus. ”Super slow” -ajossa nopeutta on laskettu lähes puoleen, 62,5 %:iin alkuperäisestä, jonka johdosta aluksen teho- ja kulutusarvot ovat pudonneet 35 %. Alhaisempi nopeus vaikuttaa välittömästi aluksen energiatehokkuuteen säästämällä polttoainetta ja siten kustannuksia. Polttoainekulut voivat olla jopa yli puolet operointikustannuksista, jolloin polttoaineen hinnalla on suuri merkitys konttikuljetushintojen muodostumisessa. Pienentynyt polttoainekulutus johtaa myös pienempiin ympäristöpäästöihin (CO₂, SO₂, NO_x).

Aluksen käyttöprofiili muodostuu pitkälti sen toiminta-alueesta ja reitistä sekä käytettävästä nopeudesta ja lastin määrästä. Polttoainekustannuksilla on suuri merkitys kannattavuuteen operoitaessa merikuljetuksia. Polttoainekustannuksiin pystytään voimakkaasti vaikuttamaan aluksen käyttämän alhaisemman konetehon avulla. Nykyisin useat laivooperaattorit, jopa 75 % rahtiliikenteestä, käyttävät aluksiaan huomattavasti alhaisemalla nopeudella ja koneteholla (slow steaming). Valtaosa operaattoreista käyttää laivastoaan slow steaming -arvolla 30–50 % MCR (The Motorship. 2012). Osa varustamoista operoi aluksiaan tätäkin alhaisemmilla nopeuksilla.

Alusta operoitaessa alhaisemmalla koneteholla ja nopeudella sen polttoainekustannukset pienenevät nopeasti. Kuviossa 3 esitetään arvioita konttialusten eri kokoluokissa kulutettavista päivittäisistä polttoainemääristä. Pienentämällä kooltaan 4000–6000 TEU:n konttialuksen operointinopeutta 25 solmusta 20 solmuun, on mahdollista saavuttaa lähes sadan tonnin (kg) päivittäinen säästö polttoainekulutuksessa. TEU on kansainvälinen konttiyksikkö, 1 TEU = 20 jalan kontti (” twenty-foot equivalent unit ”).



Kuvio 3. Nopeuden ja aluksen koon suhde päivittäiseen polttoaineenkulutukseen (Maritime Economics & Logistics 2013).

Esimerkkilaskelma, slow steaming

Esimerkkilaskelmassa esitetään nopeuden vaikutus polttoaineenkulutukseen käytettäessä suurta, 2-tahtista Wärtsilä 10RTA96C -moottoria (taulukko 1).

Taulukko 1. Nopeuden vaikutus tehoon ja kulutukseen, Wärtsilä 10RTA96C.

	Nopeus, merimailia tunnissa	
	23,5	12,5
Teho, kW	39305	5366
Polttoaineenkulutus, kg/h	7152	1195
Polttoaineenkulutus, per merimaili	719,09	112,52
Polttoaineen ominaiskulutus, g/kWh	180,74	212,15

Slow steamingin tuoma muutos

- Matkanopeus laskee 47 %
- Tehontarve laskee 86 %
- Polttoaineen kulutus laskee 83 %
- Polttoaineen ominaiskulutus kasvaa 17 %
- Polttoaineen kulutus per merimaili laskee 84 %.

(Kuiken 2012b, 188).

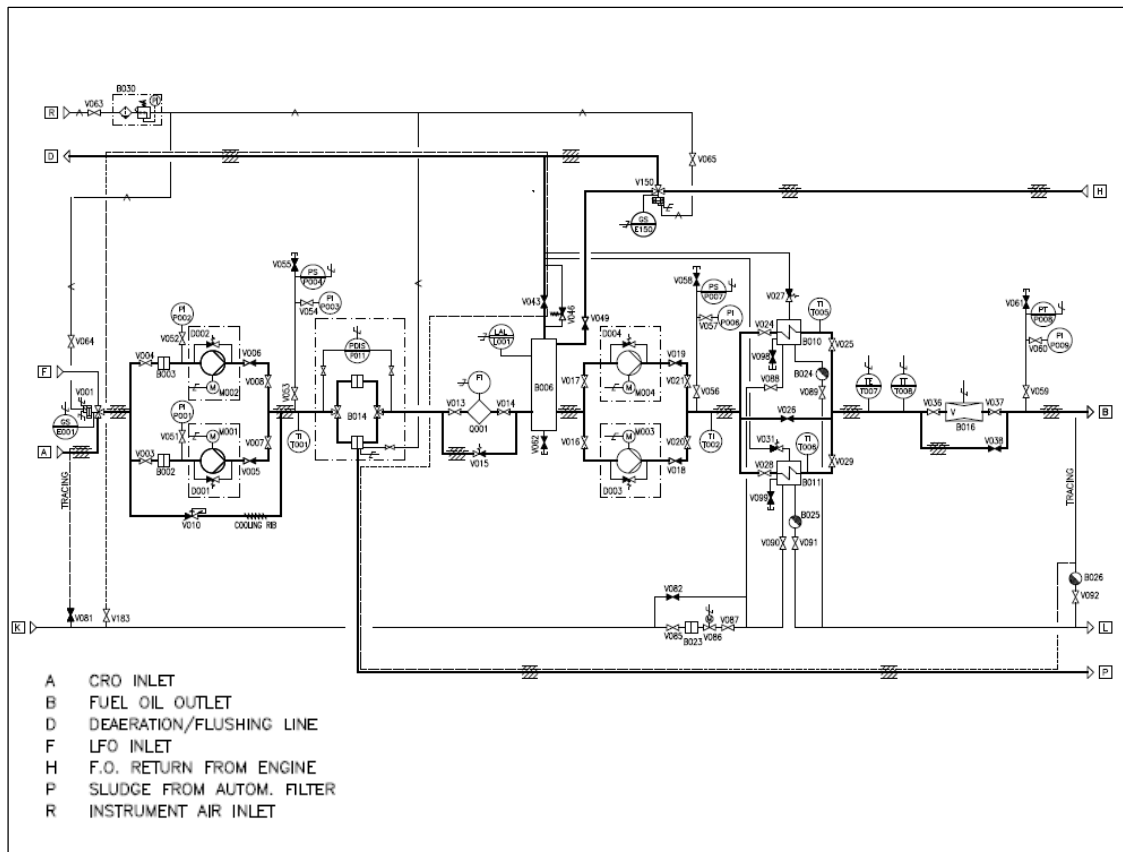
Aluksen nopeuden laskiessa 47 % 23,5 solmusta 12,5 solmuun, sen polttoaineenkulutus on 83 % alhaisempi aiempaan verrattuna. Kulutettavan polttoaineen määrä vähenee esimerkkilaskelmassa lähes 6 tonnia tunnissa.

Matka-aika kuitenkin kasvaa vastaavasti 47 % ja kuvitteelliseen 2000 merimailin matkaan (2 x 1852 km) kulutettava aika on 23,5 solmun nopeudella noin 3,5 vrk, hitaammalla nopeudella 6,5 vrk.

5 NYKYISET SÄÄTÖJÄRJESTELMÄT

5.1 Polttoainekoneikko (feeder, booster), käynnistin (starter)

Polttoainetta kierrätetään ja paineistetaan (kuva 6, liite 4) feeder- (D001, D002) ja booster-pumpuilla (D003, D004). Pumput toimivat nimelliskierrosnopeudellaan (tyypillisesti 3000 tai 3500 rpm) nostaen paineen vaaditulle tasolle. Pumput ovat redundanttisuusvaatimuksen johdosta kahdennettuja ja varalla olevat stand by-pumput käynnistyvät automaattisesti painetason laskiessa alle asetusarvojen.



Kuva 6. Booster-koneikko, PI-kaavio (Auramarine Oy).

5.2 Varmennuspumppujen käynnistyminen

Varmennuksena olevat stand by-pumput käynnistyvät automaattisesti järjestelmän häiriötilanteessa tai tilanteessa, jossa muusta syystä ensisijaisten pumppujen painetaso ei ole riittävä. Häiriötilanteessa molemmat pumput ovat aina käynnissä.

Feeder-pumppu käynnistetään tilanteessa, jossa sekoitustankin pinta (LAL, L001) tai painearvo (PT, P004) ennen booster-yksikköä sijaitsevassa järjestelmän osassa saavuttaa asetusarvonsa (alaraja).

Booster-pumppujen tuottamaa painetta valvotaan painekeytkimellä (PS, P007). Paineen laskiessa alle asetusrajan stand by-pumppu käynnistyy.

5.3 Lämmitys, lämpötila, viskositeetti, tilavuusvirta

Lämmittimellä (B010, B011) nostetaan moottorille johdettavan polttoaineen lämpötila vaaditulle tasolle. Lämmitintä ohjataan lämpötila-anturilla (TT, T007). Viskositeettimitaukseen käytetään viskosimetriä (B016). Käytettävän lämpötilan ja viskositeetin määrittämiseen käyttäjä valitsee halutun parametrin, viskositeetin tai lämpötilan. Sääto tapahtuu automaation avulla ja erityisesti polttoaineen vaihdon yhteydessä riittävän hitaasti. Moottorille kierrätetyn polttoaineen määrää mitataan tilavuusvirtausmittarilla (Q001). Putkisto on varustettu kokonaisuudessaan saattolämmityksellä.

5.4 Nykyisen koneikon hyötynäkökantoja

Nykyisellä perusratkaisulla on syöttökoneikkoja valmistettu jo yli 20 vuoden ajan ja kokemusten perusteella ratkaisu on toimintavarma eikä erityisen helposti vikaantuva. Varmuuteen on vaikuttanut käytettävä tunnettu ja yksinkertainen tekniikka sekä siihen valikoituneet laadukkaat komponentit. Valmistuksen työvaiheet ovat kokemusten myötä tehostuneet.

Peruskoneikon yksinkertaisuudesta johtuen säädettäviä asioita on vähän ja ne kohdistuvat tavoiteltavien lämpötila-, viskositeetti- ja painearvojen saavuttamiseen ja ylläpitoon. Monimutkaisemmissa koneikkoratkaisuissa on usein lisäksi käytössä erilaisia jäähdytysjärjestelyjä, lisälämmityksiä, lisäksi kierrätyksiä sekä vaatimuksia ominaisuuksien muutosnopeuksille. Lisätoiminnot vaikuttavat aina välittömästi säätö- ja mittauskomponenttien ja -laitteiden määrän lisääntymiseen ja automaatiojärjestelmän monimutkaisuuteen.

5.5 Nykyisen koneikon rajoitteet

Moottorivalmistajan vaatimuksena olevan ylivirtaussuhteen määrittely tapahtuu tilanteessa jossa moottorin kuormitus on 100 % MCR. Käytössä olevat pumput kierrättävät polttoainetta tarpeettomasti, mikäli kuormitus on alle täyden tehon. Koneikon käsittelemän polttoainemäärän säädettävyyttä kuormitustilanteen mukaisesti ei nykyratkaisulla ole. Lisäksi pumppujen mitoituksessa on käytetty varmuuskertoimia, esimerkiksi feeder-pumput mitoitetaan nykykäytännöllä 20–30 %:n verran ylitehoisiksi.

Nyt käytettävä, täysin ylimääräinen pumppausenergiankäyttö korostuu etenkin operoitaessa alusta hitaammalla nopeudella tai muutoin vähäisemmällä moottorin kuormituksella (slow steaming). Slow steaming -tilanteessa moottorille kierrätettävä polttoainemäärä saattaa olla tarvittavaan määrään nähden moninkertainen. Tarpeettomasta energiankäytöstä syntyy kustannuksia polttoaineen kulutuksen muodossa, sillä kaikki energia laivalla tuotetaan polttoaineella.

6 DYNAAMISET KÄYTTÖTAVAT

Dynaamiseen ohjaukseen käytetään taajuusmuuttajia, jotka sähkövirran taajuuteen vaikuttamalla mahdollistavat sähkömoottorien kierrosnopeuden ja vääntömomentin säätämisen. Taajuusmuuttajia käytetään molempien, feeder- ja booster-pumppujen kierrosnopeuden hallintaan. Sähkömoottorin kierrosnopeuden avulla syöttökoneikon pumppaus-teho optimoidaan sen hetkisen kuormitustilanteen mukaiseksi. Feeder- ja booster-pumppujen redundanttisuusvaatimuksista johtuen jokaista sähkömoottoria käytetään omalla erillisellä taajuusmuuttajalla. Polttoainekoneikon muussa toimintatavassa ei tapahdu muutoksia vaan ohjaukset tapahtuvat kuten edellä kohdissa 5.1 – 3 esitetään.

6.1 Polttoainekoneikko (feeder, booster), taajuusmuuttaja

Mikäli sähkömoottoria käytetään vakiotajuudella ilman taajuusmuuttajaa, sen pyörimisnopeutta ei voida säätää. Moottori siis tuottaa tietyllä kierrosnopeudella ainoastaan tietyn vääntömomentin. Taajuusmuuttajakäyttö mahdollistaa kuormitettavuuden muunneltavuuden ja ne soveltuvatkin hyvin sähkömoottorin nopeuden ja sen tuottaman vääntömomentin säätämiseen. Taajuusmuuttajan hyötysuhde on erittäin hyvä, noin 97–99 %.

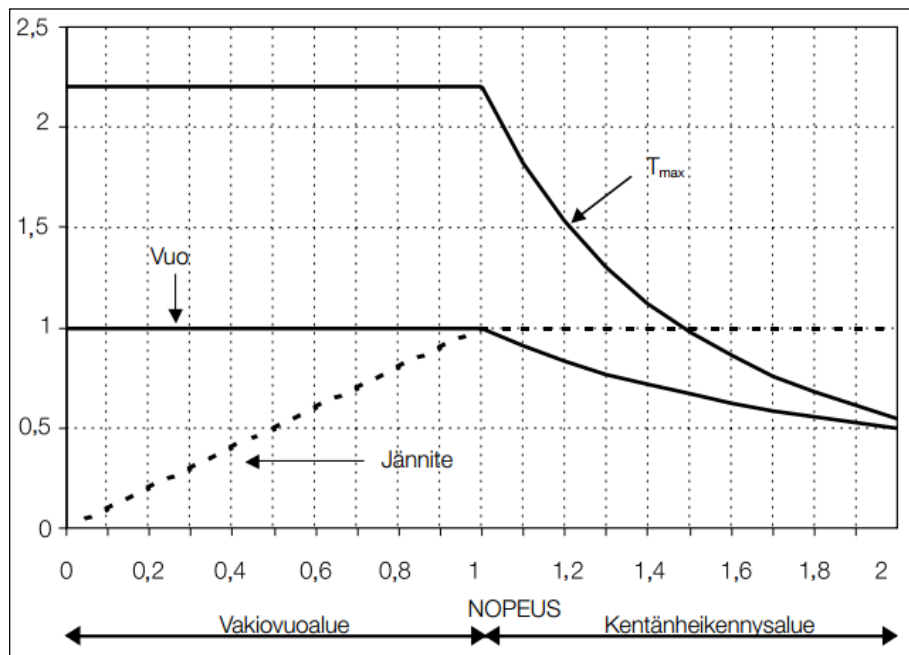
Taajuusmuuttajien valintaa suoritettaessa huomionarvoisia asioita ovat:

- Käytettävä jännite
- Käytettävä moottoriteho
- Käyttöympäristö - soveltuvuus polttoainekoneikkokäyttöön, kotelointiluokka (IP)
- I / O, analogia- ja digitaalitulot, - lähdöt
- Kenttäväylätyyppi, esim. Modbus tai PROFIBUS
- Luokituslaitosten hyväksynät

Valintoja suoritettaessa on hyvin tärkeää varmistua AC-käytön ja moottorin yhteensopi-vuudesta. Käytettäessä yhteensopimattomia laitteita joko moottori tai taajuusmuuttaja ylikuumenee ja vahingoittuu.

6.2 Sähkömoottorien soveltuvuus

Sähkömoottorit soveltuvat hyvin vakiovoalueellaan nopeussäädettäviksi tasaisen vääntömomenttiominaisuutensa johdosta (kuvio 4). Nimellistaajuuden alapuolella olevaa aluetta kutsutaan vakiovoalueeksi, yläpuolella olevaa kentänheikennysalueeksi. (ABB 2001a, 10–11).

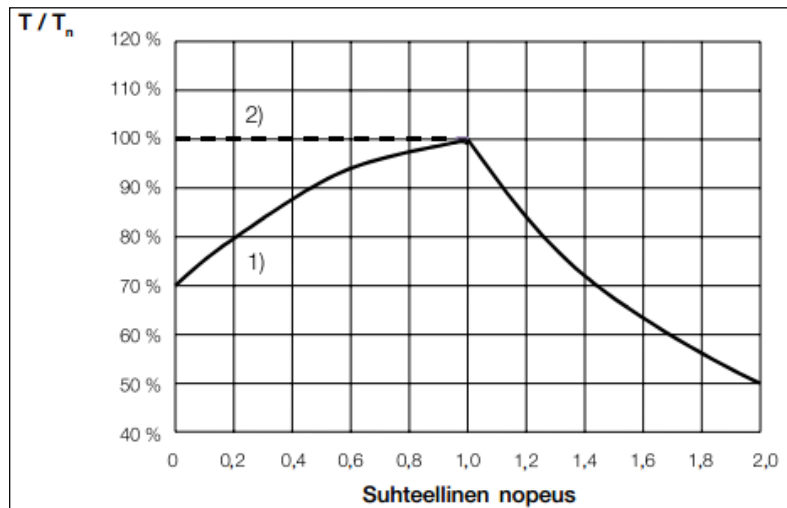


Kuvio 4. Oikosulkumoottorin (AC) maksimimomentti ja jännite suhteellisen nopeuden funktiona (ABB 2001a).

Taajuussäätöä käytettäessä tulee sähkömoottorien kuormitettavuus tarkistaa valmistajan kuormitettavuuskäyrästä ja valita moottorin napaluku yhteensopivaksi. Moottorivalinnassa huomioidaan mahdollinen taajuusmuuttajan rajoittama maksimimomentti (ABB 2001a, 24).

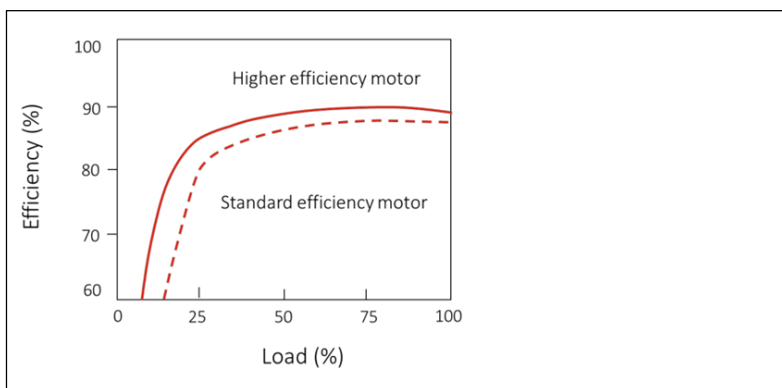
Moottorin terminen kuormitus huomioidaan mitoittaessa moottoreita. Vakiomoottorit ovat itsejäähdytteisiä ja pienemmällä kierrosnopeudella jäähtyminen ja terminen kuormitettavuus laskevat. Tämä rajoittaa käytettävää jatkuvaa momenttia alhaisemmillä käyntinopeuksilla ja suuremmalla kuormituksella tulee varmistua jäähtytyksen riittävydestä.

Erillisellä jäähdytyksellä varustettua moottoria voidaan kuormittaa myös matalilla käyntinopeuksilla (kuvio 5). Sekä itse- että erillisjäähdytyksessä vääntömomentti rajoitetaan termisesti kentänheikennysalueelle (ABB 2001a, 23). Erillisen jäähdytyksen tarve arvioidaan aina moottorivalinnan yhteydessä koneikkokohtaisesti.



Kuvio 5. Vakio-oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuus taajuusmuuttajalla säädetyssä käytössä 1) ilman erillistä jäähdytystä ja 2) erillisjäähdytyksellä (ABB 2001a).

Sähkömoottorien hyötysuhde on yleensä välillä 82–87 % (ABB 2001b, 14). Taajuussäätö sopii hyvin sähkömoottorin kierrosnopeuden säätämiseen, taajuusmuuttajien hyötysuhteen ollessa hyvin korkea (97–99 %) ja sähkömoottorin laajan tehokkaan käyttöalueen (kuvio 6) johdosta laitteiston kokonaishyötysuhde ei juuri muutu. Vasta alle 25 % kuormituksella moottorin hyötysuhde laskee jyrkästi. (ABB 2001b, 14; Motiva 2009).

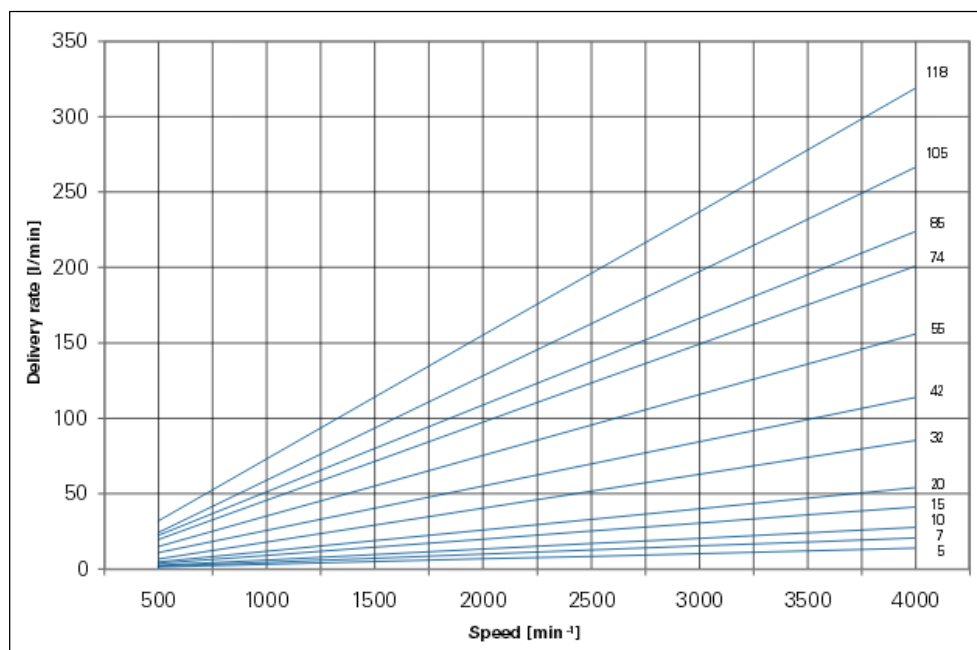


Kuvio 6. Sähkömoottorin hyötysuhde eri kuormituksilla (Motiva 2009).

6.3 Pumppujen soveltuvuus

Pumput valitaan käyttötarkoituksensa ja niille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Koneikon pumput ovat tarkoitettuja viskooseille nesteille ja polttoaineille. Pumpuilta vaaditaan riittävää käyttölämpötila-aluetta, nesteen siirtokykyä ja tuotettavaa painetta. Siirtokyky (tilavuusvirta) ja paine ovat perusteina pumppujen mitoituksessa. Pumppuvalinnassa ja -mitoituksessa käytetään apuna valmistajien (Kral, IMO Pumps) mitoitusohjelmia.

Koneikossa käytettävä pumpputyyppi, 3-ruuvipumppu soveltuu hyvin käytettäväksi polttoainepumppuna niin varsinaisena siirto- kuin booster-yksikön kierrätyspumppuna. Pumpputyyppi sopii hyvin kierrosnopeussäädettäväksi lineaarisen siirto- ja paineentuotokykyä sekä laajan toiminta-alueensa johdosta (kuvio 7). Pumpputyyppi on verrattain pieni vaadittuun hydrauliseen tehoon nähden ja sen tuottama paineen vaihtelu on hyvin alhainen. (CIMAC 2007).

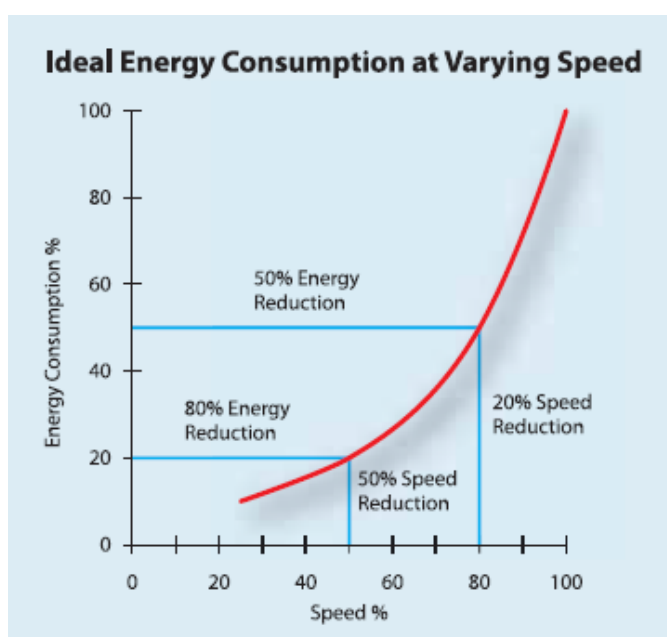


Kuvio 7. 3-ruuvipumpun toiminta eri nopeuksilla (Kral Screw Pumps 2009).

6.4 Taajuusmuuttajaohjatun koneikon hyötynäkökantoja

Koneikon polttoainetta siirtävien pumppujen kierrosnopeussäätö mahdollistaa tarkoituksenmukaisen pumppaustehon käytön erilaisissa aluksen moottorin kuormitustilanteissa. Polttoaineen perusteettoman kierrätyksen vähentäminen luo kustannussäästöä energiankulutuksen muodossa. Polttoainekoneikon toiminta on optimoitavissa kuormitustilanteiden vaihdellessa mahdollisimman energiataloudelliseksi.

Taajuusmuuttajan käyttö kierrosnopeuden säätöön on kokonaistaloudellisesti energiatehokasta. Teoreettisesti tarkasteltuna jo 20 % pienempi moottorin kierrosnopeuden käyttö mahdollistaa useissa tapauksissa 50 % alentuneen energiankulutuksen ja 50 % alhaisempi kierrosnopeus 80 %:n energiansäästön (kuvio 8). Lisäksi alentuneen pyörintänopeuden johdosta moottorien ja pumppujen kuluminen on vähäisempää. Vähäisempi ja hitaampi kuluminen kasvattavat laitteen käyttöikä ja vaikuttavat siten myös kustannuksiin.



Kuvio 8. Energiankulutus ja taajuusmuuttajakäyttö (Danfoss 2008).

Taajuusmuuttajia käytetään sähkömoottorien kierrosluvun säätöön yleisesti eri teollisuuden aloilla, joissa ne ovat osoittautuneet luotettaviksi ja käyttötarkoitukseen hyvin soveltuviksi. Taajuusmuuttajien ohjelmoitaviin komponentteihin on mahdollista yhdistää mo-

nipuolisesti erilaisia seurattavia parametreja, jotka ovat haluttaessa etäpaneelin toteutettuina tarkasteltavissa ja hallittavissa myös esimerkiksi konevalvomosta tai komentosillalta käsin.

6.5 Taajuusmuuttajaohjatun koneikon rajoitteet

Taajuusmuuttajakäytöistä ei vielä ole paljonkaan kokemusta polttoainekoneikoissa. Ohjausjärjestelmien kehittyessä suunnitelmissa esiintyy päivitystarvetta, joten muutoksiin tulee varautua. Logiikkaohjaus mahdollistaa hyvin monipuolisen käytön, mutta järjestelmän säätötoimenpiteet koneikon toiminnan optimoimiseksi vaativat asiantuntemusta ja taajuusmuuttajien käyttöliittymiin perehtymistä.

Laivan käyttöhenkilökunta arvostaa perinteisesti laitteistojen yksinkertaisuutta ja käyttövarmuutta. Häiriö- tai vikatilanteessa taajuusmuuttajan korjaaminen on haasteellista, jolloin ratkaisu vakavammassa vikatilanteessa saattaa olla varaosana säilytettävä muuttaja.

Pumpun kierrosnopeuden voimakkaasti laskiessa tulee uudelleen arvioitavaksi nykyisten moottori- ja pumppuvalintojen ominaisuudet ja niistä muodostuvat käytettävyydet toiminta-alueiden laajentuessa. Lisäksi säädettävyyttä rajoittavat pumpun suurin sallittu kierrosnopeus ja taajuusmuuttajan taajuus.

6.6 Kustannukset

Valmistajan näkökulmasta on kiinnostavaa selvittää taajuusmuuttajaohjatun ja aiemalla toteutuksella varustetun koneikon hintasuhde ja mahdollisesta lisäkulusta saatava hyöty. Teknisesti tarkasteltuna laitteiston aiempi käynnistin-tyyppinen (starter) releohjauksilla toteutettu ohjaustoiminta vaihdetaan väyläpohjaiseen PLC-ohjaukseen. Tarkastelussa huomioidaan kehitysvaiheessa lisääntyneestä suunnittelutyöstä ja tuotannossa aiheutuvista muutoksista sekä muuttuvista komponenteista aiheutuvat kustannukset.

Etua järjestelyllä syntyy myös tilanteessa, jossa moottoreita, pumppuja ja mahdollisesti muita komponentteja pystytään vakioimaan. Käytettäessä vakioituja laitteita erilaisten

ratkaisujen lukumäärät vähenevät ja helpottavat siten suunnittelutyötä. Vakioratkaisut mahdollistavat ja parantavat varaston ja tuotannon kustannustehokkuutta.

Yrityksen suorittamien kustannustarkasteluiden perusteella arvioidaan pelkkien koneikkokohtaisten kustannuksien muutoksen olevan valmistajalle $\pm 10\text{--}15\%$ riippuen käytetävästä laskentamallista. Lisäkustannuksia syntyy lisälaitteista kuten esimerkiksi mahdollisista kosketusnäyttöpaneeleista sekä lisääntyvästä suunnittelusta. Parantuneesta energiatehokkuudesta saadaan kuitenkin lisäarvoa myyntiä edistävänä ominaisuutena.

Uusiin, kehitettäviin laitteisiin liittyy myös riskejä, joiden vaikutuksia yrityksessä arvioidaan. Riskit voivat tässä tapauksessa olla taloudellisia menetyksiä (turha, kannattamaton suunnittelutyö) tai laitteiston toiminnallisuuden parantumisesta aiheutuneita kuluja. Laitteiden käyttövarmuus ja luotettavuus tulee saada tasolle, jolla takuu- ja muita kustannuksia aiheuttavat velvoitteet pystytään pitämään riittävän alhaisina.

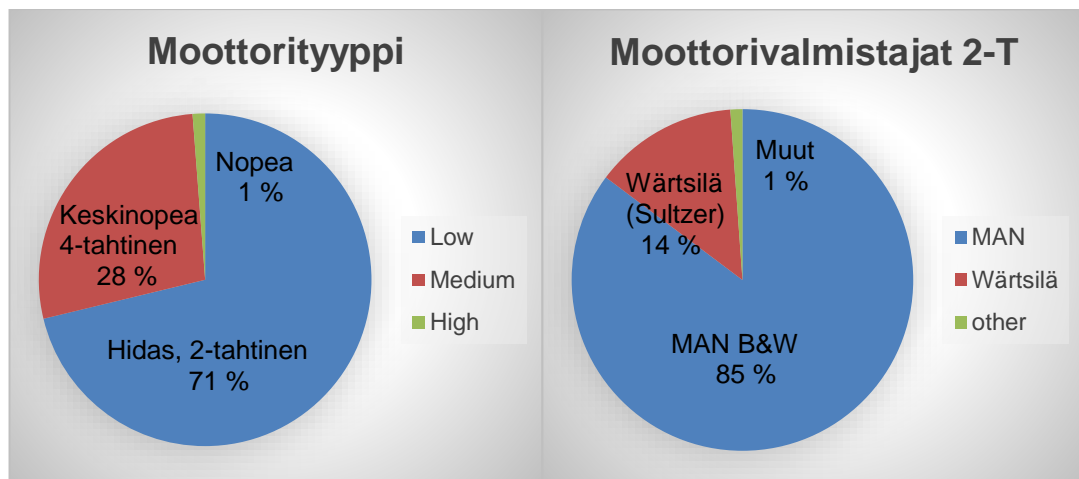
Mahdollisia luokituslaitosten hyväksymisistä tai muista vaatimuksista aiheutuvia lisäkustannuksia ei ole huomioitu.

Asiakasnäkökulmasta tarkasteltuna laitteisto pyritään aikaansaamaan mahdollisimman edullisesti riittäväillä ominaisuuksilla ja laatuvaatimuksilla varustettuna. Mikäli tuote on kilpailijoitaan kalliimpi, sen tulee mahdollistaa etuja, jotka pystytään osoittamaan taloudellisesti kannattaviksi. Taloudellista kannattavuutta pystytään perustelemaan säästyvällä energiankulutuksella, joka on vahvasti riippuvainen polttoaineen hinnasta.

7 CASE: MOOTTORITYYPPI JA -VALMISTAJA

Case-tarkastelussa vertaillaan kolmen esimerkkialuksen toteutuneita käyttötietoja kahdeksaan saman koko- ja teholuokan vertailualukseen.

Auramarine Oy:n markkina-aseman ja toimitettujen tilausten perusteella voidaan todeta hidaskäyntisten 2-tahtisten merimoottorien edustavan huomattavaa suhteellista määrää rahtiliikenteen aluksien voimantuottoratkaisuista (kuvio 9). Moottorityypin suosion perusteena on mitä ilmeisimmin ainakin moottorimallin yksinkertaisuus, edullisuus ja hyvä hyötysuhde.

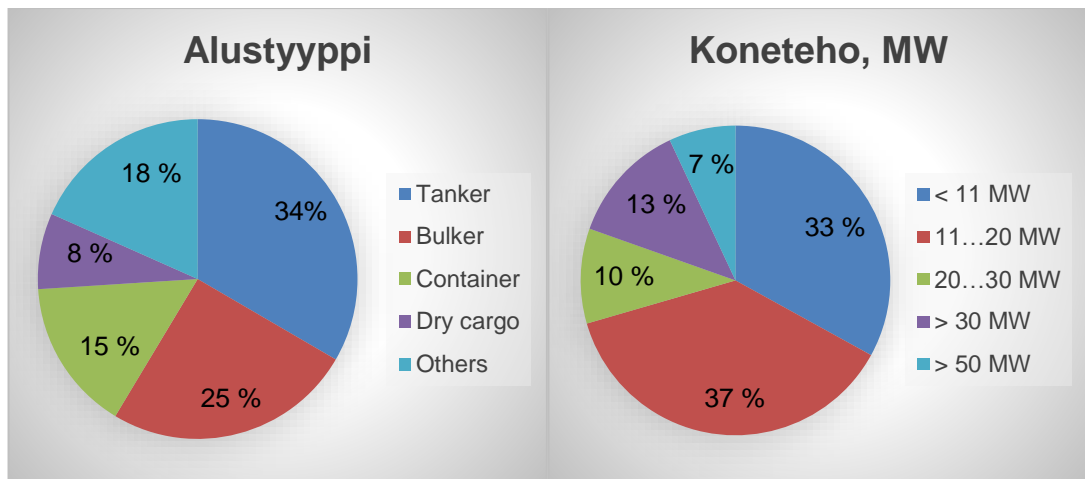


Kuvio 9. Koneikkotoimitukset: moottorityypit ja -valmistajat, jakauma (Auramarine Oy).

Auramarine Oy:n toimittamien polttoainekoneikkojen ja ylläpitämässä alusrekisterin perusteella merkittävin osa rahtiliikenteen uudistuotannosta varustetaan saksalaisen MAN B&W:n hidaskäyntisillä moottoreilla. Wärtsilän (Sulzer) moottorien osuus hitaista merimoottoreista on lukumääräisesti huomattavasti alhaisempi.

7.1 Case alusvalinnat

Case-tarkasteluun on valittu aluksia niiden alustyyppin, pääkonetyypin ja -tehon, aluksen koon ja moottorivalmistajan mukaan (kuvio 10). Valintaan on vaikuttanut myös koneikon kokoluokan yleisyys yrityksen markkinasegmentillä. Tarkasteluun on valittu tankki- ja irtolastialuksia (bulker), joiden pääkoneena on hidaskäyntinen MAN B&W:n valmistama 2-tahtinen moottori. Moottorit ovat 6-sylinterisiä ja tehoiltaan 7000–20000 kW. Alukset ovat varustettuja 1:llä pääkoneella, mekaanisella propulsiolla ja kiinteälapaisella potkurilaitteella. Alusten polttoaineen syöttökoneikot ovat tyyppillisesti tarkoitettuja HFO/MDO -käyttöön ilman mahdollisia lisälämmittimiä tai -jäähdyttimiä.



Kuvio 10. Toimitetut koneikot, alustyyppit ja konetehot (Auramarine Oy).

Käyttötiedot perustuvat NAPA Oy:n alusten järjestelmistä suoraan kerättyihin tietoihin, joita yritys itse käyttää tuottamissaan palveluissa varustamoille. Tiedot ovat toimitettu muodossa, jossa aluksen identifioiminen ei ole mahdollista, mutta aluksen muut käyttö-tiedot ovat käytettävissä. Case-aluksista tunnetaan siis nopeus, teho- ja moottoritiedot, mutta varsinaista polttoaineen syöttökoneikkoa ja sen tehotietoja ei ole tiedossa. Case-alusten tunnettujen tietojen perusteella on valittu vertailualuksia, joihin Auramarine Oy on toimittanut syöttöjärjestelmän ja joiden tiedot ovat vertailukelpoisia.

7.2 Ajoprofiili

Ajoprofiili kuvaa aluksen ajon aikaista käyttöhistoriaa, sen kuluttamaa konetehoa kyseisen ajanjakson aikana. Profiilin muodostumiseen merkittävästi vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi aluksen operointialue, syväys (lasti, painovesi), nopeus ja vallitsevat sääolot. Vertailussa ei ole huomioitu aluksen syväyksen syytä, eli onko alus ollut lastissa vai painolastissa.

Ajoprofiilit on muodostettu alustyypeittäin keskiarvoina. Käyttötiedot perustuvat NAPA Oy:n keräämiin tietoihin. Keräystaajuutena on ollut 1/h eli vuorokauden aikana on saatu tiedot 24 kertaa. Mittausajanjakso on vaihdellut muutamasta viikosta useaan kuukauteen ja sisältää ainoastaan aluksen ajoajan. Tarkasteltavasta ajanjaksosta on poistettu ne ajankohdat, jolloin alus on ollut pysähtyneenä esimerkiksi satamassa. (P.Pakkanen & J.Salo NAPA Oy, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2016)

7.3 Polttoaineen ominaiskulutus, SFOC

Moottorivalmistajan (MAN) ilmoittama polttoaineen ominaiskulutus annetaan yksikössä g/kWh olosuhteissa, jotka ovat standardein ISO 3046:2002 ja ISO15550:2002 määritetyt (MAN S60MC-C) ja polttoaineelle, jonka alempi tehollinen lämpöarvo on 42700 kJ/kg. Täyden kuorman (100 %) ominaiskulutuksella on 5 %:n toleranssi (MAN S60MC-C, S70ME-C Project Guide), joka huomioidaan vertailuja tehtäessä.

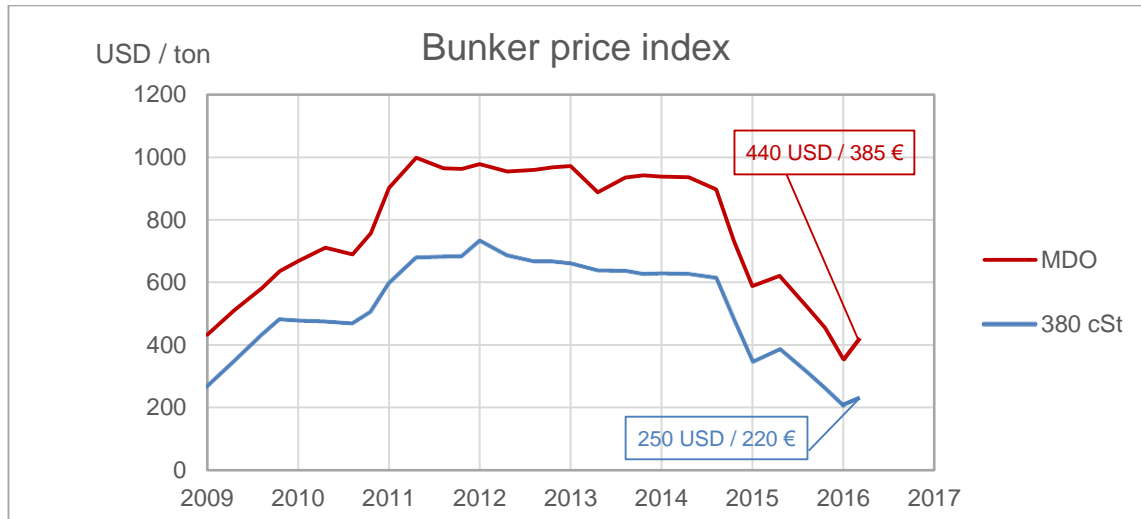
Moottorin ominaiskulutuksen muutos on vähäinen kuormituksen muuttuessa. Keskimääräinen polttoaineen ominaiskulutus valituilla moottoreilla on 172 g/kWh (taulukko 2).

Taulukko 2. Case 1–3 moottorien ominaiskulutukset (MAN Project Guide).

Case	MAN Engine	kW	rpm	Specific fuel oil consumption g / kWh			
				With high efficiency turbocharger		With conventional turbocharger	
				Load 100 %	Load 80 %	Load 100 %	Load 80 %
1	6S46MC-C8	7860	129			174	172
2	6S60MC-C7	13560	105	170	167	172	169
3	6S70MC-C7	17140	91	169	166	171	168

7.4 Polttoaineen hinta

Käytettävän polttoaineen hinta vaihtelee eri ajankohtina voimakkaasti. Hintoihin vaikuttaa myös polttoaineen hankintapaikka. Tämän hetkinen tonnihinta on lähimenneisyys huomioiden alhainen (kuvio 11).

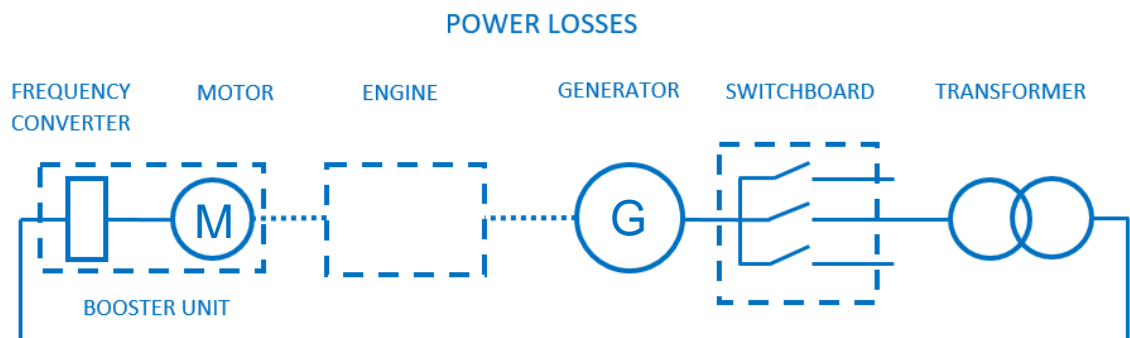


Kuvio 11. Polttoaineen hintakehitys 2009–2016 (Bunker Index 2016).

Polttoainehinnat perustuvat keskiarvolistettuihin Bunker Index–palvelussa julkaistuihin päivittäisiin hintoihin. Bunkeripolttoaineiden tonnihinnat 5.5.2016 olivat IFO 380 cSt 220 € ja MDO 385 €. (Bunker Index 2016). Tarkastelupäivän USD-arvo euroon nähden on 1,13136.

7.5 Sähkön tuotanto ja häviöt

Laivassa käytettävä sähköenergia tuotetaan dieselmootorilla. Moottorivalmistaja on huomionnut ilmoittamassaan polttoaineen ominaiskulutusarvossa (SFOC) moottorin hyötysuhteen, jonka johdosta se voidaan jättää tarkastelun ulkopuolelle. Muussa sähköverkossa esiintyy lisäksi muita merkittäviä häviöitä ja ne tulee huomioida käyttökustannuksia arvioitaessa. Tarkastelussa huomioidaan ne laitteistot ja niiden hyötysuhteet, jotka tuottavat, siirtävät tai kuluttavat sähkötehoa polttoainekoneikkoa käytettäessä (kuva 7).



Kuva 7. Laivan sähköverkossa tapahtuvien häviöiden muodostuminen.

Sähköverkossa syntyy häviöitä kaikissa siinä esiintyvissä komponenteissa ja joiden tyypillisiä hyötysuhteen arvoja ovat: generaattorille $\eta_{\text{gen}} = 0,95\text{--}0,97$, päätaululle $\eta_{\text{switchb}} = 0,999$, muuntajalle $\eta_{\text{transf}} = 0,99\text{--}0,995$, taajuusmuuttajalle $\eta_{\text{FC,booster}} = 0,98\text{--}0,99$ ja sähkömoottorille $\eta_{\text{motor}} = 0,95\text{--}0,97$ (ABB 2003, 7). Kokonaishyötysuhde polttoainekoneikolle taajuusmuuttaja ja sähkömoottori huomioiden saadaan seuraavasti:

$$\eta_{\text{kok}} = \eta_{\text{gen}} \times \eta_{\text{switchb}} \times \eta_{\text{transf}} \times \eta_{\text{FC,booster}} \times \eta_{\text{motor,booster}}$$

Komponenttien hyötysuhteiden minimiarvoilla laskettuna kokonaishyötysuhteen minimiarvoksi saadaan 87,5 %. Häviöiden osuus saadaan hyötysuhteen käänteislukuna, eli se on 14,3 %. Sähkömoottorin akselitehoa (kW) kohden käytetään siten 14,3 % enemmän polttoainetta kuin pelkän ominaiskulutuksen perusteella saadaan tulokseksi.

Käyttökustannukset aiheutuvat pumppaukseen käytettävästä sähköenergiasta ja häviöistä. Case -alusten kierrätyspumppujen kuluttama sähköteho ajanjakson aikana on määritelty aluksen pääkoneen tehon ja kierrätettävien polttoainemäärien perusteella.

7.6 Polttoainekustannus

Polttoainekustannus tuotettua sähkötehoa kohtaan lasketaan käyttäen hyväksi moottorivalmistajan ilmoittamaa ominaiskulutusta (SFOC) tuotettua kilowattituntia (kWh) kohden seuraavin tiedoin:

SFOC 172 g/kWh

HFO_{380 cSt} 220 €/1000 kg

MDO_{0,1%} 385 €/1000 kg

Kuluvan polttoaineen kustannus tuotettua tehoyksikköä kohden saadaan siten häviöt huomioiden seuraavasti:

Häviöt 14,3 %

HFO_{380cSt} 0,043 €/kWh

MDO_{0,1%} 0,076 €/kWh

Tämänhetkinen polttoaineen hinta on lähimenneisyys huomioiden huomattavan alhainen. Vuosien 2011–2014 keskimääräisten markkinahintojen mukaan arvioitu kustannus tuotettua kWh:a kohtaan on HFO_{380cSt} 0,106 € ja MDO_{0,1%} 0,154 €.

Case-vertailun apuna on käytetty mitoituselaskelmia muista vastaavista alustyyppiltään, kooltaan ja tehoiltaan samankaltaisista aluksista. Laskelmissa käytetään alusta, jolla on pienin pumppauksen yhteisteho, jolloin kannattavuustarkastelu suoritetaan minimisäästöä tavoitellen. Tällöin todellisten kustannusten ja saavutettavien säästöjen määrät ovat vähimmäismääriä ja siten saavutettavissa.

7.7 Käyttöaika

Käyttöaika (laivan ajovuorokaudet) käyttökustannuksia arvioitaessa on muodostettu laskelmissa seuraavasti:

- 100 vrk 2400 h
- 300 vrk 7200 h (noin 1 vuosi)
- 1500 vrk 36000 h (noin 5 vuotta)
- 3000 vrk 72000 h (noin 10 vuotta)
- 7500 vrk 180000 h (noin 25 vuotta)

7.8 Case 1. Tankkeri, 22864 bruttotonnia, 7050 kW

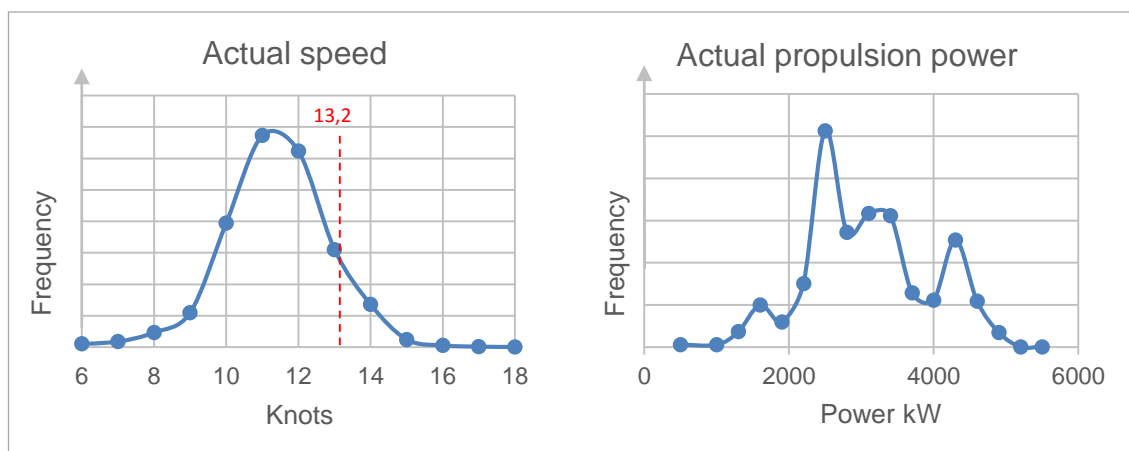
Tiedot ovat kerättyjä 78 ajovuorokauden aikana vuosina 2014 ja 2015 ja sisältävät ainoastaan tietoja ajalta, jolloin alus on ollut liikkeellä. Ajalta, jolloin alus on ollut satamassa tai muussa vastaavassa tilanteessa ei käyttötietoja ole huomioitu. Aluksen perustiedot esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Case 1, aluksen perustiedot.

Tankkialus, asvaltti / bitumitankkeri	
Kokonaiskantavuus	30158 (dw tonnage)
Kokonaisvetoisuus	22864 (gross tonnage)
Pituus (m)	182,8
Leveys (m)	27,4
Syväys (m)	10,0
Teho, MCR (kW)	7050
Moottori	MAN 6S46MC-C8, 1 kpl
Suunnittelunopeus (kn)	13,2 (design speed)

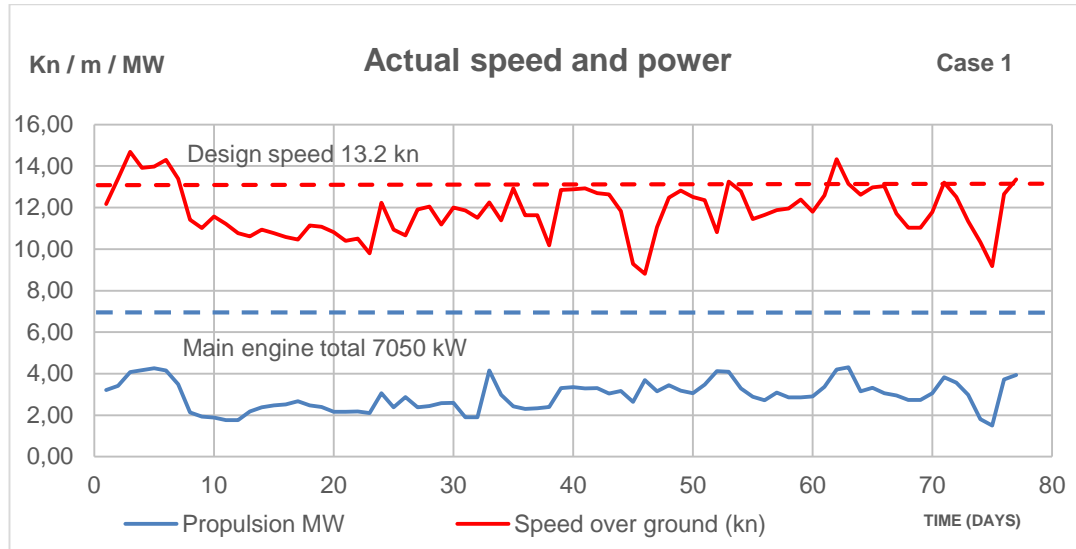
7.8.1 Käytetty nopeus ja teho

Aluksen käyttämä nopeus on ajon aikana ollut keskiarvolla 12,9 solmua, joka on hyvin lähellä sen suunnittelunopeutta (13,2 kn). Nopeusalue 10–13 solmua on kattanut yli 70 % kaikesta ajosta (kuvio 12).



Kuvio 12. Case 1, toteutuneet nopeus- ja tehojakaumat.

Propulsioteho on vaihdellut pääosin välillä 1500–4900 kW, 65 % ajosta on suoritettu 2500–3800 kW propulsioteholla (kuviot 12 ja 13). Moottorin tyypillinen kuormitusaste on ollut noin 30–65 % kokonaistehosta.



Kuvio 13. Case 1, toteutuneet nopeus- ja tehoarvot vs. designarvot.

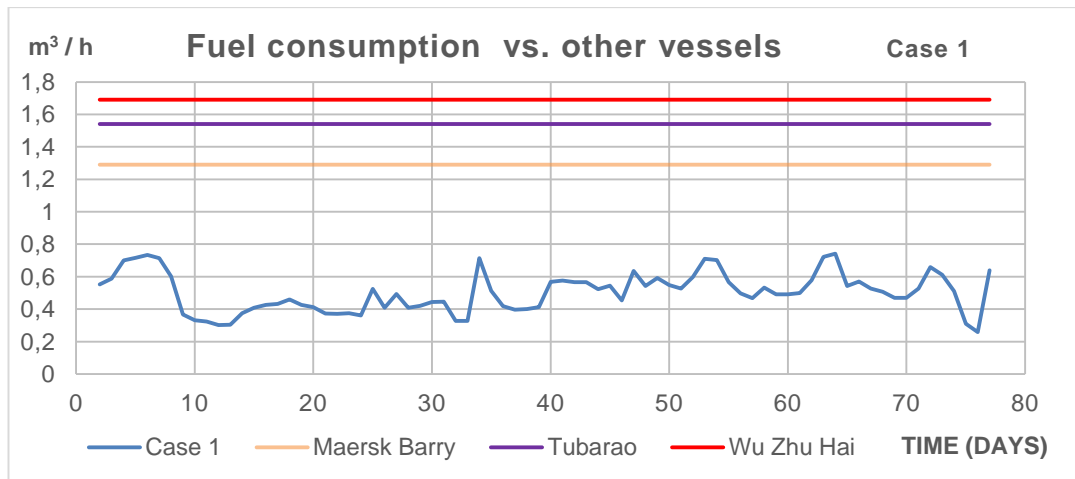
7.8.2 Polttoaineen kierrätys ja kulutus

Esimerkkialuksen polttoaineen kulutusta on verrattu muihin saman tyyppisiin aluksiin (taulukko 4). Valittujen vertailualusten kulutusarvot kasvavat hieman suhteessa aluksien kokoon ja tehoon. Case 1 -aluksen polttoaineen kulutusominaisuudet ovat tyypillisiä kokuuokan aluksille ja vertailualusten kulutusarvot ovat yhteneviä alusten koko ja teho huomioiden. Vertailualukset ovat varustettuja Auramarinen toimittamilla AMB-M-12-SS polttoainekoneikoilla.

Taulukko 4. Case 1, vertailualusten polttoainekulutus.

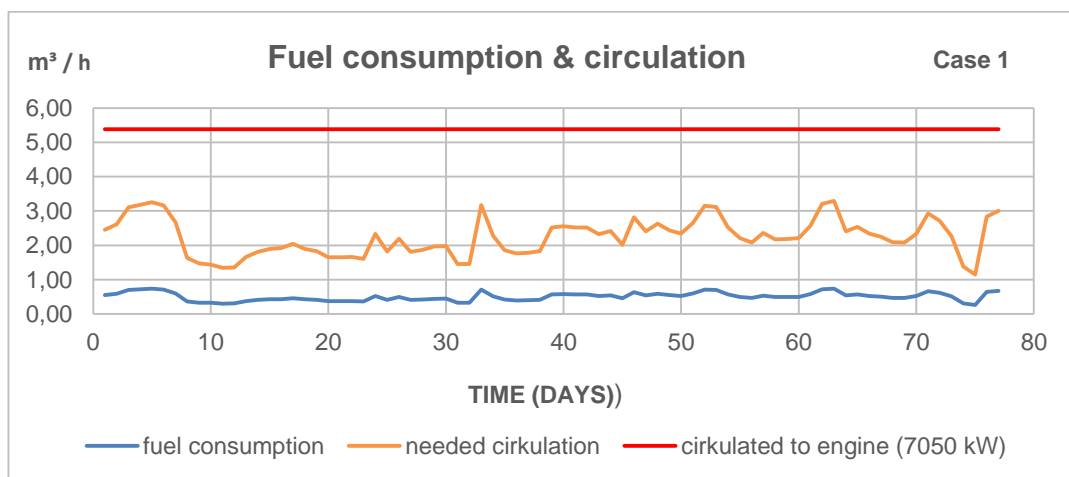
Vertailu- alus	Kokonais- teho (kW)	Kantavuus dwt	Vetoisuus grt	Moottori MAN	Kulutus (m ³ /h)
Case 1	7050	30158	22864	6S46MC	1,29
Maersk Barry	7150	29040	19758	5S50MC	1,29
Tubarao	9480	53350	32474	6S50MC	1,69
Wu Zhu Hai	8670	76428	40896	5S60MC	1,54

Esimerkkialuksen toteutunut polttoaineen kulutus on kerätty alukselta ja perustuu tuotettuun tehoon ja moottorin ominaiskulutukseen. Kuviossa 14 esitetään aluksen keskimääräinen kulutus, joka on ollut ajanjakson aikana $0,50 \text{ m}^3/\text{h}$. Toteutunut kulutus on 39 % täyden tehon kulutusarvosta.



Kuvio 14. Case 1, polttoaineen kulutus vs. vertailualukset.

Kuviossa 15 esitetään nykyisellä ratkaisulla kierrätettävän polttoaineen määrä ja se määrä, joka kuormitustilanne huomioiden on riittävä. Kyseisen aluksen käytetyllä kuormitustasolla oleva riittävä keskiarvostettu kierrätysmäärä on $2,24 \text{ m}^3/\text{h}$ joka on ainoastaan 42 % nykyisin kierrätettävästä määrästä ($5,34 \text{ m}^3/\text{h}$).



Kuvio 15. Case 1, moottorille kierrätetty polttoaine vs. todellinen tarve ja kulutus.

Kierrätettävän polttoaineen määrä mitoitetaan moottorin kokonaistehon mukaisesti. Kierrätysuhteen arvioimiseen on käytetty vertailualuksista pienimmällä suhteella mitoittua

alusta. Maersk Barry:n booster-pumppujen täydelle teholle mitoitettu kierrätysuhde on 4,14 ja moottorille kierrätettävä tilavuusmäärä 5,34 m³/h. Polttoaineen kulutus on toteutunut arvo jonka perusteella voidaan käyttötilanteissa tarvittava riittävä polttoainemäärä varmistaa.

7.8.3 Pumppujen energiankulutus

Tarkkojen pumppaustietojen puuttuessa alukselta suoritetaan vertailuja samankaltaisiin aluksiin joista tiedot ovat toimitettujen polttoainekoneikkojen johdosta olemassa. Taulukossa 5 esitetään vertailtavien alusten koneikkojen pumppaus- ja sähkötehot. Feeder-pumput ovat pumppaustehoiltaan noin 4 m³/h ja sähkötehoiltaan 1,7–2,2 kW. Booster-pumppujen vastaavat tehot ovat 5,34–7,23 m³/h ja 2,2–3,6 kW.

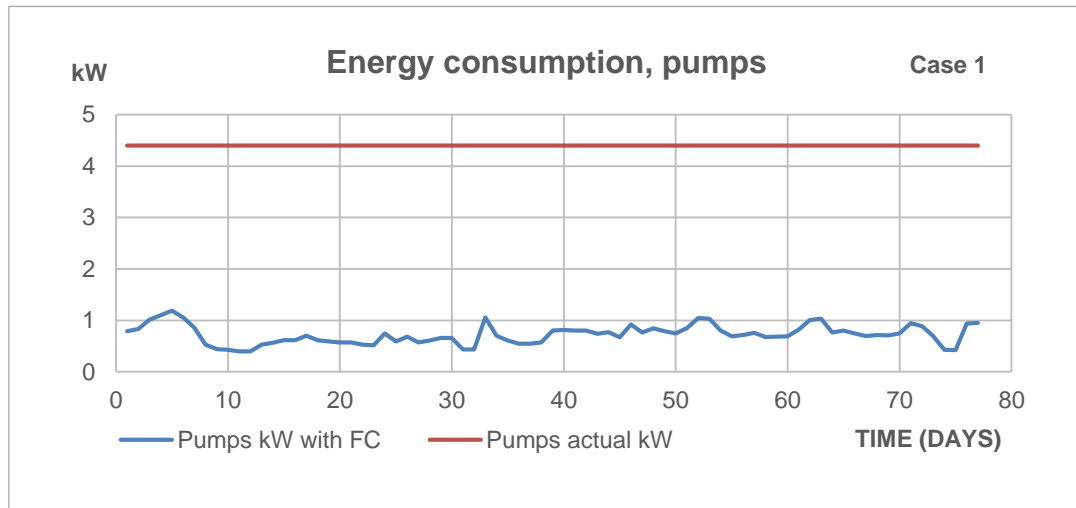
Taulukko 5. Case 1, vertailualusten pumppujen virtausmäärät ja tehot.

Vertailu- alus	Koneteho kW	Feeder-pumput		Booster-pumput	
		m ³ /h	kW	m ³ /h	kW
Maersk Barry	7150	4,06	2,20	5,34	2,20
Tubarao	9480	4,09	1,70	7,23	3,50
Wu Zhu Hai	8670	4,09	1,80	7,23	3,60

Pumppujen teho on määritelty tilanteessa jossa käynnissä on yksi (1) feeder- ja yksi booster-pumppu samanaikaisesti, varmennuspumput eivät ole käynnissä. Todellisen kierrätettävän polttoainetarpeen ollessa noin 42 % nykyisestä kierrätysmäärästä, voidaan pumppujen käyntinopeutta laskea teoreettisesti samaan arvoon.

Pumppujen pyörintänopeutta määritettäessä tulee ottaa huomioon sitä käyttävän sähkömoottorin rajoitteet. Sähkömoottorin hyötysuhde on korkea vielä 25 %:n nopeudella, mutta sitä alhaisemmalla se heikkenee jyrkästi. Taajuusmuuttajaohjattuna (FC) sähkömoottorin nimelliskierrosnopeutta 50 % alhaisemmalla käyntinopeudella saavutetaan 80 % säästö energian kulutuksessa ja 58 % nopeuden pienentämisellä 84 % säästö (kuvio 8, s.33).

Varustettaessa koneikko nykyisillä moottori- ja pumppuvalinnoilla sekä ohjaus taajuusmuuttajakäytöllä, voidaan ratkaisulla saavuttaa säästöjä kierrosnopeuden optimoinnin avulla. Uudella, alhaisemmalla kierrosnopeudella energian kulutus on noin 16 % alkupe- räisestä kulutuksesta (kuvio 16).



Kuvio 16. Case 1, käytetty pumppausteho vs. teho taajuusmuuttajakäytöllä.

Kierrätettävän polttoaineen määrän optimoinnilla saavutetaan 3,7 kW alhaisempi tehon- tarve, jolloin syntyvä säästö on yli 80 %.

7.8.4 Käyttökustannukset

Polttoainekoneikon pumppauskulut syntyvät kulutetusta sähköenergiasta. Pumppaus- tarpeeseen vaikuttaa merkittävästi tehon määrä, joka dieselmoottorilla tuotetaan. Las- kelma perustuu kyseiseen toteutuneeseen ajoprofiiliin. Koneikon kuluttajista huomioi- daan laskelmassa sähkömoottorien osuus (4,4 kW). Toteutuneessa, perinteisellä starter- tekniikalla varustetun koneikon pumpput käyvät koko ajan täydellä teholla ja syntyvä kus- tannussäästö muodostuu taajuusmuuttajan mahdollistamasta alhaisemmasta energian- kulutuksesta. Laivalla polttoaineesta tuotetun sähköenergian hinta laskelman (7.6 Polt- toainekustannus) ja 5.5.2016 voimassaolleiden hintojen mukaan on ollut polttoainelaa- dun mukaan seuraava:

- HFO 380 cSt 0,043 €/kWh
- MDO 0,1 % 0,076 €/kWh

Taulukoissa 6 ja 7 esitetään nykyhinnoin (5.5.2016) ja lähimenneisyydessä (2010–2014) muodostuneet pumppauskustannukset sekä kierrosnopeussäädetyllä ja kulutuksen mukaan optimoidulla ratkaisulla saatava kustannussäästö.

Taulukko 6. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2016.

Kustannusvertailu: HFO 250 USD / ton, MDO 440 USD / ton					5.5.2016
Käyttökustannukset (€) starter-ohjauksella					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	457	1370	6851	13702	34255
MDO	799	2398	11989	23978	59946
Käyttökustannukset (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
HFO	46	137	685	1370	3425
MDO	80	240	1199	2398	5995
Syntyvä säästö (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	411	1233	6166	12332	30829
MDO	719	2158	10790	21580	53951

Taulukko 7. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2010–2014.

Kustannusvertailu: HFO 611 USD / ton, MDO 887 USD / ton					2010 - 2014
Käyttökustannukset (€) starter-ohjauksella					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	1119	3358	16790	33581	83952
MDO	1622	4866	24330	48660	121651
Käyttökustannukset (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
HFO	112	336	1679	3358	8395
MDO	162	487	2433	4866	12165
Syntyvä säästö (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	1007	3022	15111	30223	75557
MDO	1460	4379	21897	43794	109486

7.8.5 Yhteenveto

Case 1 alusta on operoitu melko suurella nopeudella, käytetty nopeus on ollut melko lähellä sen suunnittelunopeutta. Moottorin kuormitustaso on ajanjaksona kuitenkin ollut vain noin 30–65 % kokonaistehosta, johtuen mahdollisesti vähäisestä lastista tai muutoin esiintyneestä vähäisemmästä tehontarpeesta. Tehokas moottori on myös mahdollisesti valittu jonkin muun suuren kuluttajan, kuten suuritehoisten lämmittimien tai pumppujen takia (bitumitankkeri). Moottorille kierrätettävän polttoaineen määrä on käytetyn ajoprofiilin perusteella melko suuri ja sen määrää optimoimalla pystyttäisiin saavuttamaan säästöjä polttoainekustannuksissa.

Sähköteholtaan kohtuullisen pienien moottorien takia ja HFO:n alhainen nykyhintaa huomioiden säästöt pumppauskustannuksissa taajuusmuuttajaratkaisulla jäävät vaatimattomiksi, vuositasolla runsaan 1000 € tasolle. Prosentuaalinen säästö energiankulutuksessa on kuitenkin huomattava, 90 %. Vertailtaessa syntyviä säästöjä hieman pidemmän aikavälin polttoainehinnoilla (2010–2014), ovat säästöt vuositasolla noin 3000 €. Polttoainehintojen kasvaessa syntyvät säästöt kuitenkin lisääntyvät nopeasti ja laitteiston hankinnasta tulee entistä kannattavampaa.

7.9 Case 2. Tankkeri, 47129 bruttotonnia, 13560 kW

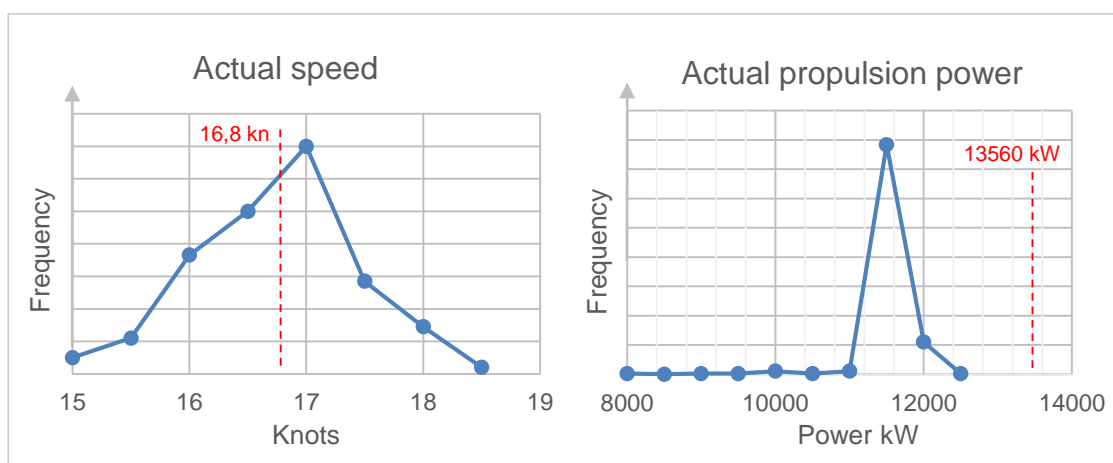
Tiedot ovat kerättyjä 45 ajovuorokauden aikana vuonna 2016 ja sisältävät ainoastaan tietoja ajalta jolloin alus on ollut liikkeellä. Ajalta, jolloin alus on ollut satamassa tai muussa vastaavassa tilanteessa ei käyttötietoja ole huomioitu. Aluksen perustiedot esitetään taulukossa 8.

Taulukko 8. Case 2, aluksen perustiedot.

Tankkialus, LPG-tankkeri (liquefied petroleum gas)	
Kokonaiskantavuus	54842 (dw tonnage)
Kokonaisvetoisuus	47129 (gross tonnage)
Pituus (m)	225,3
Leveys (m)	36,6
Syväys (m)	12,0
Teho, MCR (kW)	13560
Moottori	MAN 6S60MC-C8, 1 kpl
Suunnittelunopeus (kn)	16,8 (design speed)

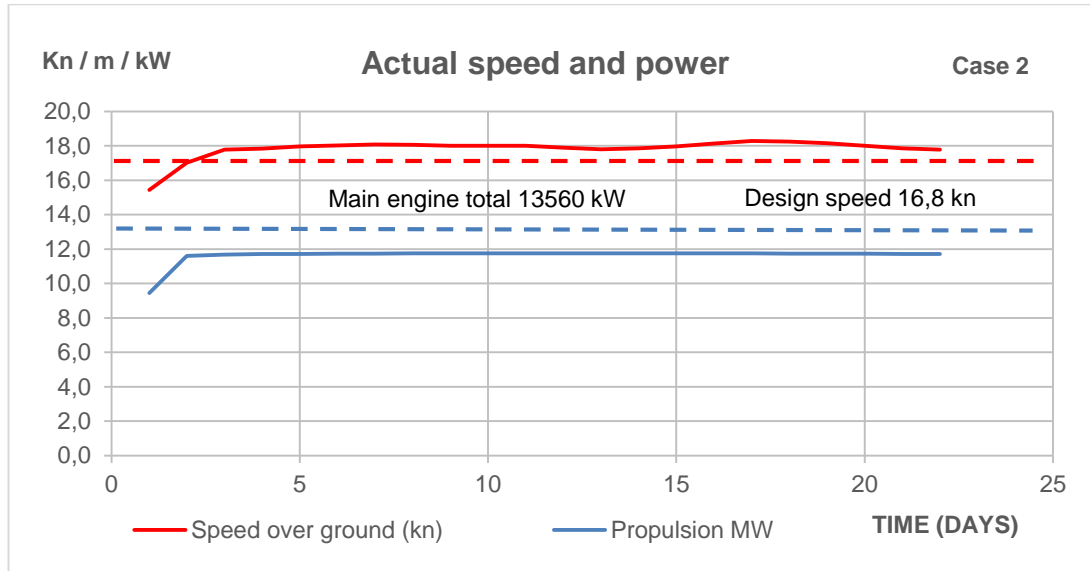
7.9.1 Käytetty nopeus ja teho

Aluksen käyttämä nopeus on ollut keskiarvolistettuna 16,8 solmua, joka on sama kuin aluksen suunnittelunopeus. Käytetty nopeusalue 16–17,5 solmua on kattanut yli 70 % kaikesta ajosta (kuvio 17).



Kuvio 17. Case 2, toteutuneet nopeus- ja tehojakaumat.

Keskimääräinen propulsioteho on ajon aikana ollut 11460 kW (85 % kokonaistehosta) ja yli 90 % ajosta on suoritettu 11200–11800 kW teholla (kuviot 17 ja 18). Alusta on operoitu osin sen suunnittelunopeutta suuremmalla nopeudella.



Kuvio 18. Case 2, toteutuneet nopeus- ja tehoarvot vs. designarvot.

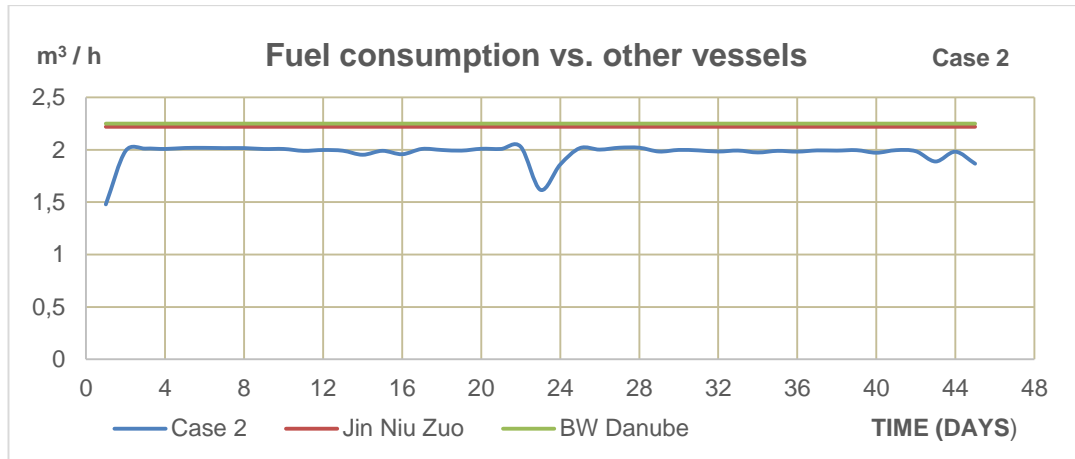
7.9.2 Polttoaineen kierrätys ja kulutus

Esimerkkialuksen polttoaineen kulutusta on verrattu kahteen muuhun saman koko-, teho- ja nopeusluokan aluksiin. Vertailtavat kulutusarvot ovat yhteneviä ja tyypillisiä kokoluokan vertailualuksien suhteen (taulukko 9). Vertailualukset ovat varustettuja Auramarinen toimittamilla AMB-M-15-SS polttoainekoneikoilla.

Taulukko 9. Case 2, vertailualusten polttoainekulutus.

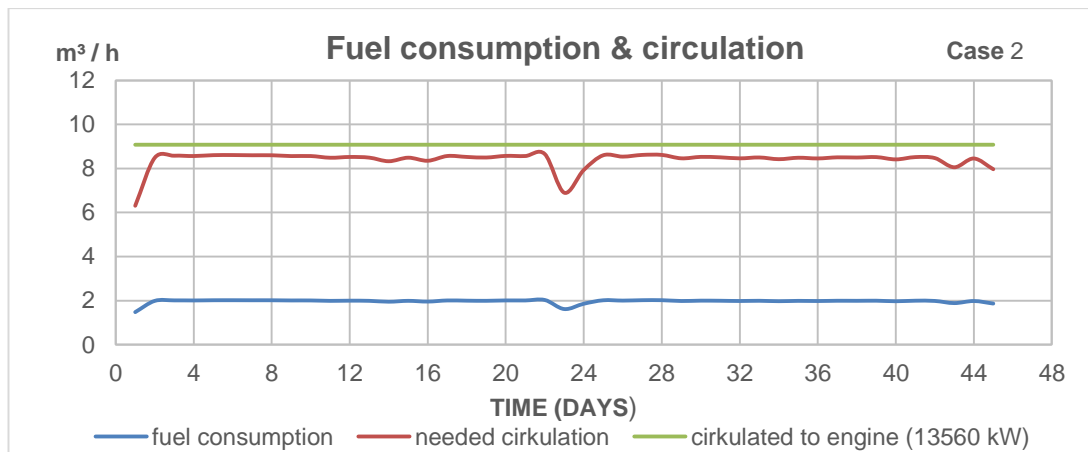
Vertailu- alus	Kokonais- teho (kW)	Kantavuus dwt	Vetoisuus grt	Moottori MAN	Kulutus (m ³ /h)
Case 2	13560	54842	47129	6S60MC	2,48
Jin Niu Zuo	12240	75493	43153	6S60MC	2,24
BW Danube	12268	76543	43797	6S60MC	2,24

Esimerkkialuksen toteutunut polttoaineen kulutus on mittatietona alukselta kerättyä tietoa perustuen tuotettuun tehoon ja moottorin ominaiskulutukseen. Keskimääräinen kulutus on ollut ajanjakson aikana $1,97 \text{ m}^3/\text{h}$, joka on 79 % täyden tehon kulutusarvosta (kuvio 19).



Kuvio 19. Case 2, polttoaineen kulutus vs. vertailualukset.

Polttoaineen kulutus on toteutunut arvo, jonka perusteella voidaan käyttötilanteissa tarvittava riittävä polttoainemäärä varmistaa. Kuviossa 20 esitetään nykyisellä ratkaisulla kierrätettävän polttoaineen määrä ja se määrä, joka kuormitus tilanne huomioiden on riittävä. Kyseisen aluksen käytetyllä kuormitustasolla oleva riittävä keskiarvollaistettu kierrätysmäärä on $8,4 \text{ m}^3/\text{h}$, joka on 92 % nykyisin kierrätettävästä määrästä ($9,08 \text{ m}^3/\text{h}$).



Kuvio 20. Case 2, moottorille kierrätetty polttoaine vs. todellinen tarve ja kulutus.

Kierrätettävän polttoaineen määrä mitoitetaan moottorin kokonaistehon mukaisesti. Kierrätysuhteen arvioimiseen on käytetty vertailualuksista pienimmällä suhteella mitoitettua

alusta. Jin Niu Zuo:n booster-pumppujen täydelle teholle mitoitettu kierrätysuhde on 4,05 ja moottorille kierrätettävä tilavuusmäärä 9,08 m³/h. Polttoaineen kulutus on toteutunut arvo, jonka perusteella voidaan käyttötilanteissa tarvittava riittävä polttoainemäärä varmistaa.

7.9.3 Pumppujen energiankulutus

Tarkkojen pumppaustietojen puuttuessa alukselta suoritetaan vertailuja samankaltaisiin aluksiin, joista tiedot ovat toimitettujen polttoainekoneikkojen johdosta olemassa. Vertailtavien alusten feeder-pumput ovat pumppaustehoiltaan noin 4–6 m³/h ja sähkötehoiltaan 2,5 kW. Booster-pumppujen vastaavat tehot ovat 9,01–9,08 m³/h ja 4,6 kW (taulukko 10).

Taulukko 10. Case 2, vertailualusten pumppujen virtausmäärät ja tehot.

Vertailu- alus	Konetehto kW	Feeder-pumput		Booster-pumput	
		m ³ /h	kW	m ³ /h	kW
Jin Niu Zuo	12240	5,75	2,50	9,08	4,60
BW Danube	12268	4,09	2,50	9,01	4,60

Molemmat vertailualukset, Jin Niu Zuo ja BW Danube ovat kummatkin varustettuja 2,5 kW feeder- ja 4,6 kW booster-pumppuin eli normaalitilanteen yhteispumppausteho on molemmissa tapauksissa 7,1 kW.

Pumppujen teho on määritelty tilanteessa, jossa käynnissä on yksi (1) feeder- ja yksi booster-pumppu samanaikaisesti, varmennuspumput eivät ole käynnissä. Todellisen kierrätettävän polttoainetarpeen ollessa yli 90 % nykyisestä kierrätysmäärästä, voidaan pumppujen käyntinopeutta laskea tällä kuormitustasolla vain hieman, noin 10 %. Taa-juusmuuttajaohjattuna (FC) sähkömoottorin nimelliskierrosnopeutta 10 % alhaisemmalla käyntinopeudella saavutetaan kuitenkin vielä lähes 30 % säästö energian kulutuksessa (kuvio 8, s.33).

Varustettaessa koneikko nykyisillä moottori- ja pumppuratkaisuilla ja toteutettaessa ohjaus taajuusmuuttajakäytöllä, voidaan ratkaisulla saavuttaa säästöjä kierrosnopeuden optimoinnin avulla. Uudella, alhaisemmalla kierrosnopeudella energian kulutus on noin 70 % alkuperäisestä kulutuksesta.

Kierrätettävän polttoaineen määrän optimoinnilla saavutetaan keskimäärin 2,1 kW alhaisempi tehontarve, jolloin syntyvä säästö on 30 %.

7.9.4 Käyttökustannukset

Polttoainekoneikon pumppauskulut syntyvät kulutetusta sähköenergiasta. Pumppaus-tarpeeseen vaikuttaa merkittävästi tehon määrä, joka dieselmootorilla tuotetaan. Laskelma perustuu kyseiseen toteutuneeseen ajoprofiiliin. Koneikon kuluttajista huomioidaan laskelmassa sähkömoottorien osuus (7,1 kW). Toteutuneessa, perinteisellä starter-tekniikalla varustetun koneikon pumput käyvät koko ajan täydellä teholla ja syntyvä kustannussäästö muodostuu taajuusmuuttajan mahdollistamasta alhaisemmasta energiankulutuksesta. Laivalla polttoaineesta tuotetun sähköenergian hinta laskelman (7.6 Polttoainekustannus) ja 5.5.2016 voimassaolleiden hintojen mukaan on ollut polttoainelaudun mukaan seuraava:

- HFO 380 cSt 0,043 €/kWh
- MDO 0,1 % 0,076 €/kWh

Taulukoissa 11 ja 12 esitetään nykyhinnoin (5.5.2016) ja lähimenneisyydessä (2010–2014) muodostuneet pumppauskustannukset sekä kierrosnopeussäädetyin ja kulutuksen mukaan optimoidulla ratkaisulla saatava kustannussäästö.

Taulukko 11. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2016.

Kustannusvertailu: HFO 250 USD / ton, MDO 440 USD / ton					5.5.2016
Käyttökustannukset (€) starter-ohjauksella					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	737	2211	11055	22110	55275
MDO	1290	3869	19346	38692	96731
Käyttökustannukset (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
HFO	516	1548	7738	15477	38692
MDO	903	2708	13542	27085	67711
Syntyvä säästö (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	221	663	3316	6633	16582
MDO	387	1161	5804	11608	29019

Taulukko 12. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2010–2014.

Kustannusvertailu: HFO 611 USD / ton, MDO 887 USD / ton					2010 - 2014
Käyttökustannukset (€) starter-ohjauksella					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	1806	5419	27094	54187	135468
MDO	2617	7852	39260	78520	196301
Käyttökustannukset (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
HFO	1264	3793	18966	37931	94828
MDO	1832	5496	27482	54964	137411
Syntyvä säästö (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	542	1626	8128	16256	40640
MDO	785	2356	11778	23556	58890

7.9.5 Yhteenveto

Case 2 alusta on pääosin operoitu hyvin lähellä sen suunnittelunopeutta (16,8 kn) ja 16–17,5 solmun nopeusalue kattaakin yli 70 % kaikesta liikennöinnistä. Tämän lisäksi moottorin kuormitusaste on ollut ajon aikana myös korkea, kokonaistehosta on keskimäärin käytetty 85 %. Alusta käytettäessä lähellä suunnitteluarvojaan on myös sen polttoaineen kulutus sekä sen kierrätys moottorille hyvin lähellä optimiarvoja, ja ne täyttyvätkin 80–90 % -arvoihin suunnitelluista mitoitusmääristä.

Aluksen hieman suuremman koon ja tehontarpeen johdosta kierrätettävän polttoaineen ja siten myös pumppujen tehontarve on suurempi kuin Case 1 aluksella. Kierrätyspumppujen nopeutta on mahdollista optimoida tapauksessa noin 10 %, jolla on mahdollista taajuusmuuttajakäytöllä saavuttaa noin 30 % säästö pumppauskustannuksissa. HFO:n alhaiseen nykyhintaan perustuen syntyvä säästö on reilusti alle 1000 € luokkaa, mutta pidemmän ajanjakson (2010–2014) hintatasolla voidaan saavuttaa noin kolminkertaiset kustannussäästöt vuosittain. Polttoainehintojen kasvaessa syntyvät säästöt kuitenkin lisääntyvät nopeasti ja laitteiston hankinnasta tulee entistä kannattavampaa.

7.10 Case 3. Irtolastialus, 107229 bruttotonna, 17140 kW

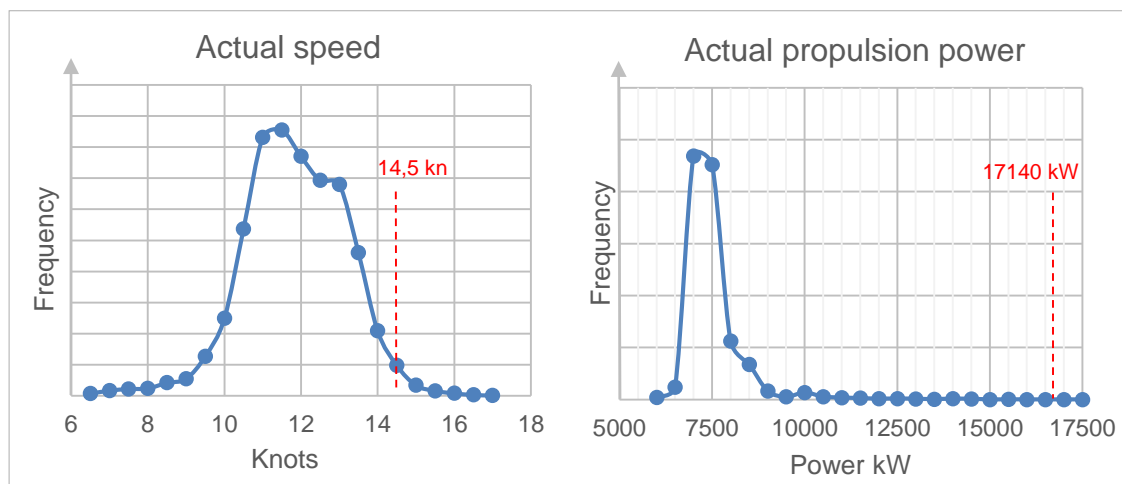
Tiedot ovat kerättyjä 240 ajovuorokauden aikana vuonna 2013 ja sisältävät ainoastaan tietoja ajalta, jolloin alus on ollut liikkeellä. Ajalta, jolloin alus on ollut satamassa tai muussa vastaavassa tilanteessa ei käyttötietoja ole huomioitu. Aluksen perustiedot esitetään taulukossa 13.

Taulukko 13. Case 3, aluksen perustiedot.

Irtolastialus (bulk carrier)	
Kokonaiskantavuus	207851 (dw tonnage)
Kokonaisvetoisuus	107229 (gross tonnage)
Pituus (m)	299,9
Leveys (m)	50
Syväys (m)	18,3
Teho, MCR (kW)	17140
Moottori	MAN 6S70MC-C, 1 kpl
Suunnittelunopeus (kn)	14,5 (design speed)

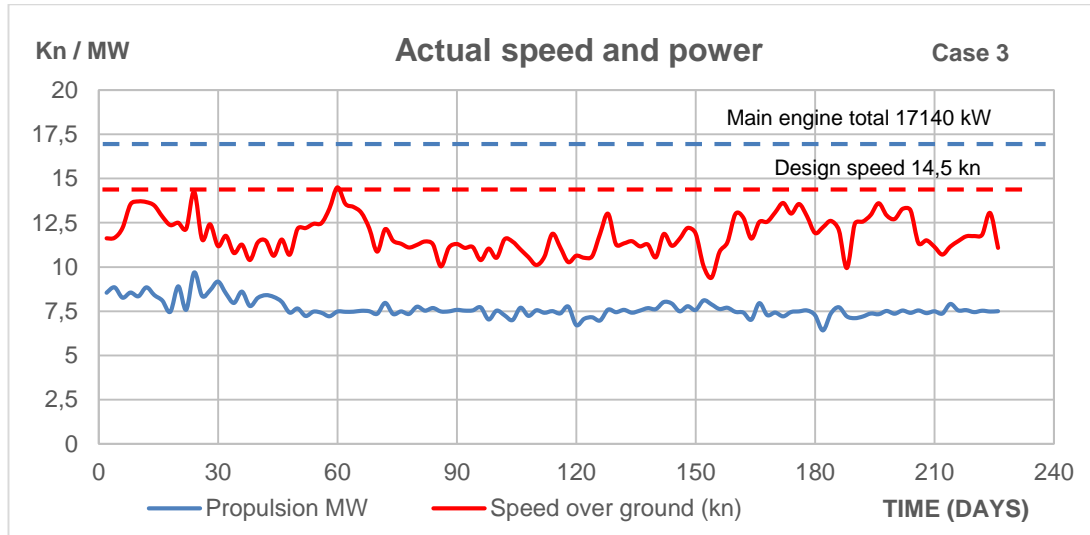
7.10.1 Käytetty nopeus ja teho

Aluksen käyttämä nopeus on ajon aikana ollut keskiarvolla 11,8 solmua, joka on noin 80 % sen suunnittelunopeudesta (14,5 kn). Nopeusalue 10–13,5 solmua on kattanut 85 % kaikesta ajosta (kuvio 21).



Kuvio 21. Case 3, toteutuneet nopeus- ja tehojakaumat.

Keskimääräinen propulsioteho on vaihdellut välillä 6800–8000 kW, joka kattaa noin 83 % ajosta (kuviot 21 ja 22). Moottorin tyypillinen kuormitusaste on ollut noin 40–45 % kokonaistehosta. Aluksen operointi on tapahtunut pääosin noin 20 % suunnitelunopeutta alhaisemmalla nopeudella.



Kuvio 22. Case 3, toteutuneet nopeus- ja tehoarvot vs. designarvot.

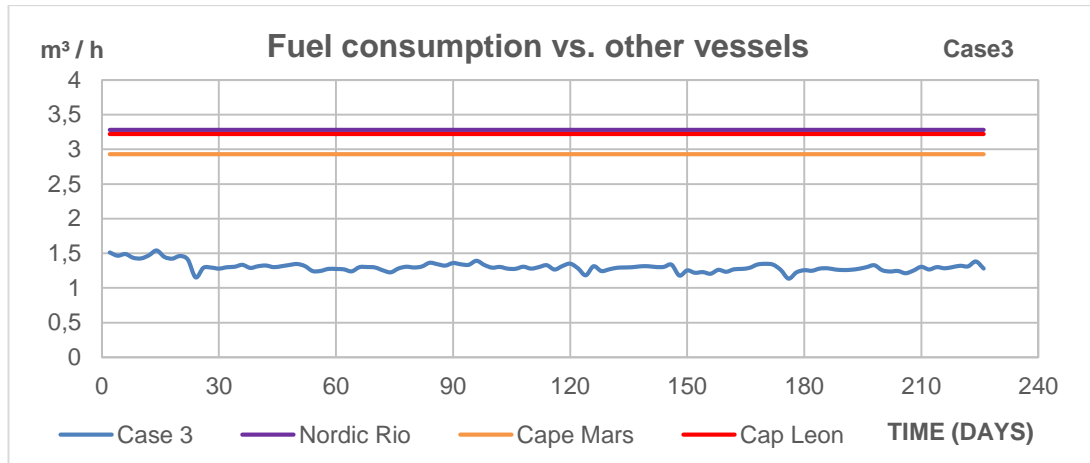
7.10.2 Polttoaineen kierrätys ja kulutus

Esimerkkialuksen polttoaineen kulutusta on verrattu muihin saman koko-, teho- ja nopeusluokan aluksiin (taulukko 14). Valittujen vertailualusten kulutusarvot kasvavat hieinan suhteessa aluksien kokoon ja tehoon. Case 3 -aluksen polttoaineen kulutusominaisuudet ovat tyypillisiä kokoluokan aluksille ja vertailualusten kulutusarvot ovat yhteneviä alusten koko ja teho huomioiden. Vertailualukset ovat varustettuja Auramarinen toimittamalla AMB-M-18-SS polttoainekoneikoilla.

Taulukko 14. Case 3, vertailualusten polttoainekulutus.

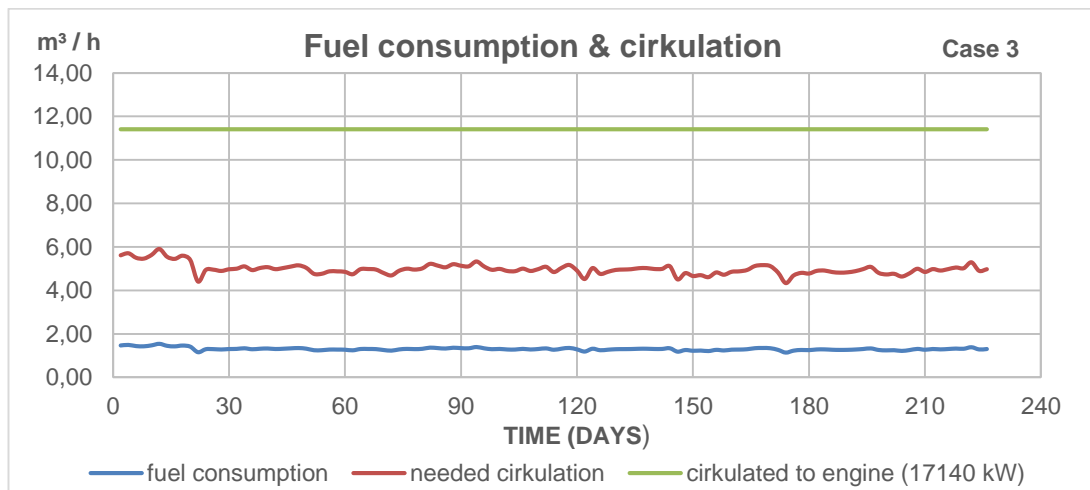
Vertailu- alus	Kokonais- teho (kW)	Kantavuus dwt	Vetoisuus grt	Moottori MAN	Kulutus (m ³ /h)
Case 3	17140	207851	107229	6S70MC-C	3,13
Nordic Rio	18623	151294	83119	6S70ME-C	3,40
Cape Mars	16858	175775	91178	6S70MC-C	3,08
Cap Leon	18624	159600	81328	6S70MC-C	3,40

Esimerkkialuksen toteutunut polttoaineen kulutus on mittatietona alukselta kerättyä tietoa ja perustuu tuotettuun tehoon ja moottorin ominaiskulutukseen. Kuviossa 23 esitetään toteutunut keskimääräinen kulutus sekä vertailualusten laskennalliset kulutukset. Ajanjakson aikana kulutus on ollut 1,3 m³/h, joka on 42 % täyden tehon kulutusarvosta.



Kuvio 23. Case 3, polttoaineen kulutus vs. vertailualukset.

Kuviossa 24 esitetään nykyisellä ratkaisulla kierrätettävän polttoaineen määrä ja se määrä, joka kuormitus tilanne huomioiden on riittävä. Polttoaineen kulutus on toteutunut arvo, jonka perusteella voidaan käyttötilanteissa tarvittava riittävä polttoainemäärä varmistaa.



Kuvio 24. Case 3, moottorille kierrätetty polttoaine vs. todellinen tarve ja kulutus.

Aluksen käytetyllä kuormitustasolla oleva riittävä keskiarvostettu kierrätysmäärä on 4,99 m³/h, joka on ainoastaan 40 % nykyisin kierrätettävästä määrästä (12,4 m³/h).

Kierrätettävän polttoaineen määrä mitoitetaan moottorin kokonaistehon mukaisesti. Kierrätysuhteen arvioimiseen on käytetty vertailualuksista pienimmällä suhteella mitoitettua alusta. Cap Leon:n booster-pumppujen täydelle teholle mitoitettu kierrätysuhte on 3,65 ja moottorille kierrätettävä tilavuusmäärä 12,4 m³/h.

7.10.3 Pumppujen energiankulutus

Tarkkojen pumppaustietojen puuttuessa alukselta suoritetaan vertailuja samankaltaisiin aluksiin, joista tiedot ovat toimitettujen polttoainekoneikkojen johdosta olemassa. Taulukossa 15 esitetään vertailtavien alusten koneikkojen pumppaus- ja sähkötehot. Feeder-pumput ovat pumppaustehoiltaan 7,49–7,78 m³/h ja sähkötehoiltaan 3,5 kW. Booster-pumppujen vastaavat tehot ovat 12,4–12,9 m³/h ja 4,6–6,3 kW.

Taulukko 15. Case 3, vertailualusten pumppujen virtausmäärät ja tehot.

Vertailu- alus	Koneteho kW	Feeder-pumput		Booster-pumput	
		m ³ /h	kW	m ³ /h	kW
Nordic Rio	18623	7,78	3,50	12,9	4,60
Cape Mars	16858	7,49	3,50	12,4	6,30
Cap Leon	18624	7,78	3,50	12,4	4,60

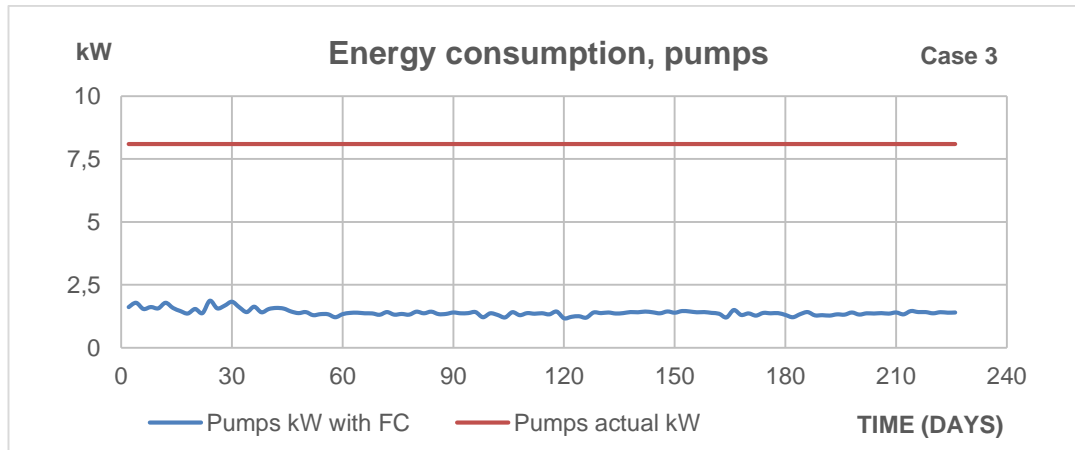
Pumppujen teho on määritelty tilanteessa, jossa käynnissä on yksi (1) feeder- ja yksi booster-pumppu samanaikaisesti, varmennuspumput eivät ole käynnissä. Todellisen kierrätettävän polttoainetarpeen ollessa noin 40 % nykyisestä kierrätysmäärästä, voidaan pumppujen käyntinopeutta laskea samaan arvoon.

Pumppujen pyörintänopeutta määritettäessä tulee ottaa huomioon sitä käyttävän sähkömoottorin rajoitteet. Sähkömoottorin hyötysuhde on korkea vielä 25 %:n nopeudella, mutta sitä alhaisemmalla se heikkenee jyrkästi. Taajuusmuuttajaohjattuna (FC) sähkömoottorin nimelliskierrosnopeutta 50 % alhaisemmalla käyntinopeudella saavutetaan 80 % säästö energian kulutuksessa ja 60 % nopeuden pienentämisellä noin 85 % säästö (kuvio 8, s.33).

Vertailualuksista pienimmällä pumpputeholla polttoainetta kierrättävä Cap Leon on varustettu 3,5 kW feeder- ja 4,6 kW booster-pumppuin eli normaalitilanteen yhteispumppausteho on 8,1 kW.

Suurimmalla yhteispumppausteholla varustetun Cape Mars:n vastaava arvo on 9,6 kW. Normaalitilanteessa pumppujen kuluttama yhteisteho on 8,1 kW.

Varustettaessa koneikko nykyisillä moottori- ja pumppuratkaisuilla ja toteutettaessa ohjaus taajuusmuuttajakäytöllä, voidaan ratkaisulla saavuttaa säästöjä kierrosnopeuden optimoinnin avulla. Uudella, alhaisemmalla kierrosnopeudella kuluvan energian määrä on noin 15 % alkuperäisestä kulutuksesta (kuvio 25).



Kuvio 25. Case 3, käytetty pumppausteho vs. teho taajuusmuuttajakäytöllä.

Kierrätettävän polttoaineen määrän optimoinnilla saavutetaan keskimäärin 6,9 kW alhaisempi tehontarve, jolloin syntyvä säästö on 85 %.

7.10.4 Käyttökustannukset

Polttoainekoneikon pumppauskulut syntyvät kulutetusta sähköenergiasta. Pumppaus-tarpeeseen vaikuttaa merkittävästi tehon määrä, joka dieselmoottorilla tuotetaan. Laskelma perustuu kyseiseen toteutuneeseen ajoprofiiliin. Koneikon kuluttajista huomioidaan laskelmassa sähkömoottorien osuus (8,1 kW). Toteutuneessa, perinteisellä starter-teknikalla varustetun koneikon pumput käyvät koko ajan täydellä teholla ja syntyvä kustannussäästö muodostuu taajuusmuuttajan mahdollistamasta alhaisemmasta energiankulutuksesta. Laivalla polttoaineesta tuotetun sähköenergian hinta laskelman (7.6 Polttoainekustannus) ja 5.5.2016 voimassaolleiden hintojen mukaan on ollut polttoainelaudun mukaan seuraava:

HFO 380 cSt, hinta 0,043 €/kWh

MDO 0,1 %, hinta 0,076 €/kWh

Taulukoissa 16 ja 17 esitetään nykyhinnoin (5.5.2016) ja lähimenneisyydessä (2010–2014) muodostuneet pumppauskustannukset sekä kierrosnopeussäädetyin ja kulutuksen mukaan optimoidulla ratkaisulla saatava kustannussäästö.

Taulukko 16. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2016.

Kustannusvertailu: HFO 250 USD / ton, MDO 440 USD / ton					5.5.2016
Käyttökustannukset (€) starter-ohjauksella					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	841	2522	12612	25224	63060
MDO	1471	4414	22071	44142	110355
Käyttökustannukset (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
HFO	84	252	1261	2522	6306
MDO	147	441	2207	4414	11035
Syntyvä säästö (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	757	2270	11351	22702	56754
MDO	1324	3973	19864	39728	99319

Taulukko 17. Käyttökustannukset ja syntyvä säästö, hinnat 2010–2014.

Kustannusvertailu: HFO 611 USD / ton, MDO 887 USD / ton					2010 - 2014
Käyttökustannukset (€) starter-ohjauksella					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	2061	6182	30910	61819	154548
MDO	2986	8958	44790	89580	223949
Käyttökustannukset (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
HFO	206	618	3091	6182	15455
MDO	299	896	4479	8958	22395
Syntyvä säästö (€) taajuusmuuttajakäytöllä					
	100 vrk	1 v	5 v	10 v	25 v
HFO	1855	5564	27819	55637	139093
MDO	2687	8062	40311	80622	201554

7.10.5 Yhteenveto

Case 3 alusta on operoitu keskimäärin 20–25 % alhaisemmalla nopeudella kuin sen suunnittelunopeus (14,5 kn) ja 10–13,5 nopeusalue kattaakin yli 80 % kaikesta liikennöinnistä. Aluksen ajoprofiili vastaa nopeuden osalta tilannetta, jossa operointi tapahtuu ajoittain jopa ”extra slow steamingillä”. Moottorin kuormitusaste on ollut ajon aikana melko matala, kokonaistehosta on keskimäärin käytetty 40–45 %. Polttoaineen kulutuksessa on alhaisemmalla nopeudella saavutettu lähes 60 % säästö. Moottorille kierrätettävän polttoaineen määrä on toteutuneen ajoprofiilin perusteella melko suuri, kierrätysmäärä on yli kaksinkertainen tarpeeseen nähden. Optimoimalla kierrätettävän polttoaineen määrä tarpeen mukaiseksi pystytään pumppaustehossa saavuttamaan taajuusmuuttajaohjattuna noin 80 % säästöt energiankulutuksessa.

HFO:n nykyhinnalla arvioiden kustannussäästöt ovat vuositasolla yli 2000 € ja vuosien 2010 ja 2014 välisen ajanjakson keskihinnoina yli 5000 € vuodessa. Polttoainehintojen kasvaessa syntyvät säästöt kuitenkin lisääntyvät nopeasti ja laitteiston hankinnasta tulee entistä kannattavampaa.

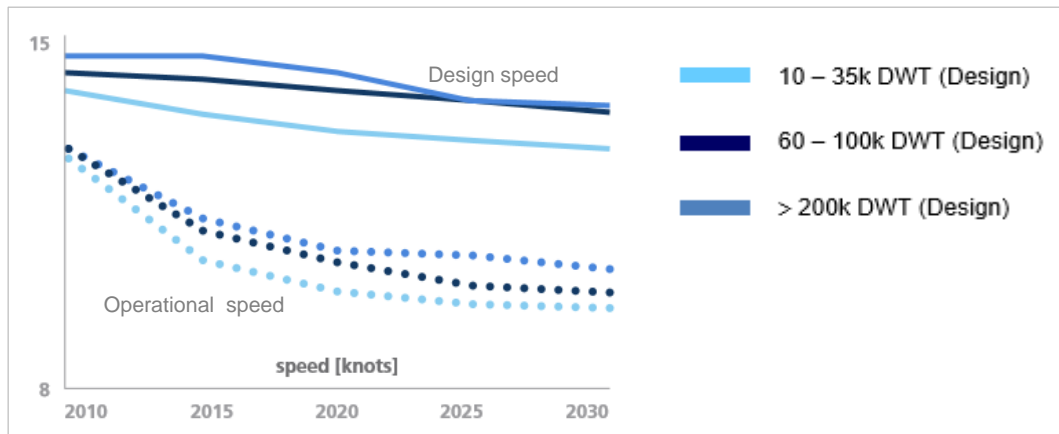
8 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Tulevaisuudessa voidaan olettaa energiatehokkuudelle ja erilaisille haitallisille päästöille asetettavan yhä tiukkenuvia vaatimuksia ja rajoituksia. Jo nykyisille, IMO:n aiemmin määräämille energiatehokkuusvaatimuksille (EEDI), on asetettu alustavat voimaantuloajat vuosina 2020 ja 2025. Valtaosa kasvihuonepäästöistä (GHG) muodostuvat vapautuvasta hiilidioksidista, joka on peräisin käytettävästä alusten polttoaineesta. Vaatimukset keskittyvät alusten tuottaman hiilidioksidin alentamiseen ja keinot polttoainekulutuksen pienentämiseksi ovatkin ensiarvoisen tärkeitä tavoiteltaessa asetettuja vaatimuksia. Tämän lisäksi vähäisemmän käytettävän polttoaineen määrä vaikuttaa suoraan aluksen operointikustannuksiin ja siten liiketoiminnan kannattavuuteen. Säästöjä pyritään saavuttamaan pienentämällä aluksen tehonkulutusta energiatehokkaiden toimintatapojen ja teknologisten ratkaisujen avulla, mukaan lukien erilaisten polttoaineiden mukanaan tuomat mahdollisuudet. Meriliikenteessä yleinen suuntaus on vähentää tehontarvetta käyttämällä alhaisempaa nopeutta. Varsinkin uudistuotannossa kiinnitetään huomiota myös entistä enemmän erilaisiin energiatehokkaisiin ratkaisuihin laitevalinnoissa, minkä lisäksi aluksia suunnitellaan jo lähtökohtaisesti käyttämään pienempää operointinopeutta. Energiatehokkaiden teknologioiden ennustetaan kehittyvän voimakkaasti 15 vuoden aikana.

Eri toimijoiden puolesta valmistellaan monenlaisia ennusteita siitä, minkälaiseksi merenkulku tulevaisuudessa kehittyä ja minkälaisia muutoksia koetaan niin aluksissa, polttoaineissa kuin itse alusten käyttötavoissakin. Seuraavaksi esitettävä ennuste nopeuksien ja energiatehokkuuden kehittymisestä kuvaakin ainoastaan yhden tahon näkemystä.

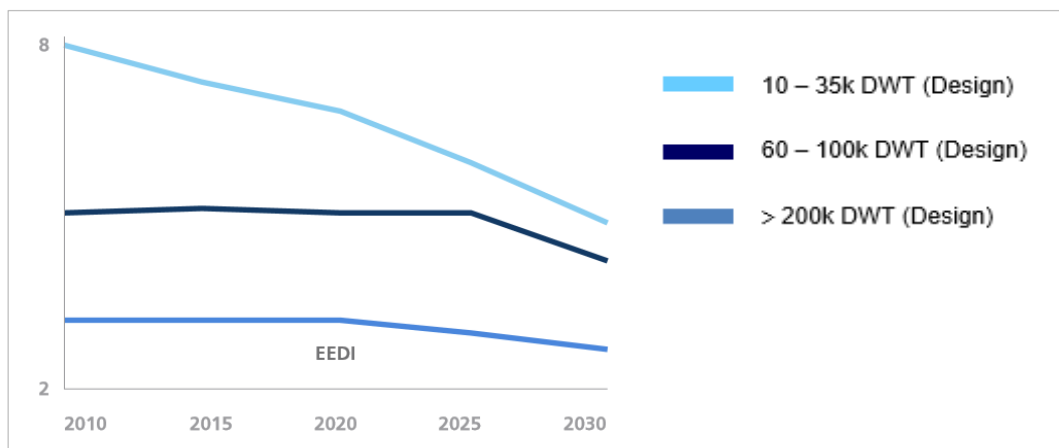
Lloyd's Register Marine:n ja University College London:n yhteistyönä vuonna 2014 julkaisemassa ennusteessa arvioidaan erilaisin mallein tulevaisuuden kehittymistä alusten energiatehokkuuden, suunnittelunopeuksien sekä käytettävien operointinopeuksien suhteen. Mallit on laadittu eri kokoisille aluksille ja jaettu laivojen kantavuuden, dwt:n mukaan. Kaikille kokoluokille ovat yhtenäisiä niiden kehityssuunnat. Ennusteen mukaan tulevaisuuden aluksia tullaan suunnittelemaan entistä pienemmille nopeuksille, jonka lisäksi varsinaisten operointinopeuksien odotetaan laskevan tätäkin voimakkaammin ja asetettavan alle puoleen suunnitteluarvoista kaikissa kokoluokissa. Energiatehokkuudessa merkittävintä kehitystä tulnaisiin näkemään pienimpien alusten kehityksessä, joiden tehokkuuden odotetaan parantuvan lähes 50 %.

Kuviossa 26 esitetään nopeuksien kehittymistä laivojen eri kantavuusluokissa. Alusten suunniteltujen nopeuksien ennustetaan laskevan nykyisestä noin 10 % ja varsinaisten operointinopeuksien tätäkin enemmän, 20–30 %. Pyrkimys selkeästi alhaisempiin operointinopeuksiin viittaa jo nyt merenkulussa käytössä olevan slow steaming -käyttötavan edelleen kehittämiseen. Suuntauksen ennustetaan olevan voimakkainta pienemmissä alusluokissa.



Kuvio 26. Nopeuden kehittyminen 2010–2030 (LR & UCL 2014).

Alusten energiatehokkuus (EEDI, Energy Efficiency Design Index) tulee ennusteiden mukaan tulevaisuudessa kehittymään voimakkaasti (kuvio 27). Merkittävimmät ja suurimmat muutokset tullaan nähdään pienempien alusten tehokkuudessa, edistystä ennustetaan tapahtuvan jopa 30–50 % vuoden 2010 tasosta. Suuressa osassa nykyisistä suurimmista aluksista pyritään jo nyt käyttämään ratkaisuja, joilla voidaan vaikuttaa energiatehokkuuteen.



Kuvio 27. Energiatehokkuuden kehittyminen 2010–2030 (LR & UCL 2014).

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Alati kiristyvien ilmastotavoitteiden johdosta merenkulussa haetaan jatkuvasti keinoja vähentää syntyvien päästöjen määrää. IMO:n energiatehokkuusvaatimukset keskittyvät pitkälti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Hiilidioksidia syntyy aluksissa ennen kaikkea poltettaessa polttoainetta, polttoainetta taas kulutetaan mekaanisen ja sähköisen energian tuottamiseen. Liikennevälineissä aluksissa on lukuisia kohteita, joissa energian käyttöä pyritään jo nyt tehostamaan ja hukkaenergioiden muodostumista vähentämään tai muutoin hyväksikäyttämään. Potentiaalisia kehityskohteita ovat erilaiset hukkaenergioiden (lämpö) talteenotot sekä energiatehokkaiden teknologioiden käyttö (esimerkiksi taajuusmuuttajakäytöt ja led-valaistus).

Tavoitteena työssä oli selvittää taajuusmuuttajakäyttöjen soveltuvuus sekä käytöstä mahdollisesti saatava hyöty kierrätyspumppujen tehonsäädössä, tavoitteena laitteiston energiatehokkuuden kehittäminen. Nykyisen koneikkoratkaisun pumput toimivat jatkuvasti kuormitustilanteesta riippumatta aina täydellä teholla. Optimoimalla pumppuja käytävien sähkömoottorien nopeus kuormitustilanteen ja siten tarvittavan polttoainemäärän mukaiseksi pienennetään pumppaamiseen käytettävän energian määrää, josta seurauksena on parantunut koneikon energiatehokkuus.

Opinnäytetyön tutkimusosan suoritin tutkimalla erilaisia lähdeaineistoja ja haastatteleamalla alan asiantuntijoita. Case-osion vertailualusten käyttötiedot sain NAPA Oy:ltä. Käyttötietoa eri aluksilta oli paljon ja syventyminen olennaiseen tietoon vaati aikaa. Työn tuloksena syntyi arvio taajuusmuuttajakäytön tuomista vaikutuksista energiatehokkuuteen sekä selvitys muodostuvista kustannussäästöistä.

Nykyisin aluksissa kierrätetään polttoainetta suuria ylimääriä johtuen toiminnallisista vaatimuksista. Kierrätysmääriä mitoitettaessa tarve suhteutetaan määrään, joka on tarpeen täydellä moottorin kuormituksella.

Kierrätettävän polttoaineen määrän todellisen tarpeen ollessa huomattavasti käytettävää pienempi on sen käyttökustannusten kannalta perusteltua pyrkiä saattamaan laitteiston tuottama pumppausteho optimaaliseksi tarpeen suhteen.

Taajuusmuuttaja soveltuu pumppaustehon säätöön ominaisuuksiensa johdosta hyvin, jonka lisäksi taajuussäädöllä saavutetaan moottorin kierroslukua pienennettäessä merkittäviä säästöjä energiankulutuksessa. Taajuusmuuttajaohjattuna koneikon pumppujen

energiankulutuksessa saavutetaankin huomattavasti alhaisemmat arvot kuin starter-ohjattuna.

Moottorien ja pumppujen soveltuvuus muuttuviin toiminta-arvoihin käytettäessä säätötekniikkaa varmistettiin, molempien osalta säädettävyyden ja soveltuvuus todetaan erittäin hyväksi.

Taajuussäädöllä saavutettavaa hyötyä arvioitiin tutkimalla kolmen eri tehoisen aluksen toteutuneita ajoprofiili- ja kulutustietoja. Tiedot kerättiin alusten omista järjestelmistä ja ovat siten luotettavia käyttötietoja. Aluksille valittiin yrityksen omasta tietokannasta mahdollisimman vastaavanlaisia vertailualuksia, joista koneikkojen ominaisuudet olivat täsmällisesti ja tarkasti tiedossa.

Vertailualusten ajoprofiilien mukaan polttoainetta monesti kierrätettiin tarpeettomasti toisinaan suuriakin määriä. Tämän ylimääräisen kierrättämisen optimoinnilla taajuusmuuttajakäytöllä mahdollistettiin 30–90 % säästöt koneikon sähkömoottorien energiankulutuksessa.

Vertailun alukset edustivat eri teholuokkia ja olivat siten myös varustettuja hieman eri tehoisilla pumppuja käytävillä sähkömoottoreilla. Kierrätettävän polttoaineen määrä kasvoi konetehon mukaisesti ja suurimmat säästöt syntyivätkin siten suhteessa sähkömoottorien tehoon. Käytettäessä polttoaineena HFO:a nykyisellä hinnalla suurimmassa teholuokassa muodostui säästön määräksi reilu 2000 € vuodessa. Käytettäessä vähärikkisempää polttoainetta (MDO), kasvoivat syntyvät säästöt yli 1,5 kertaisiksi. Kustannussäästöjä arvioitaessa huomioitiin polttoaineiden voimakas hinnanvaihtelu, HFO:n lähiaikojen huippuhinta oli vuonna 2012 yli 700 USD per tonni (5.5.2016 250 USD). Saavutetut kustannussäästöt polttoainekoneikon osalta olivat melko vaatimattomia verrattuna erilaisiin hukkalämpöä hyödyntäviin järjestelmiin. Aluksen energiatehokkuus on kuitenkin kokonaisuus, joka koostuu monista osatekijöistä, ja tehokkuuden kasvaessa kehitystä tuodaan yhä pienemmistä kohteista.

Laitevalmistajalle energiatehokkaampi koneikko tuo lisäarvoa kilpailluilla markkinoilla pystyttäessä esittämään laitevaihtoehdon tuomia polttoainesäästöjä sijoittamalla pumppujen säätöjärjestelmään. Itse laitteiston valmistuskustannukset eivät varsinkaan pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna oleellisesti kasva nykyisestä ja syntyvät kulut saataisiinkin siten katettua. Tarvittavat ja vaadittavat hyväksynyt sekä luokituslaitosten mahdolliset tarkentavat vaatimukset tulee kuitenkin etukäteen varmistaa. Suunnittelun ja tuotannon kehittyessä etua saattaa syntyä myös mikäli tuotetta pystytään vakioimaan. Vakioinnilla

pyritään vähentämään käytettävien erilaisten komponenttien määrää. Vaihtoehtojen väheneminen johtaisi suoraviivaisempaan suunnitteluun ja pienentyneeseen eri varastotuotteiden määrään. Tämän lisäksi se osaltaan mahdollistaisi tuotannon tehostumista.

Uutta, kehittyntä säätöjärjestelmää voidaan markkinoida tehokkuutta parantavana ja kustannuksia säästävänä ratkaisuna myös aluksiin joihin jo entuudestaan on valikoitunut yrityksen toimittamia koneikkoja. Tehtävien muutostöiden yhteydessä tämä saattaisi olla tehokas tapa löytää asiakkaiden muita tarpeita palveluille, kuten huollolle tai varaosatarpeelle.

Asiakkaalle, laivan operaattorille, merkittävää asiassa on se, mitä etua ja kuinka paljon kalliimpi laitteisto tuo sekä näistä lähtökohdista muodostuva investoinnin kannattavuus. Erityisen kiinnostavana mittarina pidetään takaisinmaksuaikaa ja sen jälkeen syntyvien säästöjen määrää. Vaikka ratkaisulla ei HFO:n nykyhinnoilla etenäkään pienempitehoisilla aluksilla saavuteta suuria vuosittaisia säästöjä, on sen kuoletusaika lyhyt. Säästöt polttoainekustannuksissa maksavat laitteiston lisähinnan viimeistään jo muutamassa vuodessa takaisin. Merkittävää kustannuksia arvioitaessa on alusten pitkä käyttöaika, usein 10–20 vuotta, jopa 25 vuotta. Kustannusvaikutusten lisäksi koneikon tehostunut energiankulutus edesauttaa osaltaan asetetun energiatehokkuusindeksin vaatimusten täyttämistä.

Työssä esitetyt esimerkkialukset valikoituivat Auramarinen lukumääräisesti myydyimpien koneikkomallien perusteella. Koneikkotyypit edustavat teholuokiltaan pienimpiä ja keskitehoisia koneikkoja. Merenkulussa on käytössä tuhansia nyt vertailtuja suurempia ja tehokkaampia aluksia, joiden tehontuottoon käytetään useampia moottoreita, jolloin myös kokonaissäästöt välittömästi kertaantuvat. Tulevaisuudessa ratkaisun kannattavuuden ja säästöjen määrän voidaan olettaa paranevan polttoaineen hinnan noustessa. Kustannuksia säästävänä ratkaisuna laitteisto on kiinnostava ja sen kehitystyötä tulisikin jatkaa.

LÄHTEET

ABB 2001a. Sähkökäytön mitoitus. Viitattu 20.4.2016 https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf

ABB 2001b. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Viitattu 20.4.2016 https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf

ABB 2003. Maritime electrical installations and diesel electric propulsion. Viitattu 12.5.2016 http://www.trpa.org/wp-content/uploads/ABB-AS_2003.pdf

AEL 2007. Insko – seminaariaineisto.

Bunker Index 2016. Viitattu 5.5.2016 <http://www.bunkerindex.com/prices/index.php>

Chevron 2012. Everything you need to know about fuels. Viitattu 25.4.2016 http://www.chevron-marineproducts.com/docs/Chevron_EverythingYouNeedToKnowAbout-Fuels_v3_1a_DESKTOP.pdf

CIMAC 2006. Recommendations concerning the design of heavy fuel treatment plants for diesel engines, rec no.9. Viitattu 20.3.2016 <http://www.cimac.com/publication-press/publications/recommendations/index.html>

CIMAC 2007. Consequences of fuel oil variations on marine booster pumps. Paper No. 276.

Danfoss 2008. Danfoss VLT AQUA Drive. Viitattu 31.3.2016 http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/B4D35463-4594-40D8-8A68-AD9E86AE85F3/0/Web_FC200_DKDDPB14B902_AP.pdf

DNV 2011. Rules for classification of ships. Part 6 Chapter 14. Viitattu 10.5.2016 <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/ruleship/2011-07/ts614.pdf>

DNVGL 2015a. Rules for classification and construction ship technology. Sec 1 B.2. Viitattu 10.5.2016 http://www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/gl_i-1-3_e.pdf

DNVGL 2015b. Rules for classification and construction ship technology. Sec 11.33.G4.4. Viitattu 10.5.2016 http://www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/gl_i-1-2_e.pdf

Draffin, N. 2012. Bunker fuel for marine engines. Technical introduction. United Kingdom: Stephens Print Solutions Limited. ISBN 978-1-908663-03-0

EY direktiivi. 2005/32/EY. Komission asetus Nr.640/2009.

Huhtinen, M.; Korhonen, R.; Pimiä, T.; Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. ISBN 978-952-1354267

Häkkinen, P. 1994. Laivan putkistot. Otaniemi TKK. ISBN 951-22-2097-0.

Kral Screw Pumps 2009. K - Series Viitattu 25.4.2016 http://www.pumpfundamentals.com/pump-database2/kral-K_.pdf

Kuiken, K. 2012a. Diesel engines for propulsion and power plants 1. Target Global Energy Training. Onnen. Netherlands. ISBN: 978-90-79104-00-0.

Kuiken, K. 2012b. Diesel engines for propulsion and power plants 2. Target Global Energy Training. Onnen. Netherlands. ISBN: 978-90-79104-00-0.

LR & UCL 2014. Lloyds Register Marine / UCL Energy Institute. Global Marine Fuel Trends 2030. Viitattu 1.5.2016 http://www.lr.org/en/_images/213-34172_Global_Marine_Fuel_trends_2030.pdf

MAN 2009a. S46MC-C8 Project Guide. Viitattu 20.3.2016 http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S46MC-C8_2.pdf

MAN 2009b. S60MC-C7 Project Guide.

MAN 2014. S60ME-C8.5 Project Guide. Viitattu 20.3.2016 http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S60ME-C8_5.pdf

MAN 2015. MAN 32/44CR Project Guide. Viitattu 20.3.2016 <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/4-stroke-project-guides/man-32-44cr-imo-tier-ii-marine.pdf?sfvrsn=9>

Maritime Economics & Logistics 2013. Artikkele Vol15 2013, 151. Viitattu 20.3.2016 <http://www.palgrave-journals.com/mel/journal/v15/n2/pdf/mel20132a.p>

Mollenhauer, K. & Tschöke, H. 2006. Handbook of Diesel Engines. Springer Heidelberg. Dordrecht. ISBN: 978-3-540-89082-9

Motiva 2009. Energiätehokas moottorijärjestelmä. Viitattu 20.4.2016 http://www.motiva.fi/files/7807/Energiätehokas_moottorijarjestelma_KOULUTUSAINEISTO.pdf

Niemi, S. Vaasan Yliopisto. Haastattelu 24.3.2016.

Pakkanen, P. & Salo, J. NAPA Oy. Haastattelu 11.3.2016.

The Motorship 2012. MAN reports slow steaming research. Artikkele 19.6.2012. Viitattu 1.4.2016 <http://www.motorship.com/news101/industry-news/man-reports-slow-steaming-research>

The Motorship 2013. Efficiency drives two-stroke developments. Artikkele 31.4.2013. Viitattu 1.4.2016 www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/efficiency-drives-two-stroke-developments

U.S. Energy Information Administration 2015. Marine fuel choice for ocean – going vessels within emissions control areas. Slow speed steaming reduction. Viitattu 31.3.2016 https://www.eia.gov/analysis/studies/transportation/marinefuel/pdf/marine_fuel.pdf

Wärtsilä 2010. Technical Journal 02.2010. Viitattu 18.5.2016 <http://www.wartsila.com/docs/default-source/Service-catalogue-files/Engine-Services---2-stroke/slow-steaming-a-viable-long-term-option.pdf?sfvrsn=0>

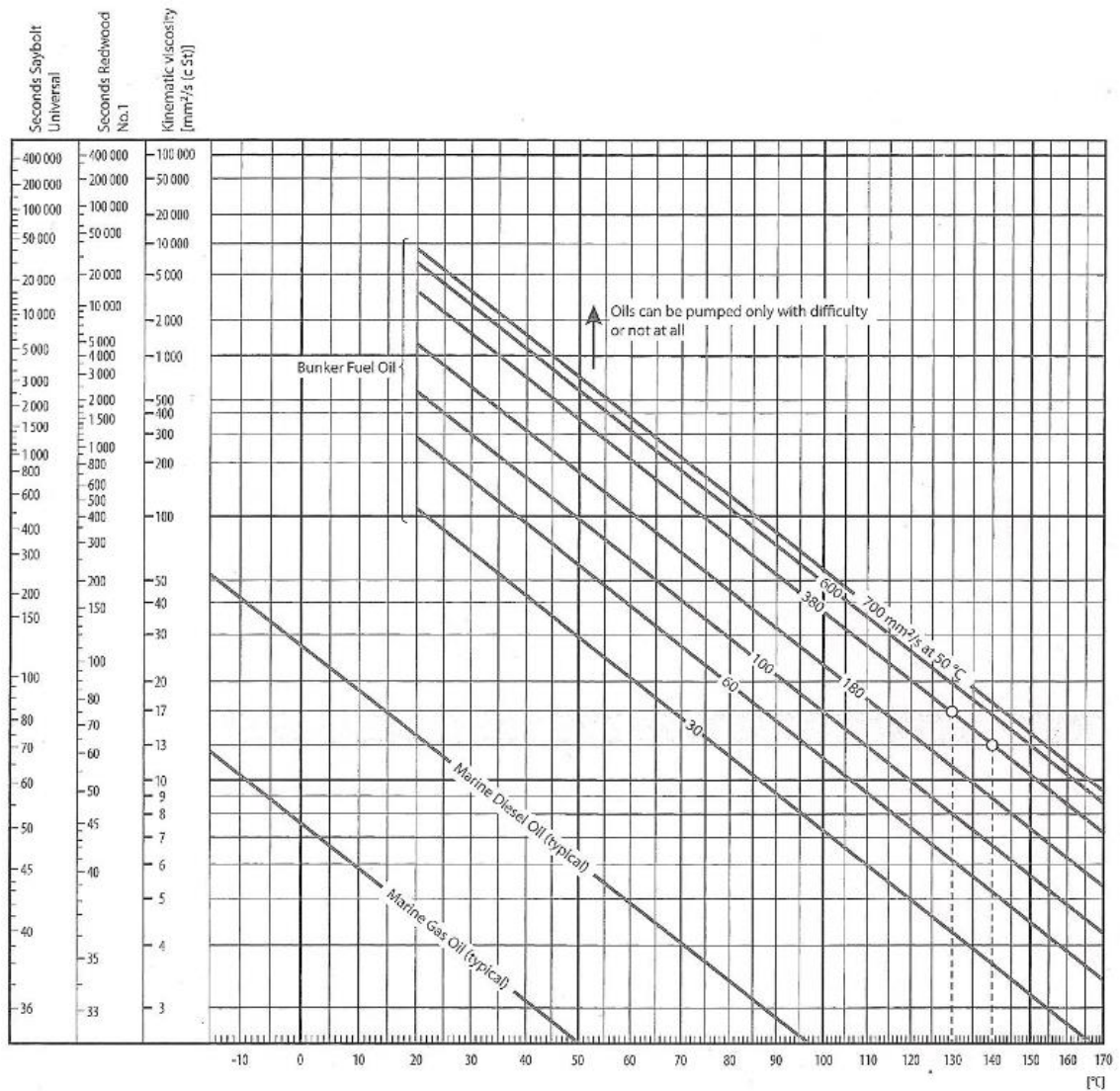
Wärtsilä 2014a. 46DF Project Guide. Viitattu 4.4.2016 <http://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/wartsila-o-e-w-46df-pg.pdf?sfvrsn=3>

Wärtsilä 2014b. W38 Product Guide. Viitattu 20.3.2016 <http://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/wartsila-o-e-w-38-pg.pdf?sfvrsn=5>

Wärtsilä 2015. 20 DF Project Guide. Viitattu 4.4.2016 <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/20df-product-guide.pdf?sfvrsn=4>

Wärtsilä 2016. Encyclopedia of Ship Technology. Viitattu 20.3.2016 <http://www.shippingencyclopedia.com/>

Liite 1. Polttoaineiden (bunker) viskositeetti ja pumpattavuus eri lämpötiloissa.



Kuiken, K. 2012, 142. Diesel engines for propulsion and power plants 1. Target Global Energy Training. Onnen. Netherlands. ISBN: 978-90-79104-00-0.

Liite 2. Polttoaineille asetetut vaatimukset, ISO 8217.



Requirements (1990) for residual fuels for diesel engines (as delivered)

Characteristic	Dim.	Limit	Designation:												
			CIMAC A 10	CIMAC B 10	CIMAC C 10	CIMAC D 15	CIMAC E 25	CIMAC F 25	CIMAC G 35	CIMAC H 35	CIMAC K 35	CIMAC H 45	CIMAC K 45	CIMAC H 55	CIMAC K 55
Related to ISO 8217 (87):	F --		RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMH 45	RMK 45	RMH 55	--
Density at 15 °C	kg/m ³	max	950	975		980	991	991	991	1010	1010	991	1010	991	1010
Kinematic viscosity at 100 °C ¹⁾	cSt ²⁾	max	10												
		min ⁴⁾	6	15											
Flash point	°C	min	60												
Pour point	°C	max	0 ³⁾ 6	24	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Carbon Residue	% (m/m)	max	12	14	14	14	15	20	18	22	22	22	22	22	22
Ash	% (m/m)	max	0.10												
Total sediment after ageing	% (m/m)	max	0.10												
Water	% (V/V)	max	0.50												
Sulphur	% (m/m)	max	3.5												
Vanadium	mg/kg	max	150	300	300	350	200	500	300	600	600	600	600	600	600
Aluminium + Silicon	mg/kg	max	80												
Ignition properties			see appendix, section 3												

¹⁾ Approximate equivalent viscosities (for information only):
 Kinematic viscosity (cSt) at 100 °C 6 10 15 25 35 45 55
 Kinematic viscosity (cSt) at 50 °C 22 40 80 180 380 500 700
 Sec. Redwood I at 100 °F 165 300 600 1500 3500 5000 7000

²⁾ 1cSt = 1 mm²/sec
³⁾ Applies to region and season in which fuel is to be stored and used. (upper value winter quality, bottom value summer quality)
⁴⁾ Recommended value only. May be lower if density is also lower. See appendix, part 3

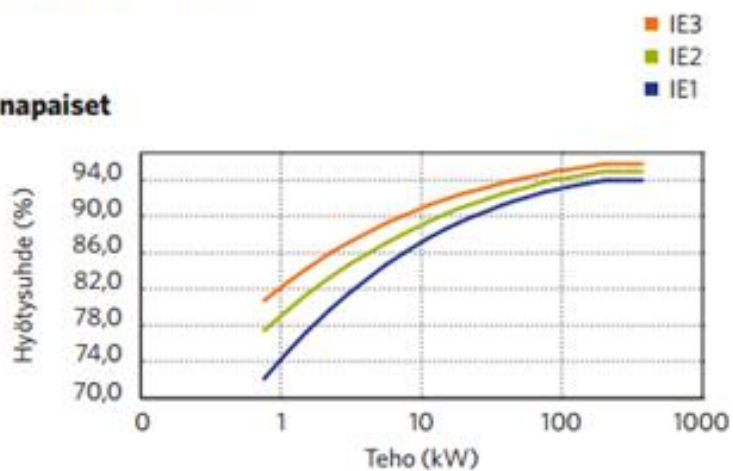
Liite 3. Sähkömoottorien hyötysuhdeluokat IE1 – IE3.

Motiva ENERGIATEHOKKAAT HANKINNAT

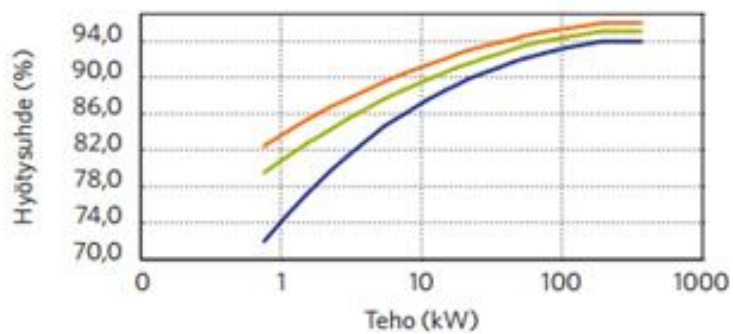
Liite C

Moottoreiden uudet hyötysuhdeluokat

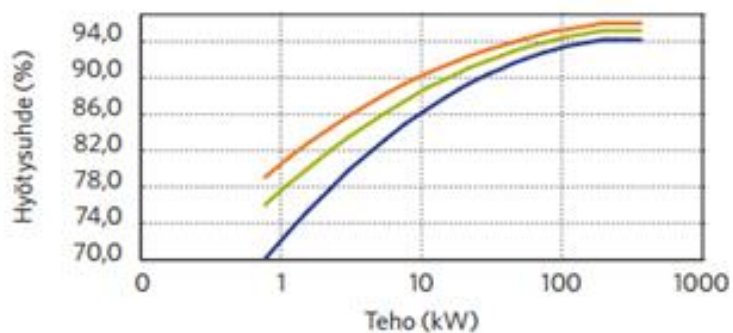
Hyötysuhdeluokat 2-napaiset



Hyötysuhdeluokat 4-napaiset



Hyötysuhdeluokat 6-napaiset



Liite 4. Feeder booster -koneikko, PI-kaavio (Auramarine Oy).

