

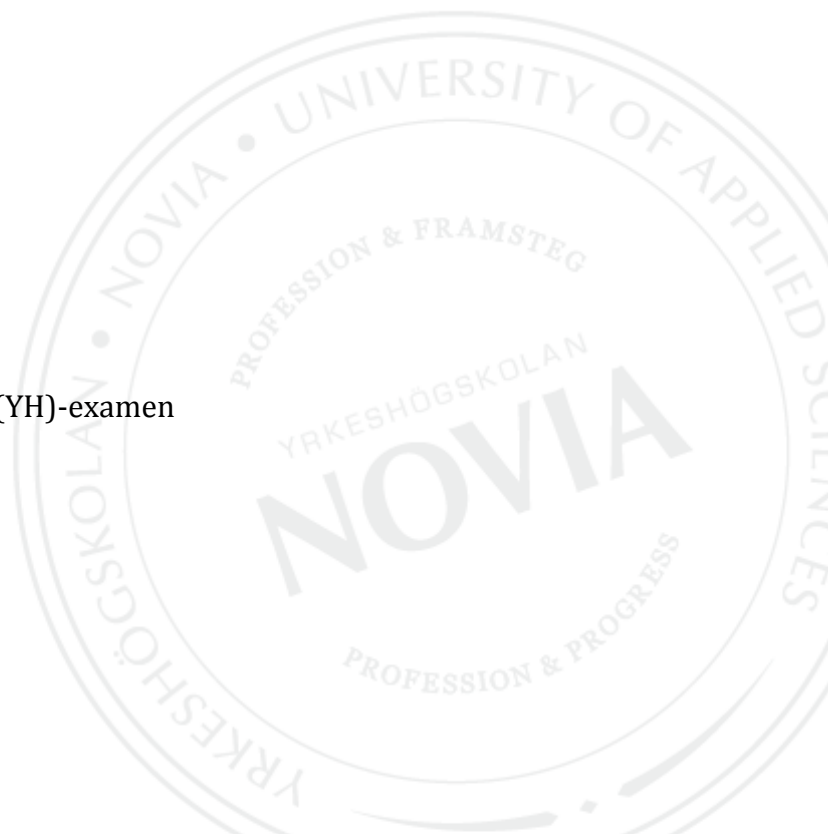
# **Finnsementti Oy:n merikuljetusten polttoainetalous**

Tomi Elmnäinen

Examensarbete för sjökaptens (YH)-examen

Utbildning i sjöfart

Åbo 2014



# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Tomi Elmnäinen

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Utbildning i sjöfart, Turku

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Sjökapten YH

Ohjaaja: Bertel Henriksson

Nimike: Finnsementti Oy:n merikuljetusten polttoainetalous

---

Päivämäärä 17.10.2014

Sivumäärä 36

Liitteet 0

---

## Tiivistelmä

Merikuljetusten suurin kustannuserä on polttoaine. Merikuljetuksissa käytetään pääsääntöisesti fossiilisia polttoaineita, joiden riittävyys ei ole ikuinen. Uusia energiatehokkaampia tekniikoita ja polttoaineita on kehitteillä, mutta niiden hyödyntäminen jo olemassa olevilla aluksilla ei useinkaan ole mahdollista joko teknisistä tai taloudellisista syistä.

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Finnsementti Oy:lle. Työn tavoitteena on ollut kartoittaa tapoja vähentää merikuljetuksissa käytetyn polttoaineen määrää ja samalla vähentää polttoaineen palamisesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia jo olemassa olevalla/tilatulla aluskannalla.

Työn tuloksista voidaan nähdä, että on useita tapoja vähentää merikuljetuksissa kuluvan polttoaineen määrää. Yhdistämällä useampia erilaisia tapoja säästöt saattavat muodostua huomattaviksi. Tämän työn tulokset pätevät pääsääntöisesti myös useilla muilla aluksilla.

---

Kieli: Suomi

Avainsanat: Finnsementti, polttoainetalous

---

Opinnäytetyö on saatavilla ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa Theseus.fi

## BACHELOR'S THESIS

Author: Tomi Elmnäinen

Degree Programme: Degree Programme in Maritime Studies, Turku

Specialization: Bachelor of Marine Technology

Supervisor: Bertel Henriksson

Title: Fuel economy of Finnsementti Ltd's maritime transports

---

Date 17.10.2014      Number of pages 36      Appendices 0

---

### Abstract

The biggest cost of shipping is the fuel. Fossil fuels are the primary fuel used in shipping. The sufficiency of fossil fuels is not eternal. New energy-efficient technologies and fuels are being developed, but the use of those in existing vessels is often not possible either for technical or economic reasons.

This thesis was commissioned by Finnsementti Oy. The aim was to identify different ways to reduce the amount of spent fuel and at the same time reduce the amount of the environmental impact of the already existing/commissioned fleet.

The results of this thesis show that there are several ways to reduce the currently used amount of fuel in shipping. By combining a number of different ways described in this thesis the savings may become substantial. Results of this work are generally valid also for several other vessels.

---

Language:    finnish      Key words: Finnsementti, fuel economy

---

The examination work is available at the electronic library Theseus.fi

## EXAMENSARBETE

Författare: Tomi Elmnäinen

Utbildningsprogram och ort: Utbildning i sjöfart, Åbo

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Sjökapten YH

Handledare: Bertel Henriksson

Titel: Finnsementti Oy:n merikuljetusten polttoainetalous

---

Datum 17.10.2014      Sidantal 36      Bilagor 0

---

### Abstrakt

Bränslet utgör idag den största enskilda kostnaden vid sjötransporter. De fossila bränslena kommer dock inte att räcka i all evighet. Ny energisparande teknik och bränslen utvecklas, men deras användning i befintliga fartyg är oftast inte möjligt på grund av tekniska eller ekonomiska skäl.

Denna studie har framställts på beställning av Finnsementti Oy.

Syftet med arbetet är att undersöka olika sätt att minska bränsleförbrukning samt dess miljöpåverkan på Finnsementtis befintliga flotta och planerade nybyggen.

Studien visar att det finns flera sätt att minska bränsleförbrukningen genom att kombinera ett antal olika tillvägagångssätt. Dessa kan märkbart medföra besparingar för rederiet. Resultatet av denna studie kunde också implementeras på andra typer av fartyg.

---

Språk: finska    Nyckelord: Finnsementti, bränsle ekonomi

---

Examensarbetet finns tillgängligt i webbiblioteket Theseus.fi

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Tavoite .....	2
1.2	Ongelmanasettelu .....	2
1.3	Rajaus .....	2
2	Tutkimusmetodi.....	3
3	Työn tilaaja .....	3
4	Erilaiset polttoainevaihtoehdot.....	4
4.1	Lämpöarvo .....	4
4.2	HFO (Heavy Fuel Oil = raskas polttoöljy) .....	6
4.3	MGO (Marine Gas Oil = meriliikenteessä käytettävä kaasuöljy).....	8
4.4	LNG (Liquefied Natural Gas = nesteytetty maakaasu) .....	9
4.5	Etaani.....	10
4.6	BFO (Bio Fuel Oil = Biodiesel).....	11
4.7	Kehitteillä olevat tuotteet.....	12
4.8	Vertailu .....	12
5	Kestävän kehityksen näkökulma .....	14
5.1	Lainsäädännön asettamat vaatimukset.....	15
5.2	Ympäristökuormitus.....	15
5.3	Ekologinen- ja hiilijalanjälki .....	15
6	Operationaaliset menetelmät.....	16
6.1	Ecodriving .....	16
6.1.1	Odotetut hyödyt .....	17
6.2	Slow steaming.....	18
6.2.1	Odotetut hyödyt .....	18
6.2.2	Laskennallinen malli .....	19
6.2.3	Aluksen polttoaineenkulutus lastattuna vs. Painolastissa.....	20
6.2.4	Ajallinen muutos tilaajan käyttämällä pääreiteillä .....	22

6.3	Viippaus (Trimmi) .....	23
6.3.1	Odotetut hyödyt .....	23
6.4	Maasähkö .....	24
6.4.1	Odotetut hyödyt .....	25
6.4.2	Tekniset vaatimukset aluksella ja maissa .....	25
6.4.3	Taloudelliset panostukset .....	26
6.5	Pohjanpuhtaus ja tasaisuus .....	27
6.5.1	Odotetut hyödyt .....	27
7	Muita tapoja .....	28
8	Johtopäätökset .....	28
9	Kriittinen tarkastelu .....	31
10	Lähdeluettelo .....	32

# 1 Johdanto

Vaatimukset kuljetusten energiatehokkuuden lisäämiseksi ovat kasvaneet ja yhä kasvamassa. Näitä vaatimuksia asettavat sekä lainsäädäntö että varustamot. Uusia innovaatioita syntyy jatkuvasti, mutta suurin osa teknisistä ratkaisuista on järkevästi käytettävissä vain rakennettaessa uutta alusta, eivätkä ne sovellu jo olemassa olevien alusten energiatehokkuuden parantamiseen.

Yleisesti ottaen suurin yksittäinen kustannustekijä merikuljetuksissa on polttoaine. Tässä työssä keskityn Finnsementti Oy:n kuljetuksiinsa käyttämän sementinkuljetusaluksen sekä jo tilatun uudisrakennuksen energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksien tutkimiseen ja kartoittamiseen. Työn tuloksia voi suurelta osin soveltaa myös muilla aluksilla.

Eri vaihtoehtoja punnittaessa on pyrittävä myös ottamaan huomioon niiden aiheuttamat taloudelliset rasitteet.

Polttoaineen valinnalla voidaan vaikuttaa energiatehokkuuteen merkittävässä määrin. On olemassa myös useampia operationaalisia menetelmiä, joilla aluksen energiatehokkuutta voidaan huomattavasti parantaa. Koska tilattu alus ei enää ole suunnitteluvaiheessa, päähuomioni olen keskittänyt olemassa olevalla aluksella oleviin mahdollisiin vaihtoehtoihin. Nämä vaihtoehdot ovat monessa tapauksessa otettavissa käyttöön varsin alhaisin kuluin.

## 1.1 Tavoite

Tämän työn tavoitteena on kartoittaa erilaisia ratkaisuja, joilla voitaisiin vähentää Finnsementti Oy:n merikuljetuksissa kuluvan polttoaineen määrää sekä polttoaineen palamisesta syntyviä päästöjä ja tämän kautta pienentää kuljetuksista aiheutuvaa ekologista jalanjälkeä.

## 1.2 Ongelmanasettelu

Tässä työssä pyritään löytämään vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä ovat käytettävissä olevat polttoainevaihtoehdot?
- Mitä erilaisia operationaalisia menetelmiä on polttoaineen kulutuksen ja samalla polttoaineen palamisesta syntyvien päästöjen vähentämiseksi?
- Mitkä löydetyistä vaihtoehdoista sopivat tilaajan tarpeisiin?

## 1.3 Rajaus

Kohdassa 7 Muita tapoja olen luettellonut useita vaihtoehtoisia tapoja, joiden tutkimisen olen rajannut pois tästä työstä, koska ne eivät sovellu liikennöitävälle merialueelle.

Tästä työstä rajaan pois myös Euroopan ulkopuolisen alueen säädökset, koska ei ole oletettavaa, että Finnsementti Oy toistaiseksi kuljettaisi tuotteitaan Euroopan ulkopuolelle.



Tässä työssä en tarkemmin käsittele eri vaihtoehtojen vaatimia taloudellisia panostuksia (pois lukien kohta 6.4.3) , kuten laiteinvestoinnit, kasvaneen matka-ajan aiheuttamat ylimääräiset miehistökustannukset jne., vaikka joissakin kohdin niihin viitataan.

Työssä ei käsitellä pakokaasujen puhdistusmenetelmiä.

## **2 Tutkimusmetodi**

Tämä työ perustuu aikaisemmin suoritettuihin tutkimuksiin ja julkaisuihin. Lähteinä on käytetty sekä kirjallisuus- että internetlähteitä sekä tilaajan luottamuksellisesti käyttöön luovuttamaa materiaalia.

## **3 Työn tilaaja**

Finnsementti Oy kuuluu irlantilaistaustaiseen ja maailmanlaajuisesti toimivaan kansainväliseen CRH-konserniin. Finnsementti Oy:llä on kaksi sementtitehdasta Suomessa, ja sementtiasemat sijaitsevat Kirkkonummella, Maarianhaminassa, Oulussa, Pietarsaareissa ja Vaasassa. Paraisten tehtaalta noin puolet sementistä kuljetetaan meritse pääasiassa Ouluun ja Pietarsaareen sekä jossain määrin myös Maarianhaminaan. (Finnsementti)

Finnsementin merikuljetukset tapahtuvat Itämeren alueella kuta kuinkin poikkeuksetta. Pääosa liikennöinnistä tapahtuu Saaristo- ja Selkämerellä sekä Merenkurkussa ja Perämerellä. Sementin kuljettamiseen meritse yhtiö käyttää pääosin yhtä alusta. Tällä hetkellä käytössä on 5700 DWT m/s Nordanvik joka korvataan tilatulla 5300 DWT (toistaiseksi nimellä Cembothnia kulkevalla) 2016 valmistuvalla aluksella. Tilattuun

alukseen ollaan asentamassa MGO:ia polttoaineena käyttävää Caterpillar Marine Power Systemsin valmistamaa MaK 6M32 laivakonetta. (Baltrader, 2013)

## 4 Erilaiset polttoainevaihtoehdot

Polttoaine on aine, jonka palamisreaktion avulla kehitetään tavallisimmin lämpöä. (Alakangas 2000). Laivoissa palamisella kehitetään pääasiassa mekaanista energiaa. Polttoaineen tärkein ominaisuus on poltettaessa vapautuvan lämpömäärän ilmoittava lämpöarvo. (Vakkilainen 2009)

### 4.1 Lämpöarvo

Lämpöarvolla tarkoitetaan palamisessa massan yksikköä kohti vapautuvaa lämpömäärää. (Suomisanakirja 2013). Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden kohdalla lämpöarvo ilmoitetaan tavallisesti megajouleina (miljoonina jouleina) polttoainekiloa kohti, MJ/kg. (Alakangas 2000) Tätä vastaava yksikkö, jota seuraavassa taulukossa on käytetty, on GJ/t ja GJ/1000m<sup>3</sup>.

## Taulukko 1. Polttoaineiden lämpöarvoja

	Polttoaine- kohtainen määrä- yksikkö	CO2 oletus- päästö- kerroin  (t/TJ)	Oletus- hapetus- kerroin	Tehollinen (alempi) oletus- lämpöarvo käyttötilassa (GJ/yksikkö)	Huom!
<b>FOSSII LISET POLTTOAINEET</b>					
<b>Öljyt</b>					
<b>Keskiraskaat öljyt</b>					
Lentopetroli	t	73,2	1,0	43,3	
Muut petrolit	t	71,5	0,995	43,1	
Dieselöljy	t	68,0	1,0	42,8	
Kevyt polttoöljy, vähärikkinen	t	73,0	0,995	42,8	
Kevyt polttoöljy, rikitön (ent. Moottoripolttoöljy)	t	73,0	0,995	42,8	
Muut keskiraskaat öljyt	t	74,1	0,995	42,7	
<b>Raskaat öljyt</b>					
Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus <1%	t	78,8	0,995	41,1	
Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus >=1%	t	78,8	0,995	40,5	
Muut raskaat öljyt		79,2	0,995	40,2	
<b>Maakaasu</b>					
<b>Maakaasu</b>					
Maakaasu	1000m <sup>3</sup>	55,04	0,995	36,0	
Nesteytetty maakaasu (LNG)	t	55,8	0,995	49,3	
<b>Uusiutuvat ja sekapolttoaineet</b>					
<b>Muut bio- ja sekapolttoaineet</b>					
<b>Biokaasu</b>					
Teollisuuden biokaasu	1000m <sup>3</sup>	56,1	0,99	28,0	BIO
Biometaan	1000m <sup>3</sup>	56,1	0,99	36,0	BIO
Synteettinen biokaasu	1000m <sup>3</sup>	56,1	0,99	36,0	BIO
<b>Biopolttonesteet</b>					
Biopolttoöljy	t	75,0	0,99	38,5	BIO
Biopyrolyysiöljy	t	79,6	0,99	17,0	BIO
Muut nestemäiset biopolttoaineet	t	79,6	0,99	15..40	BIO

(Tilastokeskus 2014)

Edellä olevaan taulukkoon olen poiminut Tilastokeskuksen laajemmasta taulukosta tässä työssä käsiteltyjen sekä joidenkin muiden polttoaineiden lämpöarvoja. Taulukosta on poistettu useita polttoaineita, mm. hiiliterva ja jyrshinturve, joiden ei tällä hetkellä katsota soveltuvan käytettäväksi laivojen polttoaineina.

## 4.2 HFO (Heavy Fuel Oil = raskas polttoöljy)

Raskas polttoöljy on raakaöljyn tislautumattomasta jakeesta valmistettu polttoöljy, jota käytetään mm. laivojen polttoaineena. (Tilastokeskus 2014)

Raskas polttoöljy sopii kohteisiin, joissa kattilateho ylittää 500 kW. Raskas polttoöljy on kevyttä ostohinnaltaan edullisempaa, mutta vaatii asiantuntevaa huoltoa ja käyttöä sekä kalliimmat polttolaitteet. (Alakangas 2000)

HFO:n käyttäminen polttoaineena SECA (Sulphur Emission Control Areas)-alueella, johon Itämeri kuuluu, tulee vuoden 2015 voimaan astuvan rikkidirektiivin takia vaatimaan rikkipesurilaitteiston asentamista alukseen. Edellä mainitut pesurit EU:n rikkidirektiivi 2012/33/EU määrittelee seuraavasti: ”päästönvähentämismenetelmällä” alukseen asennettavaa varustetta, materiaalia, laitetta tai laitteistoa tai muuta menettelyä, vaihtoehtoista polttoainetta taikka vaatimusten noudattamista koskevaa menetelmää, jota käytetään vaihtoehtona tässä direktiivissä vahvistettujen vaatimusten mukaiselle vähärikkiselle meriliikenteessä käytettävälle polttoaineelle ja joka voidaan todentaa ja määrällisesti arvioida ja jonka noudattamista voidaan valvoa;”.  
(Rikkidirektiivi 2012/33/EU)

HFO:n ominaisuuksia on esitelty seuraavassa taulukossa. Vertaamalla alla olevaa Taulukkoa 2 Taulukkoon 1 voidaan niissä ilmoitettujen tehollisten lämpöarvojen todeta olevan lähellä toisiaan. Taulukossa 1 on yksikkönä GJ/t ja taulukossa 2 yksikkönä on MJ/kg, jotka lukuarvoina vastaavat toisiaan.

Taulukko 2. Raskaiden polttoöljyjen tyypillisiä ominaisuuksia

Ominaisuus Määrittymenetelmä	Mastera LS 100		Mastera LS 180		Mastera LS 300		Mastera LS 420	
	Laatu- raja	Tyypill. arvo	Laatu- raja	Tyypill. arvo	Laatu- raja	Tyypill. arvo	Laatu- raja	Tyypill. arvo
Viskositeetti								
-50°C:ssa, mm <sup>2</sup> /s (laskettu)	80 - 100	95	140 - 180	170	160 - 300	290	220 - 420	400
-80°C:ssa	23,2 - 27,4	27	35,1 - 42,2	41,3	38 - 60	58	48 - 79	75
EN ISO3104								
Tiheys 15°C:ssa, kg/m <sup>3</sup>	900 - 1000	1000	910 - 1020	1000	920 - 1020	1005	920 - 1020	1005
EN ISO12185								
Jähmeypiste, °C	<15	<5	<15	<5	<15	<10	<15	<10
ISO 3016								
Leimahduspiste, °C	>65	80	>65	80	>65	95	>65	95
EN ISO 2719								
Elementaarianalyysi, %								
-Hiili		88,33		88,33		88,30		88,30
-Vety		10,10		10,10		10,10		10,10
-Rikki (*)	<1,0	0,95	<1,0	0,95	<1,0	0,98	<1,0	0,98
-Typpi		0,40		0,40		0,40		0,40
-Happi		0,20		0,20		0,20		0,20
-Tuhka (**)	<0,15	0,02	<0,15	0,02	<0,15	0,03	<0,15	0,03
(*) EN ISO 14596/8754								
(**) EN ISO 6245								
Tehollinen lämpöarvo								
+25°C:ssa, MJ/kg								
-kuiva öljy	>40,7	41,0	>40,5	40,7	>40,4	40,6	>40,4	41,0
-toimitustilassa	>40,4	40,7	>40,2	40,4	>40,1	40,3	>40,1	40,9
EN 8217								

(Huhtinen 2006)

### 4.3 MGO (Marine Gas Oil = meriliikenteessä käytettävä kaasuöljy)

MGO on autoissa käytettävää dieseliä vastaava polttoöljy, jonka rikkipitoisuus on maksimissaan 0,1 % SECA-alueella vuoden 2014 jälkeen. Paikalliset viranomaiset voivat asettaa SO<sub>x</sub>-arvoille myös tiukempia rajoituksia. (Lloyd's Register 2010)

EU:n rikkidirektiivi 2012/33/EU määrittelee meriliikenteessä käytettävän kaasuöljyn seuraavasti: ”meriliikenteessä käytettävällä kaasuöljyllä meriliikenteessä käytettävää polttoainetta, joka on ISO 8217:n taulukossa I määriteltyjen DMX-, DMA- ja DMZ-laatujen mukaista, rikkipitoisuutta koskevaa viittausta lukuun ottamatta;” (Rikkidirektiivi 2012/33/EU)

MGO:n ominaisuuksia on esitelty alla olevassa taulukossa.

*Taulukko 3. Neste Oilin ISO 8217 mukaisen MGO:n tuotetiedot*

Ominaisuus Määrittymen menetelmä	MGO	
	Laatu- raja	Tyypill. arvo
Viskositeetti 40°C, mm <sup>2</sup> /s EN ISO 3104	2,0 - 6,0	5
Tiheys 15°C:ssa, kg/m <sup>3</sup> EN ISO 12185 ISO 3675	xxx - 890,0	868
Jähmepiste, °C ISO 3016	0	
Leimahduspiste, °C EN ISO 2719	>65	80
Elementaarianalyysi, % -Rikki (*) -Tuhka (**) (*) EN ISO 8754/NM 380 (**) EN ISO 6245	<0,1 <0,10	0,03 0,010
Tehollinen lämpöarvo laskettu, MJ/kg D 4809		43

*(Neste Oil 2014)*

#### 4.4 LNG (Liquefied Natural Gas = nesteytetty maakaasu)

Maakaasu on kaasumainen kevyt hiilivety, jota saadaan luonnonlähteistä sellaisenaan, tai se on öljyntuotannon yhteydessä erotettavissa. Maakaasun nesteyttäminen normaalissa ilmakehän paineessa tapahtuu jäädyttämällä se  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. Maakaasu koostuu pääosin metaanista, ja siinä on myös pieniä määriä etaania, propaania, butaania ja typpeä. (Alakangas, 2000)

Maakaasun ominaisuuksia on esitelty alla olevassa taulukossa.

*Taulukko 4. Maakaasun ominaisuudet*

Moolimassa (M)	16,0 kg/kmol
Moolitilavuus (Vm)	22,4 m <sup>3</sup> /kmol
Suhteellinen tiheys	0,56 (ilma=1)
Sulamispiste	$-182\text{ }^{\circ}\text{C}$
Kiehumispiste	$-162\text{ }^{\circ}\text{C}$
Kriittinen lämpötila	$-82\text{ }^{\circ}\text{C}$
Höyrystymislämpö	549kJ/kg ( $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Tiheys nestemäisenä	421 kg/m <sup>3</sup> ( $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Tilavuussuhde	587 (tiheyksien suhde)
Kastepiste (40 bar)	Talvella max $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ Kesällä max $+0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ominaislämpö ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	$C_p=2,15\text{ kJ/kg K}$ $C_v=1,63\text{ kJ/kg K}$

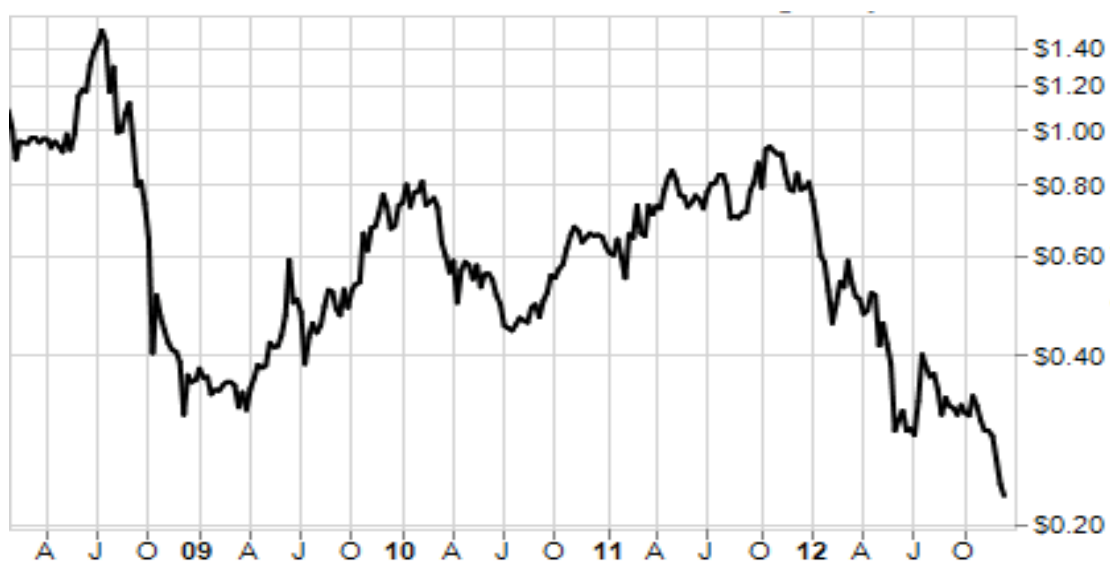
*(Suomen Kaasuyhdistys 2014)*

HFO:ia tai MGO:ia polttoaineenaan käyttävän aluksen muuntaminen käyttämään LNG:ia vaatii huomattavia taloudellisia panostuksia. Työn tilaajalla on tiedossaan aluksen rakentavan telakan tekemä kustannusarvio muutostyön hinnasta sellaista haluttaessa. (henkilökohtainen tiedonanto tilaajan edustajalta (Teräväinen) 25.04.2014)

## 4.5 Etaani

Alkaneihin kuuluva etaani on palava kaasumainen hiilivety. Normaaliolosuhteissa etaani väritöntä ja hajutonta. Etaania voidaan eristää krakkauksen yhteydessä maakaasusta ja raakaöljystä. Etaanin yleisin käyttö on eteenin valmistus. Etaani voidaan myös nesteyttää, jolloin sitä käytetään vähäisessä määrin polttoaineena. Etaani ei kuitenkaan ole juurikaan käytössä alusten polttoaineena. (National Center for Biotechnology Information, 2009)

Etaanin hinta on aiemmin ollut hieman korkeampi kuin LNG:in, mutta on romahtanut vuoden 2009 jälkeen, kuten kuva 1 osoittaa. (Badiali 2012)



Kuva 1. Etaanin hinnan kehitys 2009–2012. Hinta dollaria/gallona (Badiali 2012)

Etaani on nousemassa yhdeksi mahdollisuudeksi ja herättää innostusta ja kiinnostusta varustamoalalla, koska sen saatavuus on huomattavasti parantunut uusien liuskeesiintymien vuoksi. Etaanin käytön polttoaineena ennustetaan kasvavan huomattavasti. (Lloyd's Register 2014)

Etaanin saatavuus ei Suomessa ole tällä hetkellä riittävä, jotta etaania voitaisiin käyttää alusten polttoaineena.



## 4.6 BFO (Bio Fuel Oil = Biodiesel)

Biodiesel on yleisnimitys, jota käytetään kaikesta kasviöljypohjaisesta polttoaineesta. Kasviöljy ei sellaisenaan sovi nykyisten dieselmootoreiden polttoaineeksi karstoittumisongelmien vuoksi. Alkoholilla esteröitäessä kasviöljystä saadaan dieselmootoreihin sopivaa polttoainetta. (Alakangas 2000)

Koska Biodiesel on yleisnimitys, on lähestulkoon mahdotonta tässä yhteydessä liittää taulukkoa kaikkien erilaisten biodieseliä ominaisuuksista. Alakangas on teoksessaan koonnut muutamien pyrolyysiöljyjen koostumuksia taulukkoon (Taulukko 5), jossa on vertailut niitä mineraaliöljyihin.

*Taulukko 5. Pyrolyysiöljyjen koostumus ja vertailu mineraaliöljyihin.*

	Pyrolyysiöljyt				Mineraaliöljyt	
	Koivu <sup>1)</sup>	Mänty <sup>1)</sup>	Poppeli <sup>2)</sup>	Eril. biomassoja <sup>3)</sup>	Kevyt öljy 15	Raskas öljy 2000
Kosteus, %	18,9	17,0	18,9	15 - 30	0,025	<7
Viskositeetti (50°C),	28	28	13,5	13 - 80	6	140 - 380
Tiheys, (15°C), kg/dm <sup>3</sup>	1,25	1,24	1,20	1,1 - 1,3	0,89	0,9 - 1,02
Teholl. Lämpöarvo, MJ/kg	16,5	17,2	17,4	13 - 18	40,3	39,5
Tuhka, p-%	0,004	0,03	0,01	0,004 - 0,3	0,01	0,1
Rikki, p-%	0,00	0,02	0,02	0,00 - 0,05	0,2	1,0
Leimahduspiste, °C	62	95	64	50 - 100	60	>65
Jähmettymispiste, °C	-24	-19		-39 - -9	-15	>15

1) Tuotettu VTT Energiassa 2) tuotettu NREL:ssä USA:ssa 3) 150 erilaista bioöljyä

*(Gust*

*1994, Oasmaa & Chernik 1999)*

Tutkittaessa polttoaineiden lämpöarvoja yllä olevasta taulukosta sekä Tilastokeskuksen taulukosta (Taulukko 1 s.4) biopolttoöljy näyttäisi olevan lähestulkoon yhtä tehokas polttoaine kuin fossiiliset polttoöljyt pyrolyysiöljyjen jäädessä huomattavasti alempitehoisiksi.

## 4.7 Kehitteillä olevat tuotteet

Tällä hetkellä kehitystyö vaikuttaisi suuntautuvan vahvasti erilaisten biodieseleiden kehittämiseen sekä erilaisten pakokaasupesurilaitteistojen rakentamiseen. Myös biokaasujen kehitystyön voidaan olettaa vauhdittuvan. Jos jollakin taholla on jotakin mullistavaa kehitteillä, pyritään se näinä teollisuusvakoilun aikoina pitämään salaisuutena mahdollisimman pitkään.

Lockheed Martinin 15.10.2014 julkaiseman tiedotteen mukaan yhtiö on kehittämässä kompaktia fuusioreaktoria. Projektin johtajan Thomas McGuiren mukaan 100 MW reaktorin teho ”riittää liikuttamaan laivaa” ja se olisi kooltaan 23 x 43 jalkaa. Polttoaineena reaktorissa käytetään deuterium-tritiumia. Deuteriumia on suuret määrät varastoituneena merivedessä, tritiumia saadaan litiumista. Polttoaineen kulutuksen luvataan olevan alle 25 kg vuodessa. Prototyyppeä voidaan odottaa jo viiden vuoden päästä ja valmis tuote voisi tulla markkinoille ehkä jo kymmenen vuoden päästä. Hintaa tälle reaktorille tai sen käyttämälle polttoaineelle en ole onnistunut löytämään. (Norris, 2014)

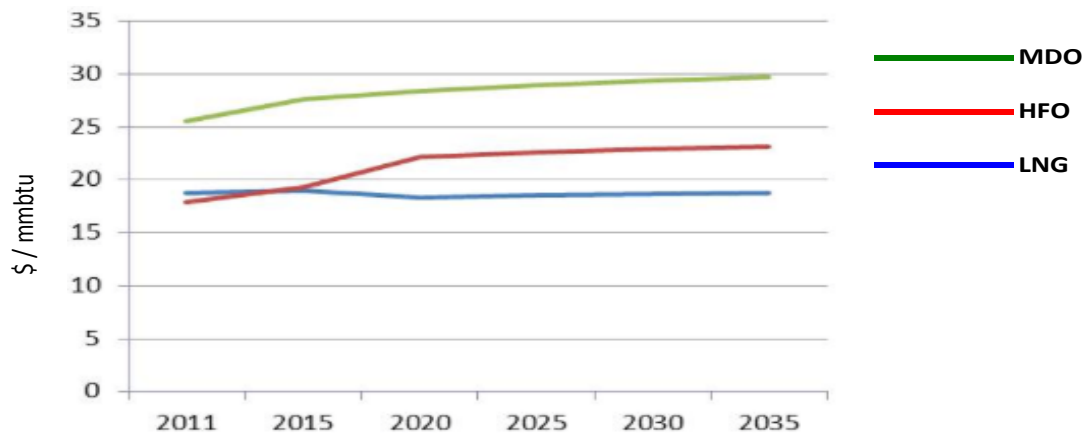
## 4.8 Vertailu

Raakaöljyn hinta on lähes nelinkertaistunut vuodesta 1984 tähän hetkeen, ja koska fossiilisten polttoaineiden hinnat seuraavat raakaöljyn hintaa voidaan sanoa, että polttoaineiden hinnat ovat nousseet viimeisten vuosikymmenten aikana. (BP, 2014)

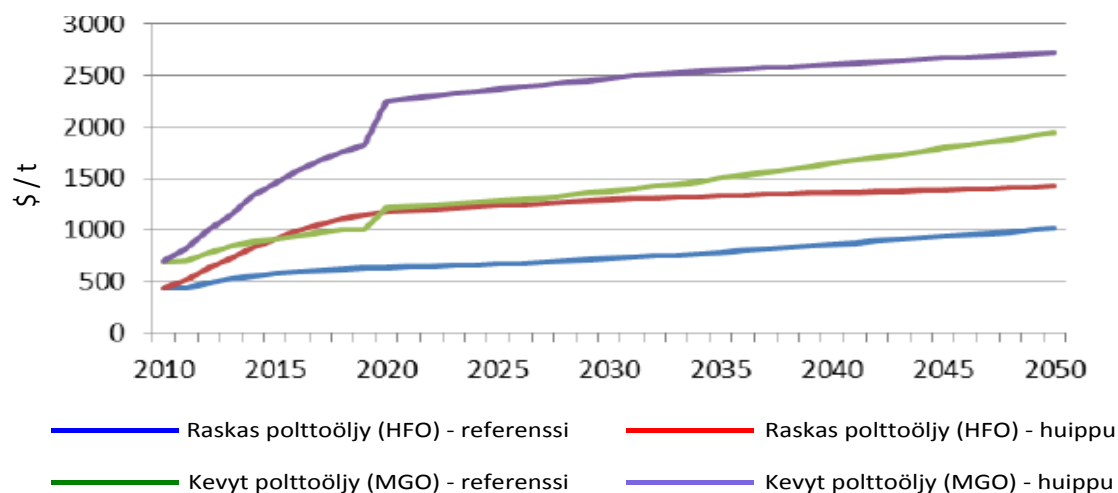
Hintojen nousun ennustetaan jatkuvan tulevaisuudessakin. (Blikom, 2013, Bazari & Longva 2011)

Polttoaineen valinnassa käyttökustannukset ovat määräävässä asemassa, mutta päästörajoitukset asettavat omat rajoituksensa ja osaltaan pakottavat kompromisseihin.

Myös erilaiseen polttoaineeseen siirtyminen aiheuttaa taloudellisia paineita laitehankintojen myötä.



Kuva 2. Ennuste polttoaineiden hinnoista (Blikom, L. 2013,)



Kuva

### 3. Ennuste polttoaineiden hinnoista 2010–2050 (Bazari & Longva, 2011)

Kuten yllä olevista kuvista voidaan nähdä, tislepolttoaineiden hinnan ennustetaan lähteestä riippuen jopa lähes nelikertaistuvan muutamassa vuosikymmenessä. LNG:n hinnan uskotaan pysyvän nykyisellä tasolla, tai ainakin hinnan nousun ennustetaan olevan huomattavasti maltillisempaa.

LNG:lle ei ole tällä hetkellä kiinteää jakeluverkostoa Suomessa, vaikkakin pienempien alusten ”bunkraus” voidaan tehdä tankkiautolla. (Gasum 2014)

## 5 Kestävän kehityksen näkökulma

Kestävä kehitys on hyvin laaja käsite, ja se voidaan määritellä monin eri tavoin. Yhtä oikeaa määritelmää käsitteelle tuskin voitaneen antaa. Kestävän kehityksen käsite pitää sisällään ihmisen, yhteiskunnan ja luonnon toiminnan yhteyden. Hyvinvointi, kilpailukyky sekä ympäristövastuullisuus ja luonnon kantokyky otetaan huomioon. Tavoitteena on löytää kompromissi eri tekijöiden kesken. Kestävä kehitys tulee nähdä jatkuvana prosessina, muutoksena kohti ympäristön hallintaa sekä talouden ja yhteisöjen hyvinvointia. Kestävää kehitystä voidaan edistää koulutuksen ja arkipäivän valintojen avulla, mutta ennen kaikkea kyse on arvovalinnoista ja asioiden tärkeysjärjestykseen laittamisesta. (Virtanen 2006)

Suomen kestävän kehityksen toimikunnan määritelmä vuodelta 1994: ”Kestävä kehitys on maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvaa jatkuvaa ja ohjattua yhteiskunnallista muutosta, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Laajasti määriteltynä kestävä kehitys sisältää kolme toiminnallista ulottuvuutta: ympäristötaloudellisen eli ekologisen, yhteiskunnallisen ja kulttuurisen ulottuvuuden.” (Malaska, P. 1994)

Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä (pois lukien maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous) noin 20 % tulee kotimaan liikenteestä. Liikenteen hiilidioksidipäästöistä noin 18 % aiheutuu vesiliikenteestä. (Liikennevirasto 2013)

Merenkulun osuus CO<sub>2</sub>-päästöistä oli vuonna 2009 alle 3 %, mutta merenkulun arvioidun pitkän aikavälin voimakkaan kasvun vuoksi sen osuus nousee lähes 17 %:iin vuoteen 2050 mennessä. (Valtioneuvoston kanslia 2009)

Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että polttoaineen kulutusta vähentämällä saavutetaan hyötyjä ympäristölle sekä pienempänä uusiutumattomien luonnonvarojen käyttönä että vähemmillä päästöillä.

## 5.1 Lainsäädännön asettamat vaatimukset

Euroopan parlamentti hyväksyi vuonna 2012 rikkidirektiivin. Vuonna 2015 voimaan tuleva rikkidirektiivi määrää laskemaan laivojen polttoaineiden rikkipitoisuuden 0,1 %:iin nykyisestä yhdestä %:sta SECA-alueella (Itämerellä, Pohjanmerellä ja Englannin kanaalissa). (2012/33/EU)

## 5.2 Ympäristökuormitus

Ympäristökuormitus on suhteessa kulutetun polttoaineen määrään. Vähentämällä kulutetun polttoaineen määrää on mahdollista pienentää merikuljetuksista aiheutuvaa ympäristökuormitusta huomattavissakin määrin. Nopeuden vaikutus on suuri laskettaessa ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta, koska lujaa ajavat alukset kuluttavat ja aiheuttavat päästöjä selvästi hitaammin ajavia enemmän.

## 5.3 Ekologinen- ja hiilijalanjälki

Yritys, joka suunnittelee ja aktiivisesti hoitaa ja kartoittaa ekologisia riskejään, saattaa saavuttaa huomattavaa etua kilpailijoihinsa nähden.

Ekologista jalanjälkeä käytetään kuvaamaan sitä, kuinka suuri maa- ja vesialue tarvitaan yksittäisten henkilöiden, hyödykkeiden, palvelujen, yritysten, teollisuudenalojen, alueiden ja kansojen kuluttaman ravinnon, materiaalien ja energian tuottamiseen sekä syntyneiden jätteiden käsittelyyn. (WWF 2012)

Hiilijalanjälki kertoo, kuinka paljon hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja ihmisen tai yhteisön/yrityksen toimista syntyy. Hiilijalanjälki jaetaan kahteen ryhmään: suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Hiilijalanjälki mitataan massana (tonneina, kilogrammoina, grammoina). Mm. lentojen päästöt ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenteina: luvussa on hiilidioksidin lisäksi myös muut päästövaikutukset hiilidioksidiksi muunnettuna. (Global Footprint Network 2012)

## 6 Operationaaliset menetelmät

Aluksen polttoainetalouteen vaikuttavat useat tekijät sekä yksittäin että niiden yhdistelminä. Olen työssäni keskittynyt menetelmiin, joiden voidaan katsoa olevan käyttö- ja toteuttamiskelpoisia kyseessä olevalla aluksella ja aluksen liikennealueella. Kappaleessa 7 olen listannut menetelmiä, jotka eivät sovellu käytettäväksi liikennöitävän merialueen koon eivätkä saaristoisten reittiosuuksien vuoksi. Jotkin käsittelemäni menetelmät ovat osittain päällekkäisiä, vaikka eivät olekaan samoja.

Se, onko alus täydessä lastissa tai mahdollisesti painolastissa, vaikuttaa käytettävän/käytettävien menetelmän/menetelmien valintaan. Aluksen syväyksen muutoksen olen ottanut huomioon kohdassa 6.2.3.

Koska polttoaine on yleisesti ottaen merikuljetusten suurin kustannustekijä, on syytä huomioida kaikki mahdollisuudet tämän kuluerän pienentämiseksi.

### 6.1 Ecodriving

Termillä ”Ecodriving” voidaan tarkoittaa monia asioita. Merenkulussa sillä viitataan pääpropulsion käyttöön merimatkojen aikana. Jokainen alus on yksilö mm. rungon

muodon, peräsinratkaisujen sekä pää- ja apukoneiden ominaisuuksien takia. (Slotte 2012)

Keskityn tässä oman oppilaitokseni järjestämän Ecotrain-koulutuksen tuottamien tulosten esittelyyn esimerkkinä Ecodriving-menetelmästä, koska alukset todellakin ovat yksilöitä, mutta jokseenkin kaikkiin voidaan soveltaa ko. kurssin menetelmiä.

Aboa Mare järjestää Ecotrain-nimistä kurssia, joka tähtää alusten päällystön (sekä kansi-että konepäällystön) ja maahenkilöstön tietoisuuden lisäämiseen sekä asenteiden ja kiinnostuksen herättämiseen ekologisempaa ja samalla taloudellisempaa aluksen käyttötapaa kohtaan. Kurssia ovat olleet kehittämässä yhteistyössä Aboa Maren kanssa ABB, Deltamarin, Eniram, Germanischer Lloyd, NAPA, VTT ja Wärtsilä. (Winberg 2013)

### **6.1.1 Odotetut hyödyt**

Aboa Maren Ecotrain-pilottikurssilla simulaattoriolosuhteissa havaittiin, että ennen kurssia ja kurssin jälkeen ajettuja simulaattoriharjoituksia vertailtaessa polttoaineen kulutuksen säästö oli lähes 12 % matkaan käytetyn ajan lisääntyessä vain n. 3 %. (Winberg 2013)

Näin ollen voidaan katsoa, että huomattavaa säästöä on saavutettavissa ilman suurta ajanhukkaa käyttämällä esim. sopivia ruorikulmia ja oikeaa nopeutta liikennöitävän väylän/merialueen syvyyteen nähden.

## 6.2 Slow steaming

Slow steaming tarkoittaa aluksen nopeuden vähentämistä polttoaineen kulutuksen vähentämiseksi. Tämän menetelmän kehityksen aloitti Maersk Line vuonna 2007.

(Jorgensen 2012)

Alusten konepäällystö usein, jos ei suorastaan vastusta, jarruttaa menetelmän käyttöä.

Tämä johtuu monista eri seikoista, mutta pääsyyinä on se, että koneiden valmistajat ovat ohjeistaneet välttämään koneiden käyttöä pienillä kuormilla. Osasyynä voitaneen pitää myös menetelmästä aiheutuvista lisätarkastuksista johtuvaa jossakin määrin lisääntyvää työtaakkaa. Konepäällystön asenteisiin pitäisi saada muutos ja heidät tulisi jatkokouluttaa ja ohjeistaa. Lähestulkoon kaikkia perinteisiä koneita voidaan ajaa kolmella eri slow steaming -moodilla. (Sanguri 2012)

### 6.2.1 Odotetut hyödyt

Slow steaming on vähiten aikaa ja rahaa kuluttava tapa vähentää polttoaineen kulutusta ja haitallisia päästöjä ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ). Sillä saavutettavia muita hyötyjä ovat koneiden suurempi luotettavuus ja tehokkuus. Vuodesta 2007 vuoteen 2010 Maersk Line saavutti 22 % säästöt polttoaineenkulutuksessa  $\text{CO}_2$ -päästöjen vähentyessä jopa kaksi miljoonaa tonnia. (Jorgensen 2012)

Laskennallisesti slow steamingilla voidaan saavuttaa todella suuria säästöjä. Esimerkiksi tiputtamalla aluksen nopeus 27 solmista 19 %:lla 22 solmuun voidaan laskennallisesti saavuttaa 58 %:n säästö pääkoneen tunnissa kuluttamaan polttoainemäärään. (Wiesman 2010)



### 6.2.2 Laskennallinen malli

Nopeuden merkitys on vesiliikenteessä hyvin suuri. Alla oleva, yleisesti tunnettu amiraliteettikaava osoittaa, että aluksen polttoaineenkulutus muuttuu nopeuden muutokseen nähden kolmanteen potenssiin käytettäessä nopeutta, joka on lähellä aluksen suunnittelunopeutta (design speed).

$$F = F^* \times \left( \frac{S}{S^*} \right)^a$$

$F$  = polttoaineen kulutus (t/vrk)

$F^*$  = polttoaineen kulutus suunnittelunopeudella

$S$  = todellinen nopeus

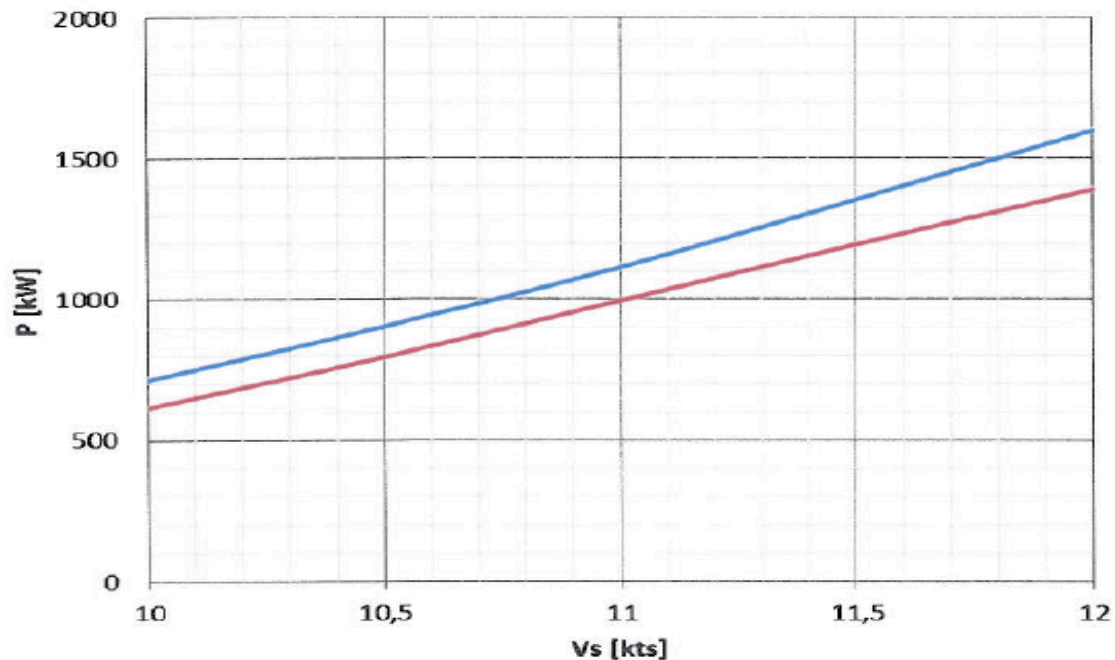
$S^*$  = suunnittelunopeus

$a$  = vakio, jonka arvo on n. 3

Kaavasta voidaan laskea, että nostettaessa nopeutta 10 % (esim. 10 -> 11 solmua) kulutuksen lisäys on 33 %. Vastaavasti nopeuden alentaminen laskee huomattavasti kulutusta. (VTT 2009)

### 6.2.3 Aluksen polttoaineenkulutus lastattuna vs. Painolastissa

Aluksen syväys vaikuttaa veden runkoon aiheuttamaan kitkaan ja täten tarvittavaan tehoon.



Kuva 4. Ennustettu tehontarve ja nopeus lastattuna ja painolastissa. (Baltrader 2013)

Kuvassa 4 on teho-nopeuskäyrä sinisellä kuvattuna suunnittelunopeutta (design speed) käyttäen ja punaisella sama kuvattuna painolastitilassa. Ajettaessa täydessä lastissa nopeudella 12 solmua on odotettu polttoaineenkulutus 7,6 t/vrk ja nopeudella 11 solmua 5,8 t/vrk. Ajettaessa nopeudella 10 solmua odotettu polttoaineenkulutus on 4,2 t/vrk.

Aluksen ollessa painolastitilassa polttoaineenkulutuksen pudotus ei ole aivan yhtä suuri, mutta edelleen dramaattinen, kuten kuva 4 osoittaa.

	Cylinder	6
<b>Performance data</b>		
Maximum continous rating acc. ISO 3046/1	kW	3000
Speed	1/min	600
Minimum speed	1/min	360
Brake mean effective pressure	bar	25.9
Charge air pressure	bar	3.8
Firing pressure	bar	200
Combustion air demand (ta = 20 °C)	m <sup>3</sup> /h	17500
Specific fuel oil consumption		
n = const <sup>1)</sup> 100 %	g/kWh	179
85 %	g/kWh	178
75 %	g/kWh	182
50 %	g/kWh	190
Lubricating oil consumption <sup>2)</sup>	g/kWh	0.6
NO <sub>x</sub> emission <sup>3)</sup>	g/kWh	10.1
Turbocharger type		ABB A145

Kuva 5. MaK 6M32 laivakoneen teknisiä tietoja (Caterpillar Marine Power Systems 2009)

Luvut on saatu Baltrade Schiffart Hamburgin tilaajalle toimittamista dokumenteista sekä laskemalla käyttäen alukseen suunnitellun pääkoneen valmistajan, Caterpillar Marine Power Systemsin (kuva 5 yllä), tietoja alla olevalla kaavalla ottamalla huomioon seuraavat muuttujat:

- sfcme = pääkoneen ominaiskulutus (g/kWh)
- MEload = pääkoneiden keskimääräinen kuorma merellä asennetuista pääkokonaistehoista merellä (%)
- Pme = asennettu kokonaisteho, pääkoneet
- hs = tunnit merellä per tarkasteltu ajanjakso

Polttoaineenkulutus =  $hs \cdot Pme \cdot MEload \cdot sfcme$  (Kalli, 2010)

Laskelmat on suoritettu seuraavilla olettamuksilla;

- tuuli max. Beaufort 2 (<3,3 m/s)
- aallokko max. Douglas Sea State 2 (<0,5m)
- tasaköli

- puhdas pohja
- ei virtauksia
- ei jäitä

#### 6.2.4 Ajallinen muutos tilaajan käyttämällä pääreiteillä

Reitillä Parainen–Oulu kuljettava matka on noin 410 merimailia, ja reitillä Parainen–Pietarsaari matka noin 295 merimailia.

Käytettäessä eri nopeuksia teoreettiset matka-ajat ovat:

*Taulukko 6. Laskennalliset matka-ajat*

Reitti	Nopeus		
	10	11	12
<b>Parainen - Oulu (407NM )</b>	40,7h	37h	33,9h
<b>Parainen - Pietarsaari (295NM)</b>	29,5h	26,8h	24,6h

## 6.3 Viippaus (Trimmi)

Viippauksella tarkoitetaan aluksen syvyyksen eroa keula- ja peräperpendikkeliin kohdalla. Viippaus tunnetaan myös nimellä trimmi. Viippauksella voidaan vaikuttaa veden ja aluksen rungon väliseen kitkaan ja näin tarvittavaan konetehtoon. Optimaalinen viippaus on viippaus valitsevissa olosuhteissa (nopeus ja displasementti), jolloin vaadittu koneteho on pienempi kuin millään muulla viippauksella. (SSPA 2013)

Yleistä vastausta tai arvoa optimaaliselle viippaukselle on mahdotonta antaa, koska rungon muoto, syväys ja kuljettu nopeus vaikuttavat optimaaliseen viippaukseen. (Wärtsilä 2011)

### 6.3.1 Odotetut hyödyt

SSPA:n suorittamissa tutkimuksissa on todettu viippauksen optimoinnilla voitavan saavuttaa 1–6 % säästöt polttoaineen kulutuksessa. (SSPA 2013)

Suurilla aluksilla säästö voi painolastissa olla jopa 15 % ja täydessä lastissa 8 %. Pienemmillä aluksilla, jollainen tässä tapauksessa on kyseessä, säästön voidaan odottaa olevan keskimäärin 1,25 %. (Boytim 2009).

Alla oleva taulukko havainnollistaa viippauksen optimoinnilla saavutettavaa säästöä erityyppisillä aluksilla ja erikokoisissa laivastoissa. Taulukon alukset ovat isompia kuin tässä työssä käsitelty alus, mutta taulukko antaa konkreettisemmin tuntuman saavutettavien etujen suuruusluokasta.

Taulukko 7. Arvioitu vuotuinen polttoainekulujen ja päästöjen vähennys 1,25 % tehon vähentämisellä polttoaine- ja päästömäärissä viippausoptimoituilla aluksilla. (hinnat toukokuu 2009).

Alustyyppi	Laivaston koko			Vähennys
	1 alus	5 alusta	10 alusta	
VLCC	\$138 000	\$688 000	\$1 377 000	Rahallinen
	400 t	2 000 t	4 000 t	Polttoaine
	1 270 t	6 300 t	12 700 t	CO <sub>2</sub> päästöt
Tankkialus Aframax	\$71 000	\$353 000	\$706 000	Rahallinen
	200 t	1 000 t	2 000 t	Polttoaine
	650 t	3 200 t	6 500 t	CO <sub>2</sub> päästöt
Konttialus 6500 TEU	\$221 000	\$1 104 000	\$2 207 000	Rahallinen
	630 t	3 200 t	6 300 t	Polttoaine
	2 000 t	10 100 t	20 300 t	CO <sub>2</sub> päästöt
PCTC 6700 autolle	\$71 000	\$355 000	\$710 000	Rahallinen
	200 t	1 000 t	2 000 t	Polttoaine
	650 t	3 300 t	6 500 t	CO <sub>2</sub> päästöt
Ro-Ro (46000m <sup>2</sup> )	\$100 000	\$500 000	\$999 000	Rahallinen
	290 t	1 400 t	2 900 t	Polttoaine
	920 t	4 600 t	9 200 t	CO <sub>2</sub> päästöt

(Boytim 2009)

Kulutuksen ero epäoptimaalisimman ja optimaalisen viippauksen välillä saattaa olla jopa 20 %. (Wärtsilä 2011)

## 6.4 Maasähkö

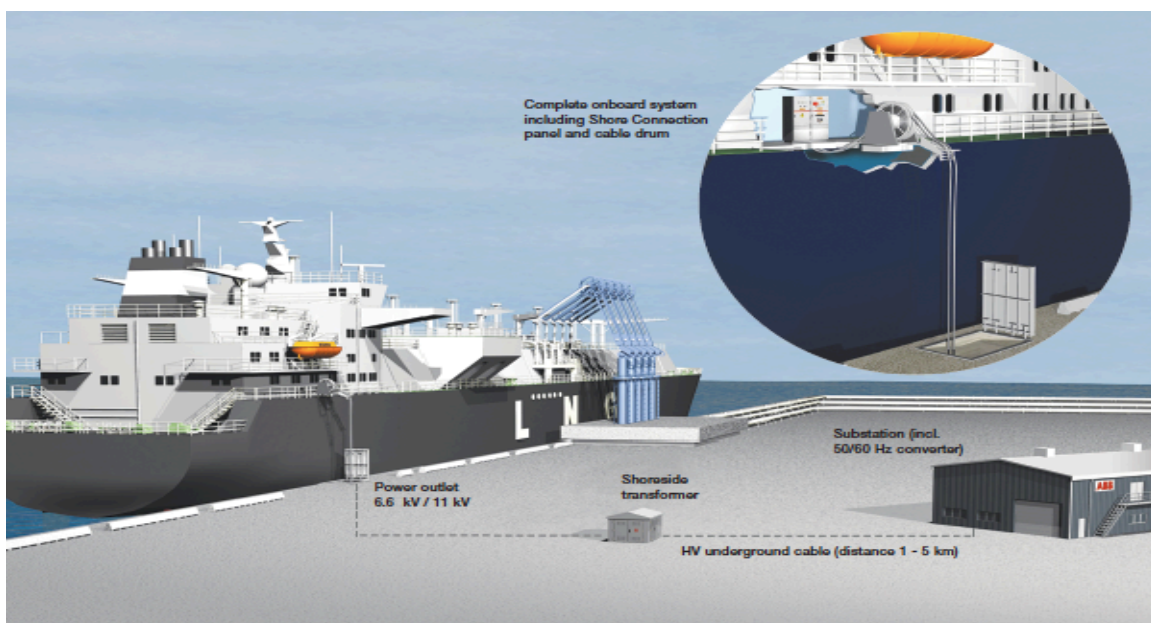
Aluksen ollessa satamassa lastaamassa tai purkamassa tarvitaan huomattava määrä sähköä aluksen lastinkäsittelylaitteiston käyttämiseen. Tällä hetkellä tarvittava sähköenergia tuotetaan aluksen omilla apukoneilla. Polttoaineen kulutusta satamaoperaatioiden aikana voitaisiin vähentää käyttämällä maasähköä eli ottamalla aluksella tarvittava sähköenergia maissa olevasta kiinteästä sähköverkosta.

### 6.4.1 Odotetut hyödyt

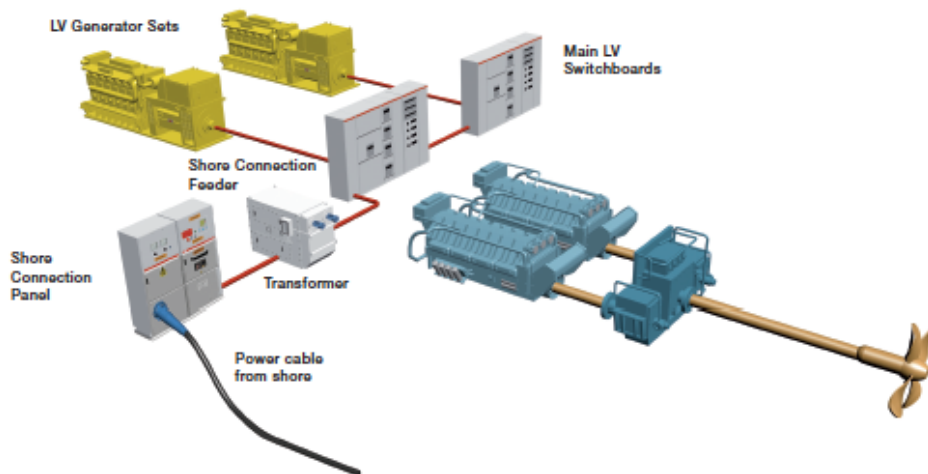
Apukoneiden polttoaineen kulutus olisi satamissa lähestulkoon nolla maasähköä käytettäessä. Meluhaitan poistuminen parantaisi miehistön työoloja. Päästöjen määrä apukoneista satamatoimintojen aikana nollautuisi. Saavutettavat ympäristöhyödyt ovat maasähkön käytössä pienet otettaessa huomioon maasähkön ekologinen jalanjälki, mutta kuitenkin joka tapauksessa olemassa. Paikallisesti ympäristöhyödyt ovat huomattavat.

### 6.4.2 Tekniset vaatimukset aluksella ja maissa

Suurin osa vanhojen laivojen sähköjärjestelmistä toimii 60 Hz:n taajuudella ja kiinteä sähköverkko maissa on 50 Hz. Tämän vuoksi tarvitaan taajuusmuuttaja joko satamaan tai alukselle. Järjestelmän vaatimat laitteistot on kuvattu alla olevissa kuvissa. Kuvien oikeellisuuden ja selvyuden vuoksi on kuviin upotetut tekstit jätetty englanninkielisiksi.



Kuva 6. Maasähköjärjestelmän osat satamassa (ABB 2014)



*Kuva 7. Maasähkijärjestelmän osat aluksella (ABB 2014)*

Tarvittavia komponentteja ovat mm. taajuusmuuttaja, muuntaja, kaapelointi, voiman ulosotto, maakytkentäpaneeli/-kaappi. Yksiselitteistä yleistä vastausta satamassa tai aluksella tarvittavista komponenteista on mahdotonta antaa. Tarve määräytyy sen mukaan, mitä mihinkin halutaan tai on mahdollista asentaa. Aluksella tarvittavien komponenttien määrä ei välttämättä siis ole järin suuri. Ongelmia saattaa vanhassa aluksessa kuitenkin tuottaa sopivien tilojen puuttuminen.

### 6.4.3 Taloudelliset panostukset

Elektrowatt-Ekonon Helsingin satamalle vuonna 2005 tekemän selvityksen mukaan maasähkön käyttö ei taloudellisesti olisi ollut kannattavaa silloisilla polttoaineiden ja maasähkön hinnoilla. Jos tislepolttoaineiden ennustettu hinnannousu toteutuu, tilanne muuttuu päinvastaiseksi. Maasähkioon liittymisen suurimmat kustannukset muodostuvat seuraavista komponenteista:

- liityntämaksu
- muuntoasema
- kaapelin ja maasähköliittymän rakentaminen satama-alueilla



- telakointi ja siitä aiheutuvat menetykset
- aluksessa tapahtuvat investoinnit ja muutostyöt (Electrowatt-Ekono, 2005)

Saamieni tietojen mukaan aluksen rakentava telakka on valmis asentamaan alukseen maasähkön käytön mahdollistavan tekniikan, mutta tiedossani ei ole sen hintaa.

(henkilökohtainen keskustelu tilaajan edustajan (Teräväinen) kanssa 25.04.2014)

## 6.5 Pohjanpuhtaus ja tasaisuus

Aluksen pohjan puhtaudella ja sileydellä on suuri merkitys veden aiheuttamaan kitkaan.

Pohjan puhtauteen ja sileyteen voidaan vaikuttaa pääasiallisesti kahdella eri tavalla.

Ensimmäiseksi on huolehdittava, että aluksen pohjassa oleva ns. Anti-fouling maali on oikeanlaatuinen ja hyvässä kunnossa. Tähän seikkaan voidaan vaikuttaa vain aluksen ollessa telakoituna kuivatelakalla. Toiseksi on huolehdittava siitä, ettei aluksen pohjaan ole päässyt (eikä pääse) muodostumaan levä- tai muuta kasvustoa, joka tekee pinnasta epätasaisen. (Hochkirch, K. ja Bertram, V. 2010)

Aluksen seisoessa satamassa aluksen pohja voidaan puhdistaa. Puhdistamisen voivat tehdä esimerkiksi sukeltajat mekaanisesti harjaamalla.

### 6.5.1 Odotetut hyödyt

Peukalosääntönä voidaan pitää, että 25µm epätasaisuus pohjassa lisää konetehon tarvetta 0,7–1 %. (Hochkirch, K. ja Bertram, V. 2010) Jos aluksen pohja pidetään mahdollisimman tasaisena ja vapaana epäpuhtauksista, on mahdollista saavuttaa säästöä polttoaineenkulutuksessa.

## 7 Muita tapoja

Tässä on listattuna joitakin muita tapoja vähentää polttoaineen kulutusta ja samalla haitallisia päästöjä. Näitä menetelmiä ei tarkemmin tässä yhteydessä käsitellä, koska liikennöinti tapahtuu pääasiassa Saaristo- ja Selkämeren sekä Merenkurkun ja Perämeren alueilla tai menetelmät tai tekniikat eivät sovellu jo olemassa olevan aluksen yhteydessä käytettäväksi. Tavallisimmilla reiteillä (Parainen – Oulu ja Parainen – Pietarsaari) jopa kolmannes reitistä seuraa kapeita saaristoväyliä.

- Skysail
- Flettner-roottori
- sääreititys
- reittisuunnittelu
- aurinkovoima
- hukkalämmön talteenotto
- laivasuunnittelussa huomioon otettavat muut seikat
- mahdollisten lisäkkeiden aiheuttama vastus
- ilmanvastus
- ilmavaippa aluksen rungon ympärillä

## 8 Johtopäätökset

Koska polttoaine on suurin kustannuserä merikuljetuksissa, on tärkeää panostaa sen kulutuksen vähentämiseen kaikin mahdollisin tavoin. Polttoaineen kulutuksen väheneminen tarkoittaa myös ympäristöhaittojen vähenemistä. Jo nyt ja oletettavasti tulevaisuudessa asiakkaat kiinnittävät yhä enenevässä määrin huomiota myös ekologiseen jalanjälkeen, joka tuotteen tai palvelun tuottamisesta syntyy.

Vain polttoaineen ostohintaa tutkailtaessa LNG vaikuttaisi olevan edullisin vaihtoehto. Jos taas otetaan huomioon muutostyöstä aiheutuvat kustannukset, tilanne muuttuu lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna. Pitkällä aikavälillä LNG vaikuttaisi olevan vaihtoehto, jota kannattaa vakavasti harkita sen vaatimien muutostöiden aiheuttamasta taloudellisesta panostuksesta huolimatta. Myös LNG:n aiheuttama ekologinen jalanjälki vaikuttaisi olevan huomattavasti pienempi kuin muilla fossiilisilla polttoaineilla pois lukien etaani. Etaanin hinta on tällä hetkellä huomattavasti alhaisempi kuin LNG:n, mutta sen saatavuus ei Suomessa ole tällä hetkellä riittävä , jotta sitä voitaisiin käyttää alusten polttoaineena.

Suurta mielenkiintoa herättää kompaktin fuusioreaktorin käyttö aluksen voimanlähteenä. Jos Lockheed Martinin vastikään julkaisema tieto kompaktista fuusioreaktorista toteutuu saattaa se tulevaisuudessa olla kannattavin vaihtoehto myös olemassa olevalle aluskannalle. Koska reaktori on vasta kehittelyvaiheessa, on mahdotonta sanoa mitään varmaa aiheesta.

Polttoaineen kulutus on monien eri tekijöiden summa. Yksittäisillä menetelmillä voidaan saavuttaa jo huomattavia säästöjä, mutta yhdistämällä useita menetelmiä saavutettavat hyödyt voivat olla jo merkittäviä. Erilaisia operationaalisia ja teknisiä menetelmiä polttoaineen kulutuksen vähentämiseksi löytyy useita. Alla lista menetelmistä, jotka työtä tehdessäni löysin:

- Ecodriving
- Slow steaming
- Viippausoptimointi
- Maasähkö
- Pohjan puhtaus ja -tasaisuus
- Skysail
- Flettner-roottori
- sääreititys
- reittisuunnittelu
- aurinkovoima
- hukkalämmön talteenotto

- laivasuunnittelussa huomioon otettavat muut seikat
- mahdollisten lisäkkeiden aiheuttama vastus
- ilmanvastus
- ilmavaippa aluksen rungon ympärillä

Yhteenvedona löytämistäni ja käsittelemistäni vaihtoehtoista tilaajan käyttöön sopivimmilta tuntuvat yksittäiset menetelmät ovat:

- Ecodriving
- Slow steaming
- Viippausoptimointi
- Pohjan puhtaus ja -tasaisuus

Slow steaming (=nopeuden alentaminen) näyttäisi olevan nopein ja tehokkain keino kulutuksen ja päästöjen alentamiseen, ja siihen näyttäivät päätyneet jo monet varustamot, kuten Maersk. Kun slow steaming tilaajan liikennöimällä alueella yhdistetään Ecodrivingiin, laskennallisesti saavutettava hyöty on oletettavasti huomattava. Tämä yhdistelmä vaikuttaisi olevan nopein, edullisin ja sopivin Finnsementti Oy:n käyttöön. Tilaajan tulisi kiinnittää huomiota myös aluksen pohjan kunnosta huolehtimiseen muulloinkin kuin vain pakollisten telakointien yhteydessä, mutta varsinkin silloin. Viippausoptimoinnin tekeminen tilatulle alukselle jo rakennusvaiheessa on varteenotettava ajatus ja sen kustannukset voisivat olla minimoitavissa käyttämällä aluksen suunnitellutta yritystä optimoinnin tekemiseen. Maasähkön käyttöönoton kannattavuuteen en osaa puutteellisten hintatietojen vuoksi vastata.

Löytämäni operationaaliset menetelmät on mahdollista ja kannattavaa ottaa käyttöön jo nykyisellä sementin kuljettamiseen käytetyllä aluksella.

## 9 Kriittinen tarkastelu

Aloittaessani työn tarkoitukseni oli keskittyä uuden tilatun aluksen polttoainetalouden parantamismahdollisuuksiin. Työn edetessä kävi selväksi, että suurinta osaa löydöksistäni voi soveltaa käyttöön lähestulkoon kaikilla aluksilla. Työ on opettanut tekijälleen huomattavasti eri polttoaineiden ominaisuuksista. Työn edetessä kävi myös selväksi, että ajotavat vaikuttavat polttoainetalouteen huomattavasti.

Työn tavoitteena oli löytää vastauksia kysymyksiin:

- Mitkä ovat käytettävissä olevat polttoainevaihtoehdot?
- Mitä eri menetelmiä on polttoaineen kulutuksen ja samalla polttoaineen palamisesta syntyvien päästöjen vähentämiseksi?
- Mitkä löydetyistä vaihtoehdoista sopivat tilaajan tarpeisiin?

Katson, että vastaus ensimmäiseen kysymykseen löytyi pois lukien mahdollisesti kehitteillä olevat vielä toistaiseksi julkaisemattomat polttoaineet.

Menetelmiä polttoaineen kulutuksen ja polttoaineen palamisesta syntyvien päästöjen vähentämiseksi löytyi useita ja monet niistä ovat suhteellisen helposti otettavissa käyttöön. Siinä vastaus toiseen kysymykseen.

Tämä työ antaa vastaukseksi kolmanteen kysymykseen kuvan erilaisista polttoaineista ja operationaalisista menetelmistä, joita tilaaja voi käyttää parantaakseen aluksen energiatehokkuutta ja vähentääkseen aluksen tuottamia päästöjä. Toisin sanoen siis pienentääkseen polttoainekuluja sekä aluksen ekologista jalanjälkeä.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista nähdä tulokset polttoaineen kulutuksen eroista ennen ja tässä työssä löydettyjen menetelmien mahdollisen käyttöönoton jälkeen. Viippausoptimoinnin tekeminen alukselle on myös mielenkiintoa herättävä ajatus.

## 10 Lähdeluettelo

ABB. (2014). *Shore-to-ship power An effective solution for port emissions reduction*.

Zürich: ABB

Alakangas, E. (2000). *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. VTT

Tiedotteita. Espoo. (Luettu 22.4.2014.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>)

Badiali, Matt. (2012). *A Big Trend Change Is Coming in This Beaten Down Commodity*.

Baltimore: Stansberry & Associates Investment Research (Luettu 10.09.2014

<http://www.growthstockwire.com/3255/A-Big-Trend-Change-Is-Coming-in-This-Beaten-Down-Commodity>)

Baltrader. (2013). *Annex no. 1. TC Description mv Cembothnia with single MGO engine*.

Hamburg: Baltrader Schifffahrt

Bazari, Z. & Longva, T. (2011). *Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping*, London: IMO

Blikom, L. (2013). *Forecast marine fuel prices*. Oslo: DNV GL (Luettu 15.7.2014

<http://blogs.dnvgl.com/lng/2013/03/forecast-marine-fuel-prices>)

Boytim, M. (2009). Trim Optimisation – Sustainable Savings. *SSPA Highlights 29/2009*, s.

2.

BP. (2014). *Historical data workbook.xlsx*. London: BP (Luettu 10.09.2014

<http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2014/BP-Statistical-Review-of-world-energy-2014-workbook.xlsx>)

Caterpillar Marine Power Systems. (2009). *M 32 C Low Emission Engine*. Hamburg:

Caterpillar Marine Power Systems (luettu 07.08.2014

<https://marine.cat.com/cda/files/953489/7/Brochure-MaK-M32-C-Low-Emission-Engine.pdf>)

Electrowatt-Ekono. (2005). *Selvitys Eteläsataman ja Katajanokan matkustaja-*

*alusten liittämistä maasähköön*. Helsinki: Electrowatt-Ekono

Eur-Lex. (Luettu 15.7.2014 <http://eur-lex.europa.eu>)

Finnsementti. (2014). (Luettu 15.07.2014 <http://www.finnsementti.fi>)

Gasum. (2014). *Puhdas polttoaine - puhdas meri*. Espoo: Gasum (Luettu 15.7.2014 <http://www.gasum.fi>)

Global Footprint Network. (2012). *Carbon Footprint*. (Luettu 26.7.2014 [http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon_footprint/))

Gust, S. (1994). *Flash Pyrolysis fuel oil*, Alakangas, E. (toim.) Jyväskylä: VTT

Hochkirch, K. ja Bertram, V., (2010), *Options for Fuel Saving for Ships*. Houston: Maritime Transportation of Energy. (Luettu 23.4.2014. [http://old.mareforum.com/ENERGY\\_TRANSPORTATION\\_USA\\_2010\\_PAPERS/HOCHKIRCH\\_paper.pdf](http://old.mareforum.com/ENERGY_TRANSPORTATION_USA_2010_PAPERS/HOCHKIRCH_paper.pdf))

Huhtinen, M. (2006). *Raskaan Polttoöljyn Käyttöopas*. Espoo: Neste Oil Oyj

Jorgensen, R.(2012). *Slow Steaming – the full story*. Kööpenhamina: Maersk (Luettu 23.4.2014. <http://www.maersk.com/Innovation/WorkingWithInnovation/Documents/Slow%20Steaming%20-%20the%20full%20story.pdf>)

Kalli, J. (2010). *Meriliikenteen kasvihuonepäästöjen taloudellisten ohjauskeinojen aiheuttamat lisäkustannukset suomalaiselle elinkeinolle*. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto

Liikennevirasto. (2013). *Ilmastonmuutos*. (Luettu 26.7.2014 [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/ymparisto\\_turvallisuus/vaylanpito\\_ymparisto/ilmastonmuutos-.U9TJTlaQUds](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/ymparisto_turvallisuus/vaylanpito_ymparisto/ilmastonmuutos-.U9TJTlaQUds))

Lloyd's Register. (2010). *4th Revision of the International Marine Fuel Standard ISO 8217:2010 Frequently Asked Questions*. (Luettu 15.7.2014

[http://www.lr.org/Images/FAQ\\_8217\\_2010\\_V\\_2\\_tcm155-199991.pdf](http://www.lr.org/Images/FAQ_8217_2010_V_2_tcm155-199991.pdf))

Lloyd's Register. (2014). *Why ethane and VLECs could be a perfect fit*. (Luettu 25.8.2014 <http://www.lr.org/en/news/articles/Why-ethane-and-VLECs.aspx>)

Lockheed Martin, (2014). Compact fusion. (Luettu 16.10.2014 <http://www.lockheedmartin.com/us/products/compact-fusion.html>)

Malaska, P. (1994). *KESTÄVÄ KEHITYS Raportti määritelmää pohtineen työryhmän Keskusteluista 18. huhtikuuta 1994* Helsinki: Suomen kestävän kehityksen toimikunta. (Luettu 26.7.2014 <http://www.ym.fi/download/noname/%7B04066640-003A-4921-967A-873E1A6DFEE0%7D/27476>)

National Center for Biotechnology Information. (2009). *PubChem Compound Ethane*. Bethesda: National Center for Biotechnology Information (Luettu 10.09.2014 <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/rest/chemical/ethane-x351>)

Neste Oil. (2014). *Tuotetiedote Marine Gas Oil*. Espoo: Neste Oil (Luettu 10.09.2014 [http://www.neste.fi/doc/160364\\_fi.pdf](http://www.neste.fi/doc/160364_fi.pdf))

Norris, Guy, (2014). *Skunk Works Reveals Compact Fusion Reactor Details*. Washington: Aviation Week. (Luettu 16.10.2014 <http://aviationweek.com/technology/skunk-works-reveals-compact-fusion-reactor-details>)

Oasmaa, A & Chernik, S. (1999). *Fuel oil quality of biomass pyrolysis oils. State of the Art for the End Users*. Washington: American Chemical Society

Rikkidirektiivi 22.11.2012/33. [www.eur-lex.eu](http://www.eur-lex.eu) (Luettu 15.7.2014)

Sanguri, M. (2012). *The Guide to Slow Steaming on Ships*. Mumbai: Marine Insight. (Luettu



23.4.2014. <http://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2013/01/The-guide-to-slow-steaming-on-ships.pdf>)

Slotte, A. (2012). *Potential Fuel Savings from Operational Measures in Sea Transport*. Turku. Lärdomsprov för sjökaptensexamen.. Aboa Mare, Sjöfart. (Luettu 23.4.2014. <https://www.theseus.fi/handle/10024/47266>)

SSPA. (2013). *Sustainable savings with trim optimization*. Göteborg: SSPA (Luettu 26.7.2014 <http://www.sspa.se/environment-and-energy-efficiency/sustainable-savings-trim-optimisation>)

Suomisanakirja. (2013). (Luettu 14.7.2014. <http://www.suomisanakirja.fi/>)

Tilastokeskus. (2014). *Polttoaineluokitus 2014 Polttoaineidenimikkeiden ja muiden energialähteiden määritelmät 2014*. Helsinki: Tilastokeskus

Tilastokeskus. (2014). *Polttoaineluokitus 2014*. Helsinki: Tilastokeskus

Vakkilainen, E. (2009). *Poltto- ja kattilatekniikan perusteet*. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. (Luettu 14.7.2014 [https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bh50a0500/luennot/bh50a0500\\_poltto\\_ja\\_kattilatekniikka\\_01\\_palaminen.pdf](https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bh50a0500/luennot/bh50a0500_poltto_ja_kattilatekniikka_01_palaminen.pdf))

Valtioneuvoston kanslia. (2009) *Itämeren haasteet ja Itämeri-politiikka. Valtioneuvoston selonteko*. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia

Virtanen, A. (2006). *Kestävän kehityksen käsite*. Hyvinkää: Laurea Ammattikorkeakoulu. (Luettu 26.7.2014 <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030907/1144400396537/1144401190343/1144404370420/1144404442819.html>)

VTT. (2009). *Laivaliikenteen yksikköpäästöjen määrittämisperusteet*. (Luettu 04.08.2014. [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/maaritysperusteet\\_tavara\\_vesi.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/maaritysperusteet_tavara_vesi.htm))

Wiesman, A. (2010). Slow steaming – a viable long-term option? *Wärtsilä technical journal 02.2010* (Luettu 25.8.2014

<http://www.wartsila.com/file/Wartsila/1278511884362a1267106724867-Wartsila-SP-A-Id-slow-steaming.pdf>)

Winberg, M. (2013). *ECOTRAIN- developing cost efficient and environmentally sustainable ship operation*. Turku: Aboa Mare (Luettu 23.4.2014. <http://www.aboamare.fi/wp-content/uploads/sites/2/2013/09/ECOTRAIN-Aboa-Mare-bicentennial-presentation-final.pdf>)

Wärtsilä, 2011. *Energy Efficiency Catalogue*. Helsinki: Wärtsilä

WWF, (2012). *Living Planet Report 2012 Biodiversity, biocapacity and better choices* (Luettu 26.7.2014

[http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/1\\_lpr\\_2012\\_online\\_full\\_size\\_single\\_pages\\_final\\_120516.pdf](http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/1_lpr_2012_online_full_size_single_pages_final_120516.pdf))