

Janne Heikkilä

Vitali Toiviainen

KATTILALAITOKSEN POLTTOAINEEN VAIHDOS  
RASKASÖLJYSTÄ KEVYTÖLJYYN

Merenkulun koulutusohjelma

Insinööri

2013

# KATTILAITOKSEN POLTTOAINEEN VAIHDOS RASKASÖLJYSTÄ KEVYTÖLJYYN

Heikkilä, Janne  
Toiviainen, Vitali  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Merenkulun koulutusohjelma  
Helmikuu 2013  
Ohjaaja: DI, lehtori Pauli Rantala  
Sivumäärä:56  
Liitteitä:2

Asiasanat: kattilalaitos, päästöt, polttoaineet, kustannukset.

---

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää polttoaineen vaihdoksen vaikutukset kattilalaitoksen päästömääriin sekä polttoaine-, ja huoltokustannuksiin. Polttoaineen vaihdos johtuu satamissa käytettävien polttoaineiden rikki- ja raskasmetallipitoisuutta säätelevästä EU-direktiivistä, joka astui voimaan 1.1.2010. Säädos koskee Euroopan Yhteisön satamia. Direktiivi myös vahvistaa kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n määräykset polttoaineiden rikki- ja raskasmetallipitoisuuksista erityisillä kontrollialueilla (SECA).

Työn perustana on käytetty ahvenanmaalaisen varustamon Birka Cargon omistaman M/S Birka Trader aluksen laitteistoja ja tietoja. Alus liikennöi säännöllisesti Euroopan Yhteisön alueella.

Työssä selvitetään päästömäärien muutosten ohella kalliimman kevytöljyn aiheuttamat muutokset polttoainekustannuksiin sekä polttoaineen vaihdoksen vaikutukset kattilalaitoksen huolto-ohjelman mukaisiin huoltotöihin. Apuna on käytetty laskelmia, hintatietoja, huoltohistoriaa sekä tekijöiden omakohtaista työkokemusta alukselta.

# BOILER PLANT FUEL SWITCHOVER FROM HEAVY FUEL OIL TO LIGHT FUEL OIL

Heikkilä, Janne

Toiviainen, Vitali

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Engineering

February 2013

Supervisor: MSc Rantala, Pauli

Number of pages:56

Appendices:2

Keywords: boiler plant, emissions, fuel oils, costs

---

The purpose of this thesis was to study the impact of fuel switchover on the boiler plants emissions, as well as on fuel and service costs. The reason for fuel switchover lies in the EU-directive that entered into force 1.1.2010, regulating sulfur contents of fuels used during port calls. The act concerns the ports of the European Community. The directive also confirms the International Maritime Organisation's (IMO) regulations for sulphur content of fuel oils inside specific control areas (SECA).

This thesis is based on the equipment and collected data onboard M/S Birka Trader, owned by the Åland shipping company Birka Cargo. The vessel is operating regularly to ports in the European Community.

Besides the changes in emission amounts, this study also focuses on the changes in fuel costs caused by the more expensive light oil, and the impact of fuel switchover on maintenance work specified in the boiler plant service program. Calculations, price data, service history and the work experience of both writers, were used to help create this thesis.

## Sisällys

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Yleistä .....	6
1.2	Työn tarkoitus .....	6
1.3	Tutkimusmenetelmä.....	6
2	LAINSÄÄDÄNTÖ.....	7
2.1	Muutokset lainsäädäntöön.....	7
2.1.1	Vanha lainsäädäntö.....	7
2.1.2	Nykyinen lainsäädäntö.....	8
2.2	Tulevat uudistukset.....	8
3	M/S BIRKA TRADER .....	9
3.1	Tekniset tiedot .....	9
3.2	Liikennöintialue.....	10
4	KATTILALAITOS.....	11
4.1	Öljykattila UNEX BH-3000.....	11
4.2	Pakokaasukattila UNEX BH-229.....	13
5	ÖLJYPOLTIN OILON RP-201.....	14
5.1	Yleistä polttimesta .....	14
5.1.1	Rakenne .....	14
5.1.2	Polttoaineet .....	14
5.1.3	Tehonsäätö .....	15
5.1.4	Öljyn esilämmitin .....	15
5.1.5	Öljyputkisto .....	16
5.1.6	Liekinvalvonta .....	16
5.1.7	Ohjauslaitteet .....	16
6	POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ.....	17
6.1	Polttoaineen täyttö .....	17
6.2	Varastointi ja siirto laivassa.....	19
6.3	Polttoaineen separointi ja separaattorin toimintaperiaate .....	20
7	PALAMINEN .....	22
7.1	Palamisen perusteet .....	22
7.2	Päästöt.....	23
8	POLTTOAINEEN VAIHDON VAIKUTUKSET .....	23
8.1	Päivittäinen käyttö .....	23
8.1.1	Kulutuksen seuranta .....	24
8.2	Huoltotoimenpiteet .....	24
8.2.1	Kattilan varoventtiilien avauspaineen tarkistus, 7,5 bar. ....	25

8.2.2 Polttimeen filttreiden puhdistus .....	25
8.2.3 Kriittiset hälytykset .....	27
8.2.4 Polttimeen polttoainepumpun akselitiivisteiden tarkastus.....	28
8.2.5 Kattilan manuaalinen nuohous. ....	29
8.2.6 Kattilan vuosittainen tarkastus.....	35
8.3 Kustannusvaikutukset .....	35
8.3.1 Polttoainekustannukset .....	35
8.3.2 Huoltokustannukset .....	36
8.4 Ympäristövaikutukset .....	37
8.4.1 Päästömäärien vertailua .....	37
8.5 Laskelmat .....	39
8.5.1 Päästölasku LSFO (Raskasöljy) .....	40
8.5.2 Päästölasku MDO.....	43
8.5.3 Yhteenveto laskelmista .....	47
9 UUDET INNOVAATIOT.....	48
9.1 Aalborg Industries .....	48
9.2 Oilon International Oy .....	49
10 YHTEENVETO .....	51
10.1 Opinnäytetyöstä .....	51
LÄHTEET .....	53
LIITTEET.....	55

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Yleistä

Nykyään ei voi säästyä päivittäiseltä annokselta ympäristönsuojeluun ja päästöihin liittyvistä uutisista ja artikkeleista. Lähes kaikilla teollisuuden aloilla puhutaan päästövaatimuksista ja uusista innovaatiosta päästöjen vähentämiseksi, mikä tietysti on hyvä asia, sillä kulutus on jatkuvassa kasvussa ja jotain on tehtävä ennen kuin on liian myöhäistä. Myös merenkulkua koskevat säädökset tiukkenevat koko ajan. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan satamassa käytettävän polttoaineen rikkipitoisuutta koskevan säädöksen vaikutuksia pääosin Itämeren ja Pohjanmeren alueella liikennöivän aluksen kattilalaitoksen käyttöön, huoltoon ja kustannuksiin, ympäristövaikutuksia unohtamatta.

## 1.2 Työn tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää lakimuutoksesta johtuneen polttoaineen laadun vaihdon, raskasöljystä kevytöljyyn, vaikutuksia M/S Birka Trader-aluksen kattilalaitoksen käyttökustannuksiin, -mukavuuteen sekä ympäristönsuojelun kannalta tärkeisiin päästömääriin. Työn tekijät ovat molemmat työskennelleet kyseisellä aluksella II-konemestarina ja työ perustuukin pitkälti omaan kokemukseen. Muina lähteinä on käytetty laitevalmistajien materiaaleja, laitteistojen huoltohistoriikkeja, muiden konemestareiden kokemusta, lakitekstejä ja bunkkerihintatietoja.

## 1.3 Tutkimusmenetelmä

Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan toiminnallinen, jossa opiskelija osoittaa ammatillista osaamistaan aiheesta. Tutkimusmenetelminä on kvalitatiivinen, eli laadullinen ja deskriptiivinen, eli kuvaileva. Tätä opinnäytetyötä voidaan osittain käyttää ohjeena esimerkiksi uuden työntekijän perehdytyksessä, mutta sen pääasiallisena tarkoituksena on esittää polttoaineen vaihdon vaikutuksia.

## 2 LAINSÄÄDÄNTÖ

### 2.1 Muutokset lainsäädäntöön

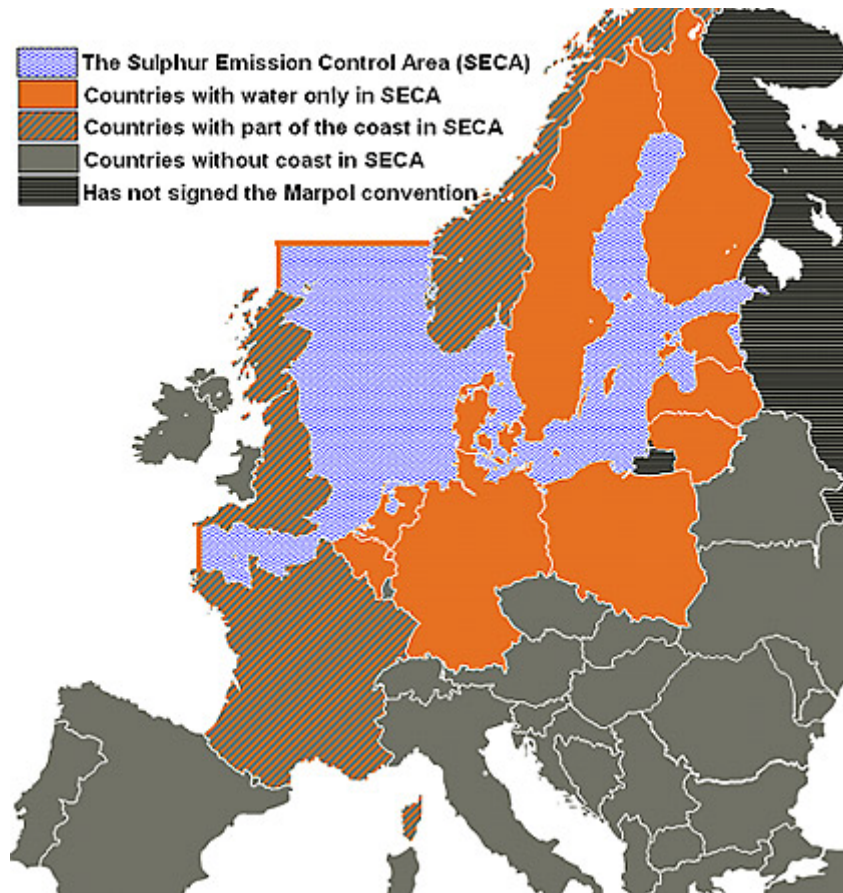
Vuoden 2010 alusta astui voimaan direktiiviin 1999/32/EC perustuva asetus Euroopan Yhteisön jäsenmaiden satamissa käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuudesta. Tätä vuonna 1999 julkaistua direktiiviä on sittemmin muutettu ja tarkennettu direktiivillä 2005/33/EC. Direktiivi vahvistaa Kansainvälisen Merenkulkujärjestö IMO:n vuonna 2005 voimaan astuneen Annex VI of MARPOL asetuksen käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuuksista erityisalueilla (SECA). Sulphur Emission Control Area eli SECA, jonka rajat on esitelty kuvassa 1, kattaa Itämeren ja osan Pohjanmerta, mukaanlukien Englannin Kanaalin. Direktiivi määrää myös satamissa käytettävän polttoaineen rikkipitoisuuden ylärajaksi 0,1 %, mikä tarkoittaa käytännössä siirtymistä raskasöljystä kevytöljyyn. Asetus koskee kaikkia aluksia jotka viipyvät Euroopan Yhteisön-alueen satamissa yli kaksi tuntia. Rikkipitoisuusmääräykset koskevat polttoainetta jota käytetään satamassa olo aikana eli pääkoneen polttoainetta ei tarvitse vaihtaa. Apukoneiden ja kattilalaitosten polttoaineena tulee siis käyttää kevytöljyä. Mikäli aluksella käytetään merellä raskasöljyä apukoneiden ja/tai kattilalaitosten polttoaineena tulee se vaihtaa kevytöljyyn kohtuullisessa ajassa satamaan saapumisen jälkeen./1/

#### 2.1.1 Vanha lainsäädäntö

Kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n vuonna 2005 voimaan astuneen asetuksen mukaan ”erityisillä rikkipäästöjen kontrollialueilla” käytettävien laivapolttoaineiden rikkipitoisuuden raja määrättiin 1,5 %:in. Muilla alueilla raja asetettiin 4,5 %:in. Satamissa käynnissä oleviin koneisiin tai kattiloihin ei vaadittu käytettäväksi puhtaampia polttoaineita. /2/

### 2.1.2 Nykyinen lainsäädäntö

Vuonna 2008 sovittiin jäsenmaiden kesken SECA-alueella käytettävien polttoaineiden rikki- ja raskasmetallipitoisuusrajaksi 1,0%. Tämä sääntö astui voimaan 1. heinäkuuta 2010. Tämä muutos ei vaikuttanut satamissa käytettävien polttoaineiden rikki- ja raskasmetallipitoisuuksiin vaan tammikuussa 2010 voimaan astunut rikkiraja 0,1% jäi voimaan./3/



Kuva 1. Euroopan SECA-alueen rajat /4/

### 2.2 Tulevat uudistukset

Laivapolttoaineiden rikki- ja raskasmetallipitoisuuden alentamisen aikataulu määrettiin vuonna 2008 tarkennetussa Annex VI:ssa seuraavasti:

Kaikkia merialueita koskeva yläraja rikki- ja raskasmetallipitoisuudelle on 4,5% 1 tammikuuta 2012 asti. 1 tammikuuta 2012 ja siitä eteenpäin raja on 3,5%, aina 1 tammikuuta 2020 asti, jolloin raja pudotetaan 0,5%:iin.



SECA-alueilla raja oli 1,5% 1 heinäkuuta 2010 asti ja sen jälkeen 1,0%, aina 1 tammikuuta 2015 asti jolloin raja pudotetaan 0,1%:in. Tämä 0,1% raja tarkoittaa tällä hetkellä käytännössä siirtymistä kevytpolttoaineisiin, mikä taas tarkoittaa polttoainekustannusten rajua nousua. Rikkipäästöjä voidaan pienentää myös ns. pakokaasupesureilla, joita on jo asennettukin muutamiin kotimaisiin aluksiin. Nämä laitteistot ovat kuitenkin kalliita ja isokokoisia joten tämä vaihtoehto ei sovellu kaikkiin aluksiin joko rakenteellisista syistä tai se on taloudellisesti kannattamatonta esimerkiksi aluksen korkean iän takia.

Vuoden 2015 alusta voimaan tuleva säädös SECA-alueella käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuuden rajasta (0,1%) on muodostumassa EU:lle vaikeaksi palaksi, sillä se asettaa Euroopan Unionin maat eriarvoiseen kilpailuasemaan merikuljetuksien osalta. Pohjois-Euroopan maat joilla on rannikkoa ainoastaan SECA-alueella, esitetty kuvassa 1, joutuvat tiukempien säännösten alaisiksi kuin Etelä-Euroopan maat, joilla ei ole rannikkoa SECA-alueella tai joilla on rannikkoa sekä SECA-alueella että muilla merialueilla joita koskeva säädös 0,5%:n rikkirajasta astuu voimaan vasta vuonna 2020. EU:n lakikirjoihin kyseinen säädös ei vielä ole kirjattu, vaan komissio on tehnyt ehdotuksen heinäkuussa 2011. Ristiriitaisen asiasta tekee se että IMO:n jäsenmaat, Suomi mukaan lukien, ovat jo allekirjoittaneet sopimuksen rikkirajan alentamisesta. /5/

### 3 M/S BIRKA TRADER

#### 3.1 Tekniset tiedot

M/S Birka Trader on ahvenanmaalaisen Birka Cargo Ab:n omistama ro-ro-alus. Alus on 154,5 m pitkä, 22,7m leveä ja omaa 8853 tonnin lastikapasiteetin. Aluksella on 12 hengen miehistö. Hyttejä löytyy lisäksi luotsille ja rekkakuskeille. Pääkoneena on Wärtsilä Vasa 16V46B jossa tehoa on 15600kW. Apukoneina kaksi Mitsubishi S12R V12-konetta joissa tehoa on 800kW per kone. Pääkoneen polttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä (380 cst/50°C) ja apukoneissa käytetään kevyttä polttoöljyä (MDO). Alus on varustettu yhdellä öljylämmitteisellä höyrykattilalla ja yhdellä pa-

kokaasukattilalla, joka hyödyntää pääkoneen pakokaasujen lämpöenergiaa höyryn-  
tuotannossa. Höyryä aluksessa käytetään vain lämmitystarkoituksiin, joten järjestel-  
män paine on vain n. 6,5 bar. Kuten kuvasta 2 näkyy, ei M/S Birka Trader edusta pe-  
rinteistä laivanrakennustyyliä vaan asuintilat ovat keulassa. /6/



Kuva 2. M/S Birka Trader. /7/

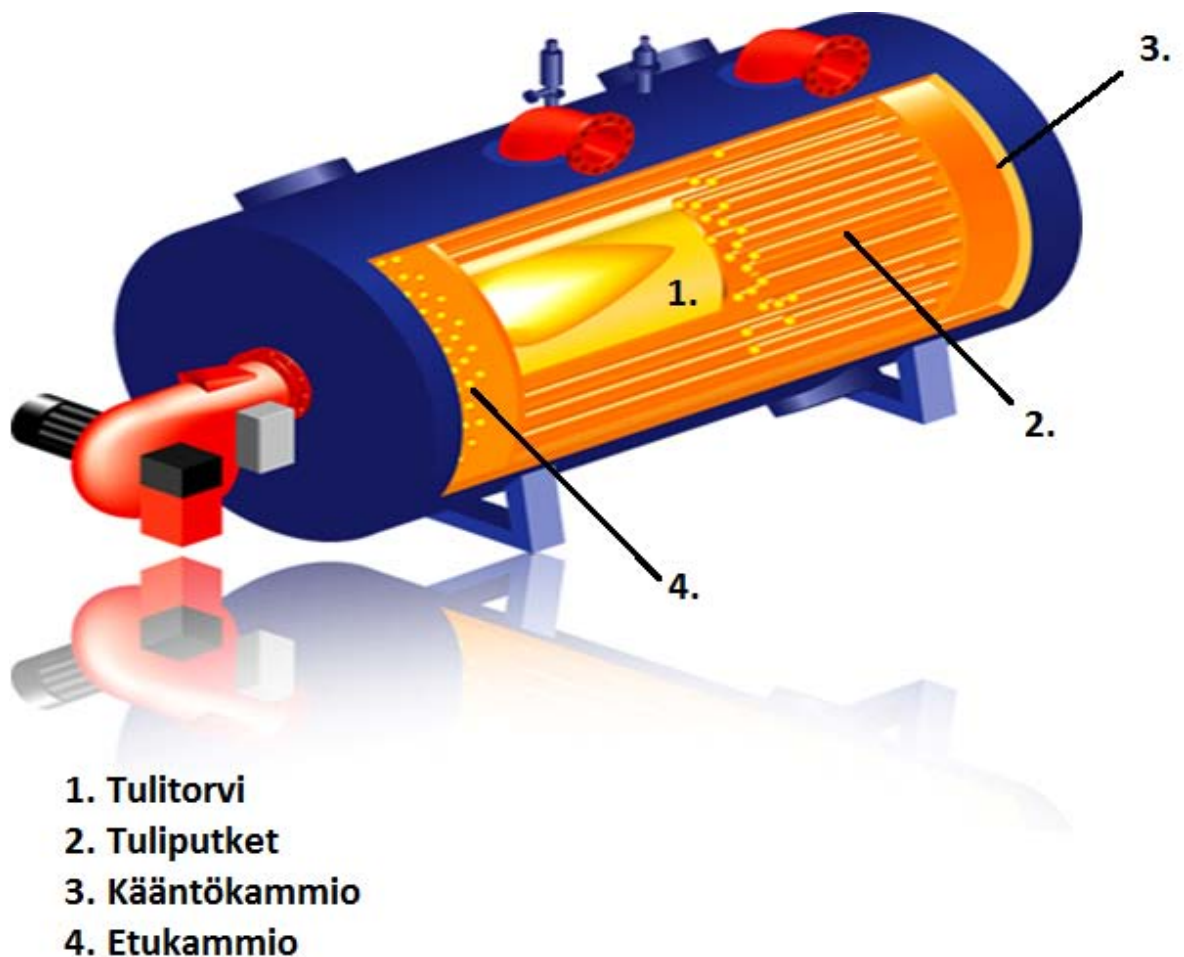
### 3.2 Liikennöintialue

M/S Birka Trader on Finnlines Oy:n rahtauksessa ja pääasiassa liikennöi Pohjanme-  
ren ja Itämeren alueella. Liikennöintialueena on siis SECA-alue (kuva 1) jolloin ai-  
kaisemmin mainitut määräykset koskevat alusta jatkuvasti. Satamissa olo ajat ovat  
myös yli kaksi tuntia jolloin tämäkään lievennys ei auta. M/S Birka Traderilla siirryt-  
tiin kevyen polttoöljyn käyttöön kattilalaitoksessa jo heinäkuussa 2009, kun tieto tu-  
levasta uudistuksesta tuli yleisempään tietoon. Uusien määräysten astuessa voimaan  
alus liikennöi myös SECA-alueen ulkopuolella, Espanjan pohjoisrannikolle Bilba-  
oon. Tämä kuuluu kuitenkin Euroopan yhteisön alueelle jolloin säädös on voimassa.

## 4 KATTILALAITOS

### 4.1 Öljykattila UNEX BH-3000

UNEX BH-3000 kattila on Aalborg Industries:in valmistama meriolosuhteisiin suunniteltu horisontaali kaksivetoinen tulitorvi-tuliputkikattila, jossa polttoaineena voidaan käyttää kaasuöljyä (engl. Marine Gas Oil, MGO), meri-diesel öljyä (engl. Marine Diesel Oil, MDO) tai raskasta polttoöljyä (engl. Heavy Fuel Oil, HFO) 700cSt/50°C viskositeettiin saakka. Kattila on suunniteltu toimimaan paineöljypolttimella. Valmistajan ilmoittama höyryntuotto on 3000 kg/h ja kattilan vesitilavuus on 4,9 m<sup>3</sup>.



Kuva 3. UNEX BH rakenne. /8/

Kattilaan syötettävä polttoaine palaa tulitorvessa, jonka päässä olevassa kääntökammiossa savukaasujen suunta käännetään takaisin kattilan etuosaan tuliputkissa, jotka ovat sijoitettu tulitorven ympärille kolmeen kierrokseen. Kattilan pääosat on esitelty kuvassa 3. Tuliputkiin on asennettu irralliset spiraalin-muotoiset savukaasuohjaimet hidastamaan savukaasujen virtausta, jolloin ne luovuttavat enemmän lämpöenergiaa, mikä puolestaan parantaa kattilan hyötysuhdetta. Kattilan etuosasta savukaasut johdetaan savukaasukanavaan ja sitä pitkin ylös korsteeniin. Kuvassa 4 näkyy kattilan etuosa sekä tuliputket, kuvan oikeassa reunassa polttimeen palopää.



Kuva 4. Kattilan etuosa ja tuliputket.

Kattilan hyötysuhde on suunniteltu mahdollisimman korkeaksi ja kattila täyttää EU:n viranomaisten vaatimukset. Kattilan suunnittelun lähtökohtana on, että tulipesään kohdistuvat lämpökuormat ja savukaasujen nopeudet konventio-osassa ovat pieniä. Näin palaminen tulipesässä on täydellistä ja esimerkiksi NO<sub>x</sub>-päästöt vähentyvät. Myös kattilan painehäviöt ovat alhaiset. Kattilan rakenteen ansiosta se likaantuu vain vähän ja huoltotilanteissa lämmönsiirtopinnat voidaan puhdistaa harjaamalla.

#### 4.2 Pakokaasukattila UNEX BH-229

Kuten lähes kaikissa muissakin aluksissa, myös M/S Birka Traderilla hyödynnetään pääkoneen savukaasujen lämpöenergiaa höyryntuotannossa. Pääkoneen savukaasukanavaan on liitetty pakokaasukattila (engl. exhaust gas boiler) hyötysuhteen parantamiseksi. Pakokaasukattila on tyypiltään ripaputkikattila. Öljykattilan vesi syötetään kiertovesipumpulla pakokaasukattilan putkipaketin läpi ja palautuu höyrynä öljykattilaan. Kun pääkone on käytössä yli 60 % teholla, sisältää sen tuottamat savukaasut niin paljon lämpöenergiaa, ettei öljykattilan tarvitse enää käydä, vaan se alkaa toimia pakokaasukattilan höyrylierionä. Pakokaasukattila tuottaa normaaliajossa, >60 % pääkoneen teholla, niin paljon höyryä että sitä täytyy lauhduttaa tai ”dumpata” järjestelmän höyrynpaineen rajoittamiseksi. Tämä tapahtuu lauhduttimen (engl. dumping condenser) avulla joka on levylämmönvaihdin jossa höyry lauhdutetaan, M/S Birka Traderin tapauksessa apulaite-jäähdytysvedellä, ja johdetaan lauhdetankkiin josta se taas kattilan pinnan laskiessa pumpataan takaisin kattilaan. Lauhduttimessa voi olla myös merivesikierto. Lauhduttimelle menevän höyryn määrää ohjataan ”dumppi”-venttiilillä, kuvassa 5, jossa avauspainetta säädetään paineilman avulla. Venttiili on sijoitettu päähöyrylinjaan.



Kuva 5. ”Dumppi”-venttiili



## 5 ÖLJYPOLTIN OILON RP-201

### 5.1 Yleistä polttimesta

Oilonin valmistama kolmitehoinen yhdistelmäpoltin on täysin automaattinen, turvallinen ja toiminnaltaan luotettava. Polttimen suunnittelun ja valmistukseen käytetyistä laatumateriaalien, sekä –komponenttien ansiosta poltin on hyvin taloudellinen, käyttäjä-, huolto- sekä ympäristöystävällinen. Poltin täyttää standardit EN 230 ja EN 267 ja on EU-tyyppitarkastettu sekä DNV-hyväksytty.

#### 5.1.1 Rakenne

Polttimen kaikki komponentit on kiinnitetty polttimen runkoon. Alumiiniseoksesta valetussa rungossa sijaitsee kolmivaihemoottori, joka käyttää puhallinpyörää ja öljypumppua. Moottorin kontaktorit ja lämpöreleet sekä öljyn esilämmittimen kontaktorit on valmiiksi asennettu polttimeen. Runko on pintakäsitelty kestäväällä ja korkeakiiltoisella maalilla. Rungossa on saranoitu, rajakytkimellä varustettu kääntölaippa, joka mahdollistaa polttimen kääntymisen huoltotoimenpiteitä varten vasemmalle tai oikealle. Kääntölaipan ansiosta polttimen palopään, suuttimien ja sytytyskärkien huolto voidaan tehdä poltinta irrottamatta. Ruostumattomasta teräseoksesta valmistettu palopää ja liekkilevy kestää jopa 1200°C lämpötilan. Ilmanvirtausta palopäässä voidaan säätää optimipalamisarvojen saavuttamiseksi koko tehoalueella. Liekintarkailua varten polttimessa on lasipäällysteinen aukko. Ilmansäätöpellistöä, joka sijaitsee puhaltimen imupuolella, ohjataan säätömoottorin avulla. Pellistö säätyy automaattisesti vastaamaan kunkin tehoalueen vaatimaa ilmamäärää. Polttimen päällä sijaitseva irrotettava kansi helpottaa sähköasennuksia ja polttimen huoltoa. Polttimen rakenne, materiaalit ja suojausluokka edellyttävät sisätiläkäyttöä, max 50°C ympäristöissä lämpötilassa. Polttimen kotelointiluokka on IP 20.

#### 5.1.2 Polttoaineet

Polttimessa voidaan käyttää seuraavia polttoaineita:

kevyt polttoöljy, (MGO,MDO) viskositeetti  $4-12 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $+20^\circ\text{C}$

raskas polttoöljy, (LSFO,HFO) viskositeetti max  $250 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $+50^\circ\text{C}$

raskas polttoöljy, (LSFO,HFO) viskositeetti max  $450 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $+50^\circ\text{C}$

- lämmityspatruuna pumpussa ja suuttimessa.

raskas polttoöljy, (LSFO,HFO) viskositeetti max  $650 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $+50^\circ\text{C}$

- lämmityspatruunat kuten edellä, lisäksi polttoaineputkien saatto-lämmitys.

M/S Birka Traderin tapauksessa käytössä on tällä hetkellä vain MDO, aikaisemmin myös LSFO 380

### 5.1.3 Tehonsäätö

Poltin on varustettu ilmapellin säätömoottorilla, jonka tehojen välinen ajoaika on 5 sekuntia. Poltin toimii automaattisesti 1-, 2- tai 3-teholla riippuen tehontarpeesta, jonka määrää höyrynkulutus, jotta käyttöpaine saadaan ylläpidetyksi joka tilanteessa. Polttimen tehoalueet säädetään erikseen savukaasuanalyysin perusteella. Poltin siis säätelee tehoa vain ennalta asetettujen tehoalueiden avulla. Tätä toimintatyyppiä kutsutaan iso-pieniliekkityyppiä (engl. High/Low). Suuttimen koko 1-teholla eli low-asetuksella on  $37,7 \text{ l/h}$  ja 2-teholla eli high-asetuksella mukaan tulee 2-suutin jonka koko on  $33,1 \text{ l/h}$ . Näin ollen täydellä teholla, molemmat suuttimet käytössä, kulutukseksi tulee  $70,8 \text{ l/h}$ . M/S Birka Traderilla 3-teho on kytketty pois tarpeettomana koska poltin on kolmella suuttimella suunniteltu toimimaan 12bar:in kattilassa ja kyseinen kattila on suunniteltu toimimaan 8 bar:in paineella johon kaksi suutinta riittää.

### 5.1.4 Öljyn esilämmitin

Polttimessa on sähkökäyttöinen massaesilämmitin. Sen tehoa ohjaa elektroninen säädin, joka pitää öljyn lämpötilan tasaisena. Öljyn lämpötilan tasaisuus auttaa saavuttamaan optimaaliset palamisolosuhteet. Polttimessa esituuletusvaiheen aikana lämmitetty öljy kiertää esilämmittimen läpi suuttimelle asti ja varmistaa, että öljyn lämpötila syttymisvaiheen aikana on riittävän korkea. Polttimen ohjausyksiköstä löytyy valintakytkin käytettävälle polttoaineelle. Raskasöljykäytössä lämmitin on päällä, ke-

vytöljyä ei puolestaan tarvitse lämmittää. M/S Birka Traderilla käytössä on säännösten mukaan kevytöljy joten esilämmitin ei ole käytössä.

#### 5.1.5 Öljyputkisto

Asennettu polttimeen, neljällä magneettiventtiilillä – yksi pääventtiili ja yksi kullekin suuttimelle. Öljysuodatin sijaitsee pumpun imupuolella. Kaksi öljyletkua mahdollistaa polttimen kääntymisen. Polttoaineen syöttöputkisto päivätankista polttimelle on ns. kaksiputkijärjestelmä. Tässä järjestelmässä on polttimelle syöttö- sekä paluulinja ja syöttöpumppu kierrättää polttoainetta putkistossa jatkuvasti. Polttoaineen syöttö- ja paluulinjat ovat havainnollistettu kuvassa 6.

#### 5.1.6 Liekinvalvonta

Polttimen on varustettu automaattisella liekinvalvonnalla, liekkitunnistimena toimii valovastus. Valovastuksen tehtävänä on tarkkailla liekin käyttäytymistä sytytyksen, käynnin ja sammutuksen yhteydessä. Mikäli jostain syystä liekki ei käynnistyksen yhteydessä syty, tulee siitä hälytys ja ohjelmarele sammuttaa polttimen. Sama pätee käynnin aikana tapahtuviin liekkihäiriöihin, jos liekki sammuu tai alkaa pätkimään. Normaalin sammutuksen jälkeen liekkivahti valvoo myös ettei liekki jää palamaan.

#### 5.1.7 Ohjauslaitteet

Polttimen ohjausautomaatiikka (ohjelmarele) on rakennettu polttimen yhteyteen. Ohjelmarele suorittaa kaikki toimintavaiheet automaattisesti. Häiriötilanteissa polttimen automaatiikka huolehtii automaattisesti polttimen pysäyttämisestä. Kattilahuoneessa, polttimen välittömässä läheisyydessä, on kattilaitoksen ohjauskaapit joista löytyy polttimen pääkytkin, tehonsäätökytkin, polttoaineen syöttöpumppujen käyttökytkimet sekä eri hälytysten indikointivalot. Järjestelmä on kytketty konehuoneen valvonta-automaatiikkaan jonne tulee hälytys vain yhdellä nimikkeellä ja kattilahuoneen ohjauskaapista näkee yksilöidyn hälytyksen. /9/



## 6 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ

Tässä kohdassa kuvaillaan aluksen polttoainejärjestelmää ja siihen liittyviä laitteistoja, perehdytään hieman polttoaineen vastaanottoon, varastointiin sekä puhdistukseen.

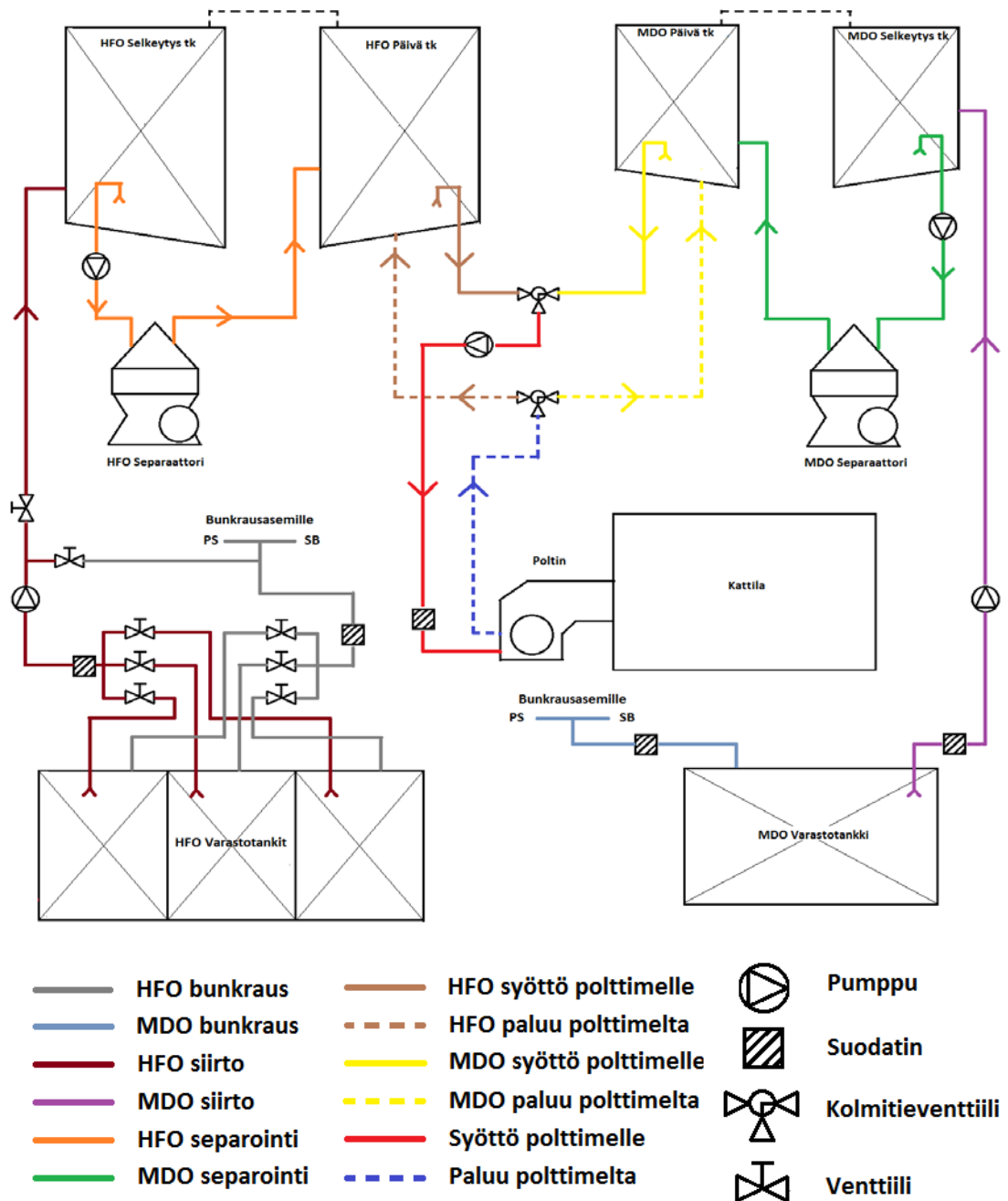
M/S Birka Traderin polttoainejärjestelmä kattilalaitoksen osalta on alunperinkin suunniteltu sekä raskas-, että kevytöljykäyttöön. Varsinainen polttoaineen vaihto tapahtuu kahta kolmitieventtiiliä kääntämällä, jolloin polttoaineen syöttö ja paluu vaihtuvat HFO-päivätankista MDO-päivätankkiin ja päinvastoin. Venttiilit ja polttoainelinjat polttimelle ovat nähtävissä kuvassa 6. fyysisesti nämä venttiilit sijaitsevat kattilahuoneessa, kattilan välittömässä läheisyydessä.

### 6.1 Polttoaineen täyttö

Laivan molemmilla puolilla on vastaanottoasemat (engl. Bunkering stations). Täyttöjärjestelmän kapasiteetti on 150-200 m<sup>3</sup>/h riippuen pumppauspaineesta. Vastaanottoasema on järjestetty niin, että polttoaineen virtaus ylivuototankkiin havaitaan välittömästi. Polttoaineen vastaanoton valvonta tapahtuu konehuoneen valvontahuoneesta. Konepäällikkö valvoo koko prosessia ja pystyy ajoissa vaihtamaan täytettävää tankkia tai tarvittaessa pysäyttämään koko toimenpiteen. Samanaikaisesti bunkkeriasemalla on letkuvahdi, jonka tehtävänä on valvoa polttoaineen vastaanoton turvallisuutta ja tarvittaessa pysäyttää koko toimenpide. Diesel- ja raskasöljylle on standardinmukaiset vastaanottoputket laipoilla, jotka on varustettu näytteenotto-hanoilla. Laippojen alla on valuma-allas, josta on vedetty tyhjennyslinja suoraan ylivuototankkiin.

Vastaanotettu polttoaine virtaa varastotankkeihin. Konehuoneen keulaosassa paapuurin puolelta löytyy polttoaine-asema, jossa ovat vastaanottosuodatin, venttiilikeskus ja siirtopumput. Polttoainejärjestelmä on havainnollistettu kuvassa 6. Kuva ei ole piirretty mittakaavaan, vaan pelkästään apuvälineeksi järjestelmän ymmärtämisen helpottamiseksi.

Riippuen paikasta missä otamme polttoainetta, on tullut käytännöksi valuttaa otetusta polttoaineesta näyte, jonka otto tapahtuu koko vastaanotto toimenpiteen aikana, jotta saadaan näyte joka kattaa koko polttoainemäärän. Näyte jaetaan kolmeen näytepulloon, jotka sinetöidään, ja sinettien numerot kirjataan pullojen etiketteihin. Yksi näyteistä lähetetään luokituslaitoksen (DNV) laboratorioon testeihin, yksi annetaan polttoaineen toimittajalle ja yksi jää laivalle.



Kuva 6. Polttoainejärjestelmä

## 6.2 Varastointi ja siirto laivassa

Polttoaine varastoidaan laivan kaksoispohjassa sijaitseviin varastotankkeihin. Edullisimman kulkuasennon saavuttamiseksi osa tankeista on sijoitettu keulaan ja osa perään. Koska tankkien ja siirtoputkiston lämmitys on huomattava energiankuluttaja, varastotankit on koottu yhdeksi ryhmäksi, joka ei ulotu ulkolaidoille. Eri raakaöljystä valmistetut polttoaineet varastoidaan laivassa eri tankkeihin. Kokemus on osoittanut, että kaksi yksinään stabiilia polttoainetta voi sekoitettuna keskenään aiheuttaa suodattimien tukkeutumista tai kerrostumia dieselmoottorin palotilaan. Yhteensopivuuden lisäksi vain viskositeetti vaikuttaa polttoaineen varastointiin.

Kaikista tankeista sekä vastaanottoasemien vuotoaltailta on johdettu vuotolinjat ylivuototankkiin. Ylivuototankki on luokituslaitoksen määräyksien mukaan varustettu takaiskuventtiilillä. Raskasöljytankeissa on höyrylämmitys imuputken päään ympärillä sekä tankin pohjalla lämmityskierukat. Lämmityskierukoiden putkipinta-ala on  $0,08 \text{ m}^2$ / tankin tilavuus( $\text{m}^3$ ).

Luokkamääräysten mukaan polttoaineen lämpötila ei saa runkotankeissa kohota yli  $48^\circ\text{C}$ . Runkotankeiksi ei lasketa selkeytys- ja päivätankkeja, joiden toiminta vaatii-kin raskasöljyllä korkeampia lämpötiloja. Raskasöljyn ja dieselöljyn siirtoa varten on ruuvipumput. Putket on eristetty ja varustettu saattolämmityksellä.

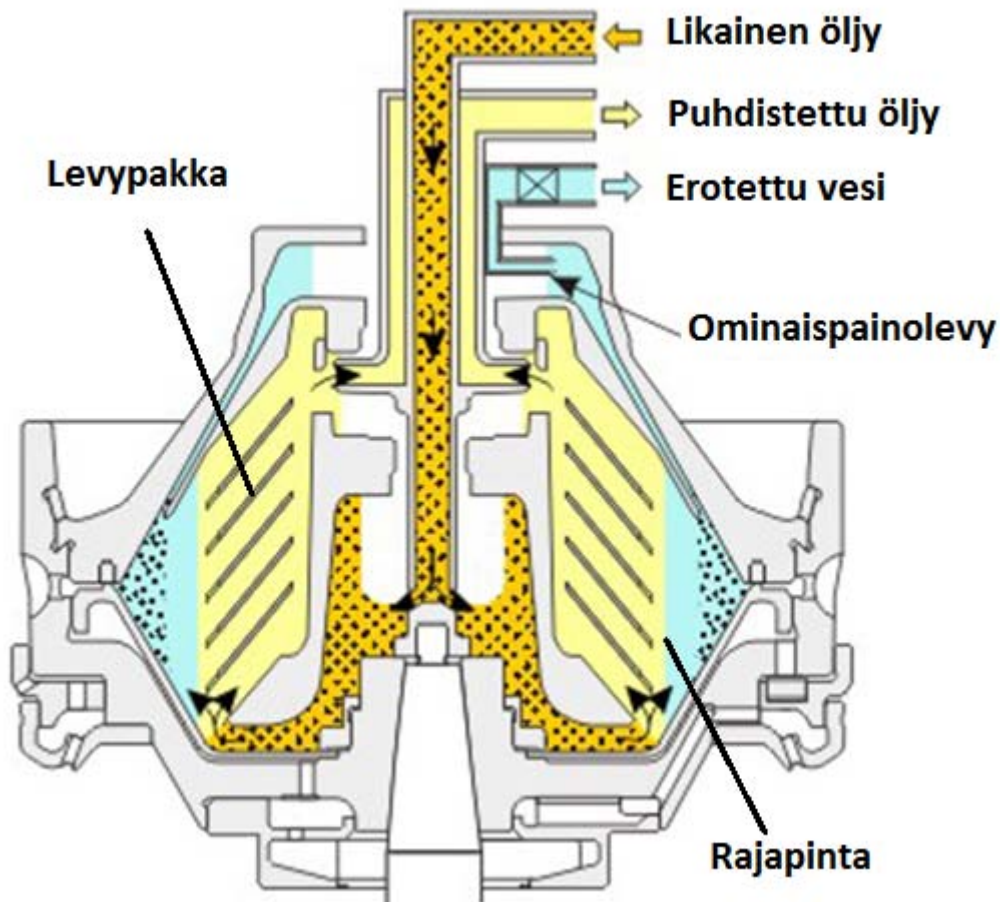
Raskasöljyn siirtopumppu pumppaa öljyn selkeytystankkiin. Settling-tankki on rakenteeltaan ja tilavuudeltaan samanlainen kuin päivätankki. Samalla tavalla on rakennettu dieselöljyn selkeytys- ja päivätankit.

Selkeytystankki on mittasuhteiltaan matala, jotta pohjalle laskeutuvan veden ulkopuolisten partikkelien matka olisi mahdollisimman lyhyt. Kovan merenkäynnin aikana aiheutuu öljyn sekoittumista ja ”pohjamutaa” pääsee välillä liikkeelle, mikä aiheuttaa filterien tukkeutumista ja ylimääräisiä hälytyksiä. Päivä- ja settling-tankkien pohja on kalteva, jotta veden poistaminen on helppoa. Selkeytystankissa ylläpidetään tasainen lämpötila, n.  $70^\circ\text{C}$ . Separaattorin imuputki sijoittuu noin 40 cm korkeudelle pohjasta.

### 6.3 Polttoaineen separointi ja separaattorin toimintaperiaate

Polttoaineen puhdistus laivalla tapahtuu pääasiallisesti erilaisien filttereiden ja separaattoreiden avulla. Separoinnin aikana viskositeetin tulisi olla korkeintaan 40 cSt, joten tätä varten settling-tankissa oleva 360 cSt/70°C öljy lämmitetään separaattorin esilämmittimessä 90°C. Separointilämpötilan ylärajaksi on asetettu 98°C, koska muuten toimiveden höyrystyminen aiheuttaisi toimintahäiriöitä.

Separattorilla saavutetaan hyvä puhdistustulos, jos öljyssä oleva vesi on makeaa eikä öljyn tiheys ylitä 991 kg/m<sup>3</sup> lämpötilassa 15°C. Silloin saadaan poistetuksi suurin osa kiinteistä hiukkasista, joiden läpimitta on suurempi kuin 8 µm. Separattoria esittävstä kuvasta näkyy sen toimintaperiaate.



Kuva 7. Separattorin kuula. /10/

Separattorin tärkein osa on kuula, jossa itse separointi tapahtuu. Kuula on laakeroitu pystysuoraan akseliin jota käyttää sähkömoottori ylennysvaihteen välityksellä. Pyö-

rimisnopeus on LSFO separaattorilla 6000 rpm ja DO separaattorilla 4000 rpm. Kuulan sisällä on niin sanotusti levypakka, joka koostuu kartiomaisista lautasista, joita on 90-94 kpl. Lautaset ovat 0,5 mm paksua ruostumatonta terästä ja niiden välit on 0,5 mm. Yli 4000 x g suuruinen keskipakovoima erottaa öljystä sitä raskaamman veden ja kiinteät partikkelit, pisarat joutuvat erottumisen jälkeen kulkemaan vesikerroksen läpi ulkokehälle. Keskipakovoima on laskettu seuraavalla kaavalla:

$$RCF = 11,18 \times \left( \frac{N}{1000} \right)^2 \times R$$

RCF= Relative Centrifugal Force

N= Separaattorin vertikaalisen akselin pyörintänopeus (5175rpm)

R= Separaattorin kartiolevyn säde (14cm)

Separaattorin kuulasta poistuvat siis jatkuvasti puhdas öljy ja erotettu vesi omia kanaviaan pitkin. Kuulaan syntyy näiden nesteiden välillä rajapinta. Sen sijaintia säädetään kuulan yläpäässä olevalla ominaispainolevyllä (engl. Paring/Gravity disc). Ominaispainolevyn sisähalkaisija yhdessä öljyn viskositeetin ja virtausnopeuden kanssa määrittää rajapinnan, joka tulee olla lähellä kuulan ulkokehää, mutta kuitenkin ylälevyn (engl. Top disc) ulkoreunan sisäpuolella. Aluksi kuulaan syötetään vesilukko, määrätty tilavuus makeaa vettä, niin että se ulottuu rajapintaan asti. Puhdistettava öljy syötetään kuulaan keskiakselin porauksesta, jonka alapäästä se siirtyy levypakkaan. Pakassa erottuva öljy liikkuu kohti kuulan keskustaa ja poistuu yläosan poistopumpun kautta. Samanaikaisesti ohjautuvat raskaimmat vesi ja liete ulkokehälle. Vesi poistuu oman poistopumppunsa kautta yläosasta.

Rajapinta siirtyy separaattorin levypakan alueelle ja separoituun öljyyn pääsee vettä, jos öljyn tiheys muuttuu tai viskositeetti alenee, syöttönopeus pienenee tai lämpötila nousee (mikä johtaa viskositeetin alenemiseen). Vastakkaiset muutokset aiheuttavat sen, että vesilukko rikkoutuu eli rajapinta siirtyy ylälevyn ulkoreunan ulkopuolelle. Silloin poistettavan veden mukana pääsee öljyä jäteöljysäiliöön. Separaattorin moitteeton toiminta edellyttää oikeita asetuksia. Lämpötilan tai muiden parametrien heilahtelu aiheuttaa toistuvasti häiriöitä.

Laivan separaattorit ovat automaattisia eli itsepuhdistuvia eikä niitä tarvitse pysäyttää puhdistusta varten. Kuulan alaosa saadaan hydraulisesti laskeutumaan ja paljastamaan tyhjennysaukot, joiden kautta ulkokehälle kertynyt lika sinkoutuu ulos valuen jäteöljytankkiin. Separaattorit ovat kokonaan tyhjentävät, eli tyhjennyksen ajaksi öljyn syöttö keskeytyy. /11/

## 7 PALAMINEN

### 7.1 Palamisen perusteet

Palaminen yksinkertaisuudessaan on aineen kemiallista yhdistymistä happeen. Periaatteeltaan näin yksinkertaisessa asiassa on kuitenkin monta puolta ja palavasta aineesta riippuen palamistuotteet ja niiden haitallisuus vaihtelevat. Palamistapahtuma pyritään saamaan mahdollisimman täydelliseksi haitallisten palamistuotteiden vähentämiseksi. Täydellistä ja epätäydellistä palamistapahtumaa kuvataan seuraavasti Pentti Häkkisen kirjassa Laivan Koneistot.

Täydellisessä palamistapahtumassa hiilivetyjen palamistuotteena syntyy hiilidioksidia  $\text{CO}_2$  ja vesihöyryä  $\text{H}_2\text{O}$ . Edellinen niistä edistää kasvihuoneilmiötä (engl. green house effect). Laivaliikenteen päästömäärät ovat merkityksettömät verrattuna maissa sijaitseviin fossiilista polttoainetta käyttäviin voimalaitoksiin. MARPOL-sopimuksen pakokaasupäästöjä rajoittava liite tuli voimaan 1990-luvun jälkipuoliskolla.

Hiilivetyjen epätäydellinen palaminen aiheuttaa monia haitallisia palamistuotteita. Kaasumaisia ovat hiilimonoksidi  $\text{CO}$ , haihtuvat orgaaniset yhdisteet (engl. volatile organic compounds, VOC) sekä kiinteät hiukkaset (engl. particulates). Myrkyllinen hiilimonoksidi hapettuu nopeasti hiilidioksidiksi, mutta muut kaasut edistävät savusumun muodostumista, ns. smog-ilmiötä. Monet haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja hiukkaset ovat syöpää aiheuttavia karsinogeneeneja. /12/

Laivaolosuhteissa pyritään pääsemään mahdollisimman lähelle täydellistä palotapahtumaa mittaamalla kattilan pakokaasujen koostumusta ja säätämällä polttimeen ilman

ja polttoaineen suhdetta. M/S Birka Traderilla ei ole jatkuvaa mittausta pakokaasuista eikä näin ollen jatkuvaa säätöä. Polttimen kahta tehoasetusta ohjataan kattilan höyrynpainetta seuraavien pressostaattien avulla.

## 7.2 Päästöt

Raskasöljyssä mukanaolevan rikin palaessa syntyy sen oksideja,  $\text{SO}_2$  ja  $\text{SO}_3$ . Ne edistävät maaperän happamoitumista ja smog-ilmiön muodostumista. Palamistapahtuman aikana ilman typpi hapettuu typenoksideiksi, joista käytetään yhteisnimeä  $\text{NO}_x$ . Polttoaineen sisältämä typpi aiheuttaa niistä osan. Typenoksidit edistävät voimakkaasti smog-ilmiötä, kasvihuoneilmiötä ja maaperän happamoitumista.

Rikin oksidit ovat edellä mainituista palamistuotteista siinä suhteessa poikkeavia, ettei palamistapahtumalla voida niiden määrään vaikuttaa. Rikin oksidit voidaan erottaa pakokaasuista kalkkikiven ja veden seoksella ns. märkäpesumenetelmää käyttäen. Laivakäyttöön eivät nämä puhdistuslaitteet sovellu. /13/

Palamisen perusteet eivät ole mihinkään muuttuneet mutta nykypäivänä näitä pakokaasupesureita on jo asennettu laivoille rikkipäästöjä pienentämään. Nämä installaatiot koskevat pääkoneita ja vaikuttavat näin pakokaasukattiloiden osalta höyryntuotannon päästöihin.

## 8 POLTTOAINEEN VAIHDON VAIKUTUKSET

### 8.1 Päivittäinen käyttö

Polttoaineen vaihdosta ei päivittäisten rutiinien osalta aiheudu mitään mullistavia muutoksia. Normaalit toimenpiteet, kuten puhallukset, kemikaalien annostelut ja käyntituntien kirjaus hoidetaan niin kuin ennenkin. Kulutuksen seurantaan vaihdolla on hieman vaikutusta, sillä polttoaine otetaan DO-päivätankista, HFO-päivätankin sijaan, joka on kooltaan huomattavasti pienempi. Kulutuksen seurannasta hieman

lisää seuraavassa kohdassa. Käyttäjän kannalta suurin vaikutus polttoaineen vaihdolla on ollut huoltotarpeeseen ja toimintavarmuuteen. Huoltotoimenpiteitä ja niihin liittyviä vaikutuksia on kuvattu kohdassa 8.2. Toimintavarmuudella tarkoitetaan häiriöiden vähenemistä ja näin ollen myös näistä johtuvien hälytysten vähenemistä. HFO-käytöllä ”kellot” soivat satamassa aika usein, luonnollisesti myös yöaikaan, mikä taas vaikuttaa negatiivisesti käyttäjien virkeyteen. Kattilalaitoksen toimintavarmuudella on tietysti vaikutus kaikkiin höyrynkuluttajiin, kuten separaattoreihin, pääkoneen lämmitykseen ja polttoainekoneikkoon, asuintilojen lämmitykseen jne. Häiriöt höyryntuotannossa, varsinkin pitempi kestoiset katkokset, aiheuttavat näin ollen runsaasti muutakin päänvaivaa. Kuitenkin yleisimmät häiriöt, etenkin raskasöljykäytössä, johtuvat suuttimien tai liekinohjauspellin likaantumisesta eivätkä näin ollen vaadi pitkää huoltoaikaa.

#### 8.1.1 Kulutuksen seuranta

Kattilalaitoksen kuluttaman polttoaineen tarkkaa määrää on vaikea selvittää sillä polttimessa ei ole erillistä kulutusmittaria. Suuttimien koon ja käyntituntien määrän avulla pystytään laskemaan kulutus, mutta tarkempi tulos vaatisi pitkän seuranta-ajan sillä tuntimittari ei erottele millä teholla poltin on toiminut. Höyryntarve vaihtelee jolloin myös kulutus muuttuu päivästä riippuen. Polttoaineen vaihdoksen myötä kattilan polttoaine otetaan DO-päivätankista, joka on pienempi kuin HFO-päivätankki ja josta aikaisemmin on otettu polttoainetta vain apukoneille. Apukoneiden kulutus on siis entuudestaan tuttu jolloin erotuksena kokonaiskulutuksesta saadaan kattilalaitoksen kulutus. Huomioon on tietysti otettava tankkipeilauksen virhemarginaali.

### 8.2 Huoltotoimenpiteet

Tässä kappaleessa käydään kahden vuoden huoltotoimenpiteet läpi, koska työt ovat samat ja huoltoväli on sama molemmille polttoaineelle LSFO:lle ja MDO:lle ei ole järkeä kirjoittaa samoja tekstejä kahteen kertaan. Jokaisen huoltotyön kuvauksen jälkeen tehdään pieni vertailu millaista se oli LSFO käytön aikana ja millaista se on nyt MDO käytön aikana. Koska kaikki huoltotoimenpiteet ovat ennalta määrätty ja nii-



den huoltoväli on määrätty, jokaisen työn kuvauksessa ilmoitetaan kuinka usein se suoritetaan. Koska höyrynkulutus on sen verran iso ja sitä tarvitsevat sellaiset laitteet kuten separaattorit ja boosteri-yksikkö, pyritään kaikki huoltotyöt suorittamaan meillä, jos mahdollista, sillä silloin pakokaasukattila tuottaa höyryn. Muussa tapauksessa höyryä tarvitsevat laitteet täytyy pysäyttää.

#### 8.2.1 Kattilan varoventtiilien avauspaineen tarkistus, 7,5 bar.

Työn suoritusväli on 6 kuukautta. Varoventtiilejä on yhteensä neljä kappaletta, kaksi öljykattilassa ja kaksi pakokaasukattilassa. Todellisuudessa tämä työ olisi tehty niin, että kattilan ja pakokaasukattilan paineita nostetaan varoventtiilien avauspaineeseen asti, mutta turvallisuussyistä ja myös venttiilin tiivistepintojen vauriomahdollisuuden takia sitä ei tehdä. Varsinainen tarkistus suoritetaan visuaalisesti, tarkastetaan venttiilien ulkoinen kunto ja etsitään vuotoja. Samalla tarkistetaan manuaaliavaus vaijereiden kunto. Telakointien yhteydessä varoventtiilit huolletaan ja koeponnistetaan. Polttoaineen vaihto ei mitenkään vaikuttanut tähän työhön ja laitteiden toimintaan.

#### 8.2.2 Polttimeen filttareiden puhdistus

Työn suoritusväli on 2 kuukautta. Tavallisesti filttareiden puhdistus tapahtuu seuraavalla tavalla: käännetään syöttö- ja poistolinjan kolmitieventtiilit toiselle filterille. Varmistetaan että syöttölinja on kiinni ottamalla tyhjennysventtiilin turvatulppa pois ja avaamalla venttiiliä varovasti. Tyhjennysventtiili näkyy kuvassa 7 punaisen suodatinkotelon alla. Mikäli linja on paineeton, voidaan venttiili avata kokonaan, jolloin suodatinkotelo saadaan tyhjennettyä. Seuraavaksi otetaan ilmausruuvi auki, mikä nopeuttaa filterikotelon tyhjennystä, sitten avataan filterikotelon kansipultti jonka jälkeen nostetaan kansi pois. Ilmausruuvi, kuvassa 8, suodatinkotelon kannessa oikean puolimmainen, keskellä kansipultti. Nostetaan filteri puhdistusta varten pois. Rakenteeltaan filteri on ruostumatonta terästä, jonka ylä- ja alaosa on valmistettu levystä ja itse elementti on hienoa ruostumatonta teräsverkkoa. Filterikotelon puhdistuksen ja tarkistuksen jälkeen asennetaan puhdistettu filteri takaisin paikalleen, tarkistetaan

filtterikotelon kannen o-renkaan kunto, vaihdetaan tarvittaessa, laitetaan kansi paikalleen ja kiristetään kannen pultti. Ruuvataan ilmausruuvi paikalleen jättäen se hie-  
man auki, että ilma pääse pois. Avataan painepuolen venttiiliä, jotta polttoaine pää-  
see virtaaman sen läpi samalla täyttäen filtterin. Kun filtterikotelo on täyttynyt polt-  
toaineella ja ilma on purkautunut pois ilmausruuvin kautta, kiristetään ruuvi, pyyhi-  
tään ylivuotaneet öljyt pois ja suljetaan painepuolen venttiili. Työ on hyvä vielä vii-  
meistellä koeajolla, jotta mahdolliset vuodot havaitaan heti.

LSFO käytön aikana oli vaikea huomata heti onko filtti tukossa vai ei. Ensiksi oli  
odotettava jonkun aikaa, kunnes filtti jäähtyy ja sitten vasta voitiin suorittaa huolto-  
toimenpiteet. Toiseksi jälkien siivous otti enemmän aikaa. Jäähtynyt 360 LSFO on  
aika paksua. MDO käytössä on se etu, että polttoaine on kirkasta eikä tarvitse läm-  
mistä, josta johtuu huollon helppous ja nopeus. Avattaessa kannen näkee heti onko  
filtti tukossa vai ei ja onko filtterikotelon pohjalla mitään roskia. Jälkien siivous  
onnistuu rätillä pyyhkimällä. Työn suoritus on myös nopeutunut, tunnin sijaan se  
kestää nyt noin 15 minuuttia.

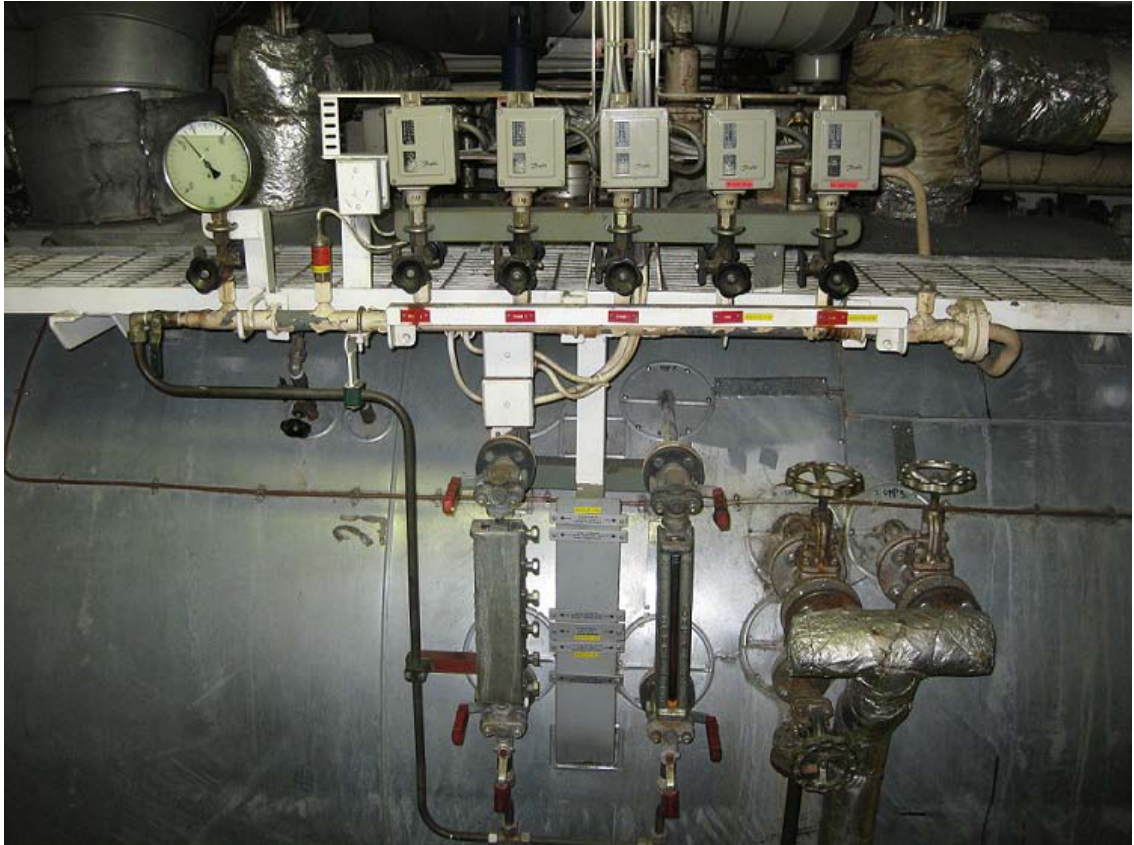


Kuva 8. Polttoainesuodattimet.

### 8.2.3 Kriittiset hälytykset

Polttoaineen vaihto ei vaikuttanut millään tavalla kriittisten hälytysten testaamiseen. Testausväli on puoli vuotta. Korkeapainehälytys eli sammutus raja on 7,0 bar. Suoritetaan seuraavalla tavalla, suljetaan pressostaatin painepuolen sulkuventtiili, ruuvataan mittauslaite-liitoksesta turvatulppa pois, ruuvataan siihen kiinni testipainepumppu johon on kytketty manuaali- tai meidän tapauksessa digitaalinen painemittari. Avataan pressostaatin testiventtiili, pumpataan pressostaatille ilmaa kunnes hälytys laukeaa ja luetaan mittarin näyttämä arvo. Riippuen vuodenajasta ja sääolosuhteista, paine hieman vaihtelee, muttei montaa sadasosa baaria. Testin jälkeen suljetaan pressostaatin testiventtiili, ruuvataan testipumppu pois ja laitetaan turvatulppa paikoilleen, jonka jälkeen avataan pressostaatin paineventtiili. Kun kaikki on valmista, eikä mitään vuotoja ole löytynyt, kuitataan hälytys pois pressostaatin kyljessä olevasta kuittaus nappulasta.

Kattilaveden alaraja-hälytys (shutdown). Hälytystesti on aika helppo, parhaiten se onnistuu laittamalla kattilaveden stand by (valmius) -syöttöpumppu pois päältä ja sammuttamalla pääpumppu. Odotetaan jonkun aikaan kunnes kattilasta höyrystyy sen verran vettä, että pinta laskee hälytysrajan alapuolelle. Siinä vaiheessa kun hälytys on soinut, laitetaan pääpumppu takaisin päälle ja varapumppu takaisin stand by asentoon jolloin molemmat pumpput lähtevät käyntiin ja täyttävät kattilan vedellä. Kun veden pinta on noussut alarajalle, stand by pumppu sammuu ja pääpumppu jatkaa täyttämistä kunnes pinta nousee säädetylle rajalle, jossa pääpumppu sammuu.



Kuva 9. Kattilan mittalaitetukki.

#### 8.2.4 Polttimeen polttoainepumpun akselitiivisteiden tarkastus.

Tarkistetaan visuaalisesti palamisilman imukanavan kautta näkykö mitään vuotojälkiä. Ne ovat yleensä helposti havaittavissa johtuen siitä, että kanavan seinämät ovat kevyesti pölyntyneet. Polttoainepumppu on asennettu polttimeen imukanavan ulkopuolelle, kuten kuvasta 10 voidaan todeta, ja on kytketty väliakselin avulla puhaltimen akselille. Pumppu saa näin käyttövoimansa samalta sähkömoottorilta kuin puhallin. Jos imukanavan seinämällä, akselin läpiviennin kohdalla, on havaittavissa öljyä tai rasvaisia tahroja, johtuvat ne kuluneesta tai vaurioituneesta akselitiivisteestä, joka johtaa akselitiivisteiden vaihtoon. Polttoaineen vaihto ei vaikuttanut työn suoritukseen, mutta akselitiivisteiden käyttöikä on muuttunut radikaalisti. Kun aikaisemmin, raskasöljyikäytöllä, akselitiiviste kesti noin vuoden, on se nyt kestänyt jo yli kaksi vuotta ilman ongelmia. Huoltovälistä neuvoteltiin konepäällikön kanssa, ja koska



määräaikaista huoltoa ei ole ennenkään ollut, päädyttiin jatkamaan samalla linjalla kuin aikaisemmin eli huolletaan pumppu kun se alkaa vuotamaan.



Kuva 10. Polttimeen polttoainepumppu.

#### 8.2.5 Kattilan manuaalinen nuohous.

Tämä työ on yksi suurimmista ja tärkeimmistä töistä, jonka suoritus polttoaineesta riippumatta kestää koko työpäivän. Huoltoväli on puoli vuotta. Tämä työ suoritetaan normaalisti merellä, mutta jos on tiedossa pitkä seisonta, kuten telakointi tai joudutaan olemaan satamassa pitempi aika jonkun toisen syyn takia, se voidaan suorittaa satamassa. Aluksi kytketään polttimeen tehovalintakytkin nolille ja laitetaan polttimeen pääkytkin pois päältä. Kuitenkin kattilan pääkytkin jätetään päälle, koska kattilan ohjaustaululle on kytketty kaikki hälytykset ja syöttöveden pumppujen ohjaus jotka estävät kuivakiehunnan, jos laiva on merellä. Varmuuden vuoksi irrotetaan liekkivahti, mikä aiheuttaa hälytyksen ja estää polttimeen käynnistytksen. Polttimeen ja kattilan välissä on kaksi saranoitua laippaa. Kuvan 11 oikeassa yläkulmassa, poltti-

men ja kattilan liitoskohdassa, näkyy ulompi näistä laipoista, johon itse poltin on kiinnitetty. Tämä ulompi laippa, johon poltin lukittuu kahdella pikalukolla, kahvat joissa mustat pallot kuvan 11 oik. yläkulmassa, mahdollistaa polttimeen kääntämisen sivulle jolloin päästään käsiksi suuttimiin ja sytytuselektrodeihin. Ulomman laipan ja polttimeen väliin on asennettu rajakytkin joka antaa hälytyksen kun poltin käännetään sivulle ja estää näin polttimeen käynnistymisen sen ollessa auki.



Kuva 11. Poltin sivulta suljettuna.

Polttimen ollessa paikallaan, kuten kuvassa 11, päästään ottamaan polttimeen kiinnityspultit auki, samoin pystytään avaamaan oikeanpuoleinen kattilaovi. Kattilan ovet pysyvät paikoillaan saranoiduilla kiinnityspulteilla, näkyvissä kuvassa 11 oikeassa alareunassa. Kun oikeanpuoleinen ovi on auki, voidaan sen puolen tuliputkista poistaa palamiskaasujen ohjausspiraalit, tähän on hyvä käyttää hitsaushanskoja, koska spiraalit ovat noin 100°C lämpöisiä. Kun avatun puolen spiraalit on saatu pois paikaltaan, ne voidaan kantaa pois pesua varten. Kuvassa 12 näkyy osa kattilan spiraaleista.



Kuva 12. Savukaasuohjaimia ja nuohoustyökaluja.

Tässä vaiheessa käännetään poltin kokonaan oikealle ja päästään ottamaan kattilan vasemmanpuolinen ovi auki. Kun vasemmaltakin puolelta on spiraalit poistettu, voidaan aloittaa varsinainen nuohous, mihin käytetään omaa työkalua, pyöreää teräsharjaa pitkällä varrella. Tämä ”rassi” näkyy kuvassa 12 spiraalien oikealla puolella turkillä. Tuliputkien puhdistuksen jälkeen puhdistetaan tulipesä samalla metodilla eli harjataan seinämät teräsharjalla jolloin saadaan irtoamaan mahdollisimman suuri osa kerrostumista. Kun tuliputket ja tulipesä on puhdistettu, on kääntökammion vuoro. Kattilan takaosassa on pieni, neljällä pultilla kiinnitetty laippa, joka johtaa kääntökammion pohjalle, jonne ei oikeastaan pääse siivoamaan kuin kädellä ja jollakin pienellä purkillä tai käyttäen pölynimuria. Kuvissa 13 ja 14 näkyy tulipesä ja tuliputket nuohouksen jälkeen.





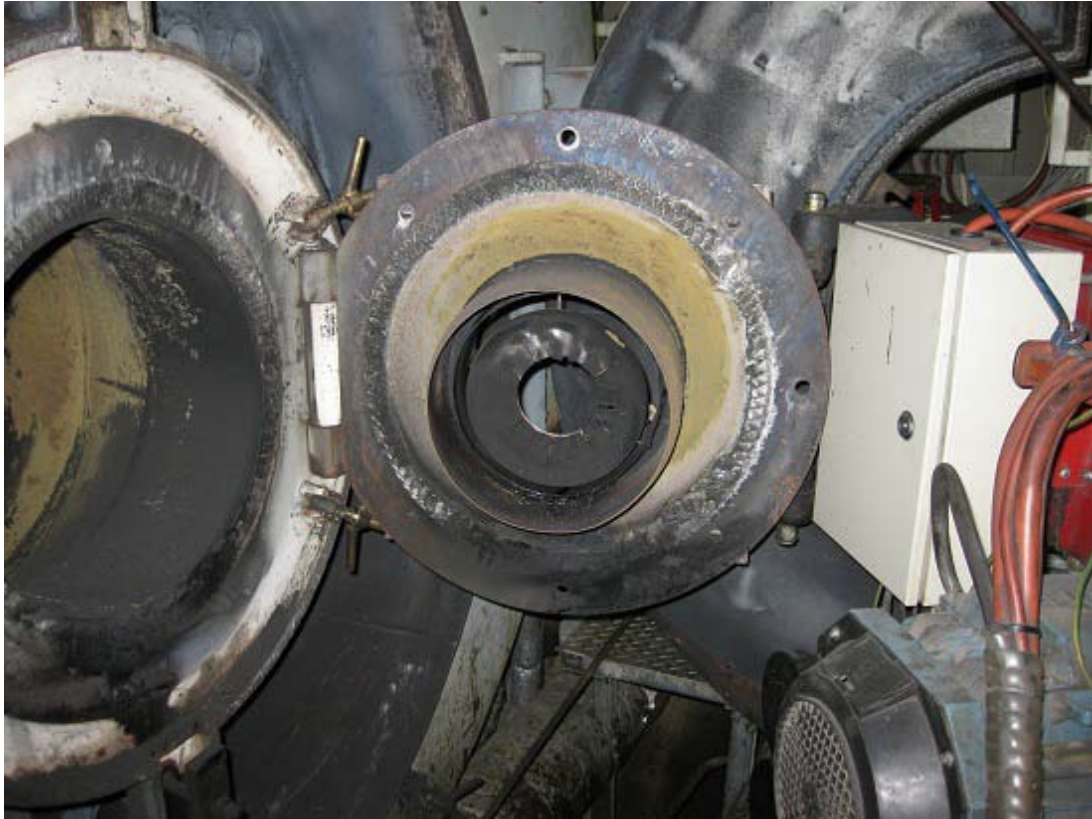
Kuva 13. Tuliputket ja tulipesä nuohouksen jälkeen.



Kuva 14. Tulipesä ja kääntökammion seinä.



Kun kaikki on valmista, laitetaan spiraalit takaisin ja ovet kiinni. Tämän jälkeen on polttimen vuoro, tarkistetaan palopelti, kuvassa 15 keskellä, mikäli se on liian kars-  
tainen, vaihdetaan puhdas tilalle.



Kuva 15. Palopää ja palopelti.

Ohjauspelti on asennettava tarkasti keskelle ja oikealle syvyydelle, muuten liekki ei syty tai se palaa huonosti. Tässä vaiheessa laitetaan polttimen sisempi kiinnityslaippa kiinni ja ruuvataan kiinnityspultit paikalleen. Tarkistetaan polttimen suuttimien kunto ja tarvittaessa laitetaan uudet. Puhdistetaan sytytyskärjet, tarkistetaan niiden kunto ja asento, tarvittaessa vaihdetaan tai säädetään uusiksi. Testataan polttimen laipassa olevan rajakytkimen hälytys, laitetaan poltin kiinni ja suljetaan pikalukot, minkä jälkeen asetetaan liekkivahti takaisin. Kuvassa 16 näkyvässä kattilan ohjauskaapissa on indikointivalo eri hälytyksille, joita on hyvä testata tämän huollon yhteydessä. Kun poltin on kiinni, laitetaan polttimen vaihevalintakytkin takaisin käyttöasentoon ja kytketään polttimen pääkytkin päälle. Tässä vaiheessa tulee suorittaa koeajo, varmistaa, että automatiikka toimii ja kattilan ovet ovat tiukasti kiinni eikä pakokaasuja vuoda mistään. Nyt voi ryhtyä loppusiivoukseen.



Kuva 16. Kattilalaitoksen ohjauskaapit.

Polttoaineen vaihdos on vaikuttanut nuohoukseen sillä tavalla, että nyt puhdistuksen yhteydessä kattilasta tulee ulos noin 1,5 litraa sedimenttiä hiutaleiden muodossa, aikaisemmin määrä oli 10-9 litraa tuhkaa, mikä myös johti koko kattilahuoneen likaantumiseen. Polttimeen suuttimet oli vaihdettava kerran vuodessa. Palopellin vaihto puhtaaseen oli jokaviikkoinen rutiini, nyt siihen ei ole tarvetta. Kuvassa 17 homma valmiina, kaikki luukut kiinni ja laitos toimintavalmiina.



Kuva 17. Kattila ovet kiinni

### 8.2.6 Kattilan vuosittainen tarkastus.

Oikeastaan tämä on kaikkien huoltojen yhteenveto. Kaikki työt on ajoitettu niin, että lopussa tarvitsee vain tarkistaa listalta ja tehdä loput. Listassa on seuraavat työt: kattilan puhdistus, tulipesän puhdistus, vesipuolen tarkistus, onnistuu vain telakalla, varoventtiilien tarkistus, pumppujen automatiikan tarkistus ja samalla pumppujen kytkimien ja laakereiden tarkistus, säätö- ja valvontalaitteiden testaus, vesilasien kunto-tarkistus, kattilan kiinnityspulttien tarkistus ja muiden pulttien kiristys. Polttoaineen vaihto ei oikeastaan vaikuttanut tämän työn suoritukseen.

Loppujen lopuksi kattila on aika helppokäyttöinen ja huoleton, mikäli kaikki edellä mainitut huoltotyöt on tehty kunnolla ja ajoissa.

## 8.3 Kustannusvaikutukset

Polttoaineen vaihdoksen kustannusvaikutukset näkyvät selkeimmin, kuten arvata saattaa, polttoainekustannuksien nousuna. M/S Birka Traderilla ja samantyyppisissä aluksissa, joissa höyrynkulutus on verrattain pientä ja satama-ajat lyhyitä, ei polttoainekustannusten nousu kattilan polttoaineen osalta ole kovinkaan suuri. Polttoaineen vaihdoksen myötä huoltokustannukset ovat puolestaan pienentyneet, vaikka tätä on esimerkiksi työtuntien osalta hankala laskea, mikä kompensoi hieman kasvaneita polttoainekustannuksia.

### 8.3.1 Polttoainekustannukset

Polttoaineen kulutusta on erittäin hankala laskea tarkasti, sillä polttimessa ei ole erillistä kulutusmittaria, eikä eri tehoalueiden tunnit tallennu erikseen. Selkeyden vuoksi on polttoainekustannusten vertailu suoritettu 50 litran kulutuksella tunnissa. AMOS-ohjelman huoltohistoriasta poimittujen, viimeisten kolmen vuoden tuntitietojen perusteella vuosittainen tuntimäärä on n.3580h. Näillä tiedoilla vuosittainen polttoaineen kulutus on:

$$50l/h \times 3580h/a = 179000l/a$$

Polttoaineiden hintatietojen lähteenä käytetään bunkerworld.com-sivuston antamaa päivän hintaa, 24.9.2012 Rotterdamissa. Raskasöljy (LS380) 688,50 USD/tonni ja kevytöljy (MDO) 961,50 USD/tonni. Sivustolta ei selviä kyseisten polttoaineiden tiheyksiä, mutta käytetään raskasöljylle tiheyttä  $0,984 \text{ t/m}^3$  ja kevytöljylle  $0,870 \text{ t/m}^3$ . Nämä tiheyksien arvot ovat Nesteen vastaavien tuotteiden tyypillisiä arvoja. Tuotetiedotteet löytyvät liitteinä, raskasöljyn LIITE 1 ja kevytöljyn LIITE 2. Seuraavaksi lasketaan näillä arvoilla kustannukset molemmille polttoaineille. /14/

Raskasöljy

$$179 \text{ m}^3/a \times 0,984 \text{ t/m}^3 = 176,1 \text{ t/a}$$

$$176,1 \text{ t/a} \times 688,50 \text{ USD/t} = \mathbf{121269,6 \text{ USD/a}}$$

Kevytöljy

$$179 \text{ m}^3/a \times 0,870 \text{ t/m}^3 = 155,7 \text{ t/a}$$

$$155,7 \text{ t/a} \times 961,50 \text{ USD/t} = \mathbf{149734,4 \text{ USD/a}}$$

Vuositasolla polttoainekustannuksissa on n. 30 000 USD ero, joka tämän hetkisen kurssin mukaan (Forex 24.9.2012) on n. 22 700 EUR. Uransa alkupuolella olevan konemestarin silmissä, jonka tutkinto on vielä sinettiä vaille, tämä summa näyttää suurelta sillä onhan se melkein puolet vuosituloista, mutta merenkulkubisneksessä liikkuviin summiin verrattuna se on häviävän pieni. /15/

### 8.3.2 Huoltokustannukset

Polttoaineen vaihdon vaikutuksia huoltokustannuksiin on varsin hankalaa laskea tarkasti, sillä suurin osa kustannuksista on huoltoihin käytettyä aikaa, mitä ei seurata erikseen. Huoltotöihin käytetyt työtunnit, varsinkin toimintahäiriöistä johtuvat ylimääräiset huoltotyöt ovat vähentyneet vaihdoksen myötä. Toimintavarmuus on parantunut ja polttoaineesta johtuvat ongelmat, joita raskasöljykäytössä oli aika usein, ovat käytännössä historiaa. Varaosakustannukset eivät raskasöljykäytössäkään olleet kovin suuret, kuluvin osina olivat lähinnä polttoainesuuttimet ja polttoainepumpun akselitiiviste. Nämä osat ovat toki kulutusosia myös kevytöljykäytössä mutta vaihtoväli on pidentynyt huomattavasti. Lopputulos huoltokustannuksien osalta on, että suurin säästö tulee huoltotöihin käytetyssä ajassa ja käyttöhenkilökunnan mielialassa

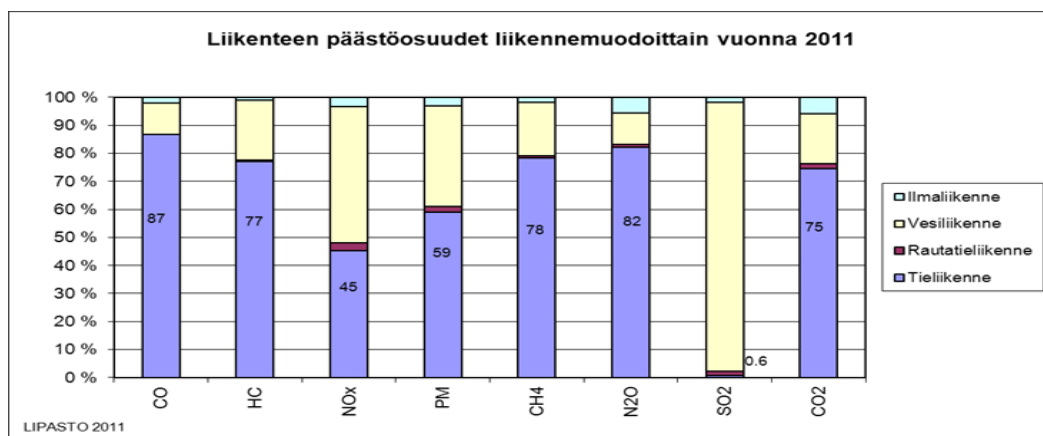
vähentyneiden työajan ulkopuolisten hälytysten johdosta, varaosakustannuksien säästöjen jäädessä marginaalisiksi.

#### 8.4 Ympäristövaikutukset

Päästöjen pienentymisellä on aina positiivinen vaikutus ympäristöön. Tämän opinäytetyön aiheena olevan polttoainevaihdon vaikutus saattaa tuntua mitättömältä verrattuna esimerkiksi vuonna 2015 voimaan astuvan rikkidirektiivin ympäristövaikutuksiin. Kaikki on kuitenkin kotiinpäin, sillä kuten taulukosta 1 voidaan todeta, ovat vesiliikenteen rikkipäästöt selvästi korkeimmat. Parhaasta ratkaisusta päästöjen pienentämiseen löytyy varmasti lukemattomia mielipiteitä, mutta nyt kun säännösten voimaan astuminen on varmistunut, on vaihtoehtoista jokin valittava.

##### 8.4.1 Päästömäärien vertailua

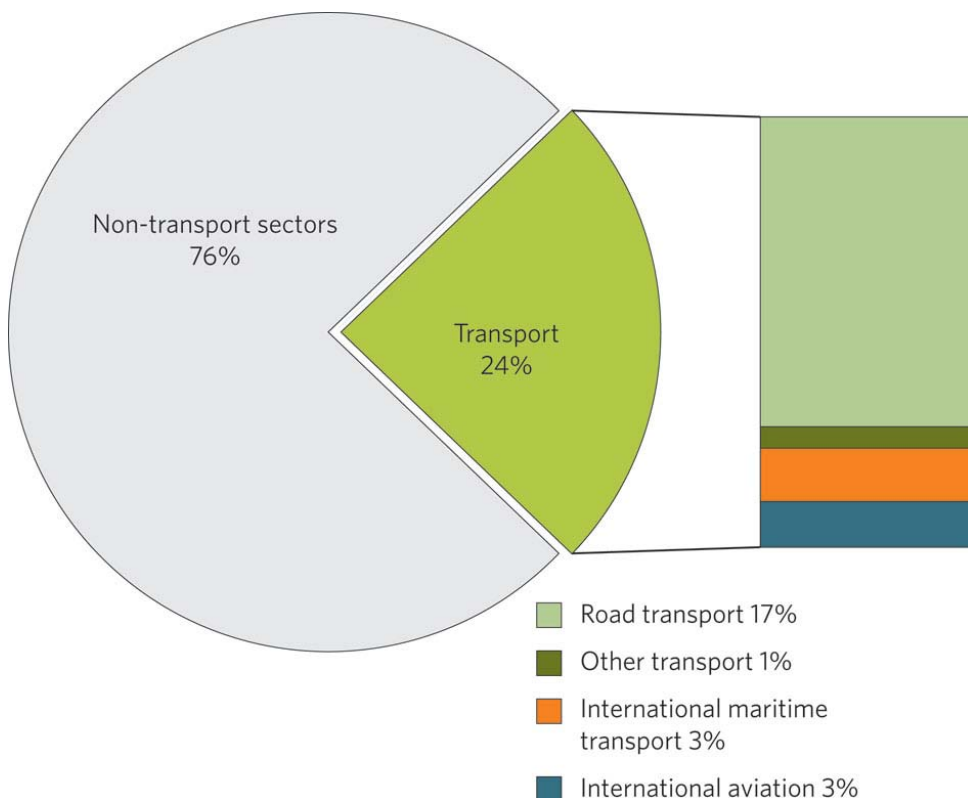
Eri liikennemuotojen ja teollisuudenalojen päästömäärät ovat olleet mediassa esillä nyt kun EU:n rikkidirektiivi on herättänyt keskustelua merenkulun päästörajoituksista ja niiden lieveilmiöistä. Merenkulun päästöistä puhuttaessa voidaan käyttää erilaisia vertailupohjia, joita seuraavien sivujen taulukot havainnollistavat. Vertailupohjaa vaihtamalla voi päästöistä ja päästömääristä saada hyvinkin erilaisia käsityksiä. Taulukossa 1 on esitetty kotimaanliikenteen päästöosuuksia vuodelta 2011 ja siitä on helppo todeta vesiliikenteen johtava asema rikki- ja typenoksidipäästöjen osalta.



Taulukko 1. Päästöjakauma eri kuljetusmuotojen välillä kotimaassa vuonna 2011.

Tuloksissa on huomioitu kaikki liikenne eikä pelkästään tavarankuljetus, mutta esimerkiksi huviveneilyn rikkipäästöt verrattuna merikuljetuksiin ovat mitättömiä. Tie liikenteen osuus muiden päästöjen osalta on selkeästi suurin.

Toinen tapa tarkastella merenkulun päästöjä, on verrata sen osuutta kasvihuonepäästöistä kokonaisuudessa. Taulukko 2 esittää tavarankuljetusten osuutta kasvihuonepäästöistä Euroopan Ympäristökeskuksen (EEA) jäsenvaltioiden alueella. Jäsenvaltioihin kuuluu EU:n 27 jäsenmaan lisäksi Islanti, Norja, Sveitsi, Liechtenstein ja Turkki. Kuljetusten aiheuttamat päästöt on eritelty vielä eri kuljetusmuotojen välillä, josta voi todeta merikuljetusten olevan 3%:a. Luku vaikuttaa pieneltä verrattuna esimerkiksi tiekuljetusten päästöihin, mikä voisi pistää miettimään merenkulun päästöihin liittyvän keskustelun mittasuhteita. Mutta uusissa säädöksissä on kyse rikkipäästöistä ja niitä ei tässä kuvassa eritellä. Toisaalta luvut voivat muuttua mikäli uusien määräysten myötä kuljetuksia siirretään mereltä maalle kustannussyistä. /17/

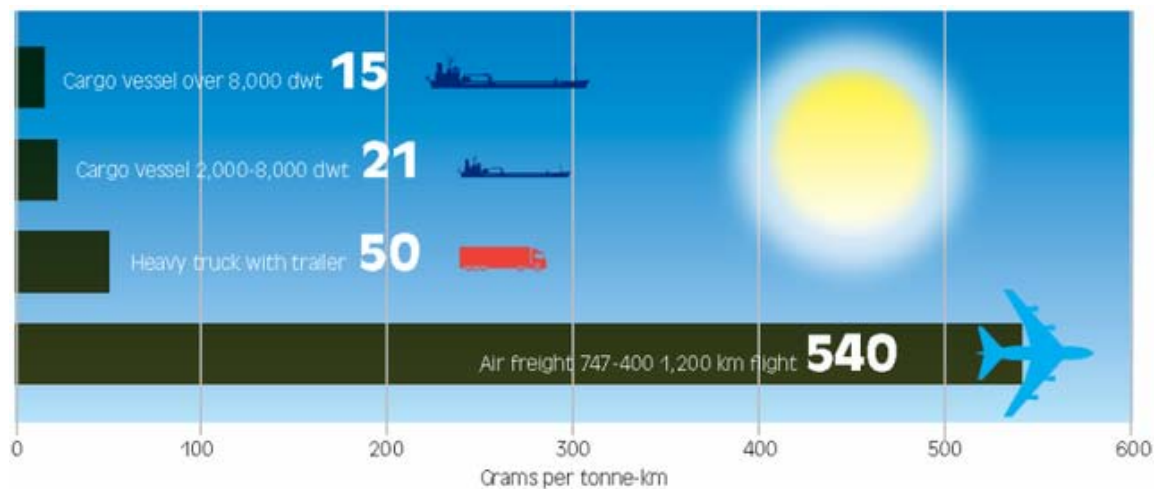


Taulukko 2. Kuljetusten osuus kasvihuonepäästöistä Euroopassa. /18/

Merikuljetusten päästömääriä voidaan verrata myös kuljetetun tavarán määrään. Tällä tavalla, kuten taulukko 3 osoittaa, saadaan merikuljetusten aiheuttamat päästöt ai-



van uuteen valoon verrattuna maa- ja ilmakuljetuksiin. Ilmakuljetus on selkeästi eniten CO<sub>2</sub>-päästöjä aiheuttava kuljetusmuoto, mutta samalla kaikkein nopein. Meriteitse saadaan kuljetettua suuria määriä kerralla, pienemmällä päästömäärällä tavaramäärää kohti, mutta kuljetuksen kesto on pitempi. Tässä kohtaa herää kysymys onko rahdeilla niin kova kiire. Osalla rahdeista varmasti on, mutta löytyy taatusti sellaisia tuotteita joita voitaisiin odotella hieman kauemmin ja näin ollen käyttää vähemmän saastuttavaa kuljetusmuotoa.



Taulukko 3. CO<sub>2</sub>-päästöjen vertailu eri kuljetusmuotojen välillä. /19/

## 8.5 Laskelmat

Laskelmien tarkoituksena on havainnollistaa päästömäärien muutosta vuositasona, polttoainelaadun vaihtumisesta johtuen. Tässä tapauksessa keskitytään vuotuisiin rikkidioksidipäästöihin. Polttoaineiden koostumusanalyysien vaikean saatavuuden takia käytetään samasta lähteestä saatuja tyypillisiä arvoja raskas- ja kevytöljylle. Laskuissa käytetään selkeyden takia kulutusta 50 l/h molemmille polttoaineille. Lasketaan 1 polttoainetonnin polttamiseen tarvittava ilmamäärä, muodostuvan savukaasun määrä ja sen koostumus sekä vertaillaan syntyvän rikkidioksidin ja hiilidioksidin määriä. Laskuissa esitetään teoreettiset ja todelliset arvot, joita erottaa toisistaan ilmamäärä. Teoreettiset tai laskennalliset arvot perustuvat täydelliseen (stökiometriseen) palamiseen, jolloin palamisilmaa tarvitaan vain palamisyhtälön edellyttämä määrä. Todellisuudessa ilmaa tarvitaan enemmän. Laskuissa käytetään ilmakerrointa 1,4, joka on yleinen arvo nestemäisille polttoaineille. Tarkka ilmakerroin edellyttää

savukaasumittauksia ko. kattilalaitoksesta, joita ei tähän työhön ollut saatavilla. Käytetyt polttoaineiden tiheydet löytyvät liitetyistä tuotetiedotteista.

### 8.5.1 Päästölasku LSFO (Raskasöljy)

Taulukossa 4 esitetään raskasöljyn sisältämien aineiden tyypillisiä arvoja painoprosentteina

Aine	Merkki	%
Hiili	C	87,8
Vety	H <sub>2</sub>	10,4
Happi	O <sub>2</sub>	0,5
Rikki	S	0,9
Vesi	H <sub>2</sub> O	0,3
Typpi	N <sub>2</sub>	0,4

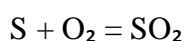
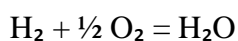
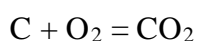
Taulukko 4. Raskasöljyn koostumus./20/

Taulukossa 5 on kuvattu polttoaineen sisältämien ainesosien palamiseen tarvittava happimäärä ja niistä muodostuneiden savukaasujen määrä.

	Moolimassa M	Massa m	Ainemäärä n	O <sub>2</sub> - tarve	Savukaasut kmol/t pa			
Aine	kg/kmol	kg/t pa	kmol/t pa	kmol/t pa	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
C	12	878	73,17	73,17	73,17			
H <sub>2</sub>	2	104	52	26		52		
O <sub>2</sub>	32	5	0,16	-0,16				
S	32	9	0,28	0,28			0,28	
H <sub>2</sub> O	18	3	0,17	0		0,17		
N <sub>2</sub>	28	4	0,14	0				0,14
				99,29	73,17	52,17	0,28	373,66

Taulukko 5. Hapen tarve ja savukaasut

Palamisytälöt:



Ainemäärän kaava:

$$n = \frac{Massa}{Moolimassa} = \frac{m}{M}$$



Teoreettinen ilman tarve

$$L_0 = \frac{100}{21} * O_2 \text{ tarve} = \frac{100}{21} * 99,29 \text{ kmol}/t \text{ pa} = \mathbf{472,8 \text{ kmol}/t \text{ pa}}$$

jossa  $\frac{100}{21}$  on ilman koostumuskerroin 21 % happea ja 79 % typpeä.

Typen määrä tarvittavasta ilmasta

$$N_2 = 0,79 * 472,8 \text{ kmol}/t \text{ pa} = \mathbf{373,5 \text{ kmol}/t \text{ pa}}$$

Tämä lisätään taulukon 5 viimeiseen sarakkeeseen typen määrä savukaasuista.

Tässä vaiheessa muutetaan aineiden määrät kilogrammoiksi, jotta laskuissa pysyy paremmin kärryillä. Tämä tapahtuu kertomalla ainemäärät niiden moolimassalla.

Tarvittava teoreettinen ilmamäärä kilogrammoina:

$$O_2 = 99,29 \text{ kmol}/t \text{ pa} * 32 \text{ kg}/\text{kmol} = \mathbf{3177,3 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

$$N_2 = 373,5 \text{ kmol}/t \text{ pa} * 28 \text{ kg}/\text{kmol} = \mathbf{10458 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

$$O_2 + N_2 = L_0 = \mathbf{13635,3 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

Täten stökiometrinen ilman ja polttoaineen suhde on:

$$\frac{L_0}{pa} = \frac{13635,3}{1000} = \mathbf{13,64}$$

Seuraavaksi lasketaan todellinen ilmamäärä johon sisältyy ilmakertoimen  $\lambda = \text{lambda}$  suuruinen määrä yli-ilmaa. Tässä tapauksessa on käytetty arvoa 1,4.

Todellinen ilmamäärä

$$L = L_0 * \lambda = 13635,3 \text{ kg}/t \text{ pa} * 1,4 = \mathbf{19089,4 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

Savukaasut

Poimitaan taulukosta 5 teoreettisen savukaasun ainesosien määrät ja muutetaan ne selkeyden vuoksi kilogrammoiksi kertomalla moolimassalla. Hiilidioksidin mooli-

massa on 44 kg/kmol ja rikkidioksidin 64 kg/kmol. Todellisuudessa savukaasut sisältävät myös polttoaineessa olevia kiinteitä hiukkasia, kuten tuhkaa ja metalleja. Määrät ovat kuitenkin niin pieniä, ettei niitä ei ole huomioitu näissä laskuissa.

Savukaasujen sisältämät ainesosat kilogrammoina:

$$CO_2 = 73,17 \text{ kmol}/t \text{ pa} * 44 \text{ kg}/\text{kmol} = \mathbf{3219,5 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

$$H_2O = 52,17 \text{ kmol}/t \text{ pa} * 18 \text{ kg}/\text{kmol} = \mathbf{939,1 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

$$SO_2 = 0,28 \text{ kmol}/t \text{ pa} * 64 \text{ kg}/\text{kmol} = \mathbf{17,9 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

$$N_2 = 373,66 \text{ kmol}/t \text{ pa} * 28 \text{ kg}/\text{kmol} = \mathbf{10462,5 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

Teoreettinen savukaasumäärä

$$G_0 = CO_2 + H_2O + SO_2 + N_2 = \mathbf{14639 \text{ kg}/t \text{ pa}}$$

Todellinen savukaasumäärä (sisältää yli-ilman)

$$\begin{aligned} G &= G_0 + L_0 * (\lambda - 1) = 14639 \text{ kg}/t \text{ pa} + 13635,3 \text{ kg}/t \text{ pa} * (1,4 - 1) \\ &= \mathbf{20093,1 \text{ kg}/t \text{ pa}} \end{aligned}$$

Savukaasujen koostumus prosentteina:

$$X_{CO_2} = \frac{CO_2}{G} = \frac{3219,5}{20093,1} * 100 = \mathbf{16,02\%}$$

$$X_{H_2O} = \frac{H_2O}{G} = \frac{939,1}{20093,1} * 100 = \mathbf{4,67\%}$$

$$X_{SO_2} = \frac{SO_2}{G} = \frac{17,9}{20093,1} * 100 = \mathbf{0,09\%}$$

$$X_{N_2} = \frac{\lambda * N_2}{G} = \frac{1,4 * 10462,5}{20093,1} * 100 = \mathbf{72,9\%}$$

$$X_{O_2} = \frac{(\lambda - 1) * O_2}{G} = \frac{(1,4 - 1) * 3177,3}{20093,1} * 100 = \mathbf{6,33\%}$$

Raskasöljykäytössä syntyvät hiili- ja rikkidioksidipäästöt vuodessa. Tämän laskemiseksi tarvitaan polttimen käyntitunnit, 3580h/vuosi, vuodessa kulutetun polttoaineen määrä ja polttoaineen tiheys. Käytetään polttimelle kulutusta 50 l/h ja tiheydelle arvoa 984kg/m<sup>3</sup>.

Vuotuinen kulutus

$$3580 \text{ h/a} * 50 \text{ l/h} = 179000 \text{ l/a} = \mathbf{179 \text{ m}^3/\text{a}}$$

Muutetaan kulutus tonneiksi

$$179 \text{ m}^3/\text{a} * 0,984 \text{ t/m}^3 = \mathbf{176,1 \text{ t/a}}$$

Hiilidioksidipäästöt vuodessa

$$CO_2/\text{a} = 3219,5 \text{ kg/t pa} * 176,1 \text{ t pa/a} = \mathbf{566954 \text{ kg/a}}$$

Rikkidioksidipäästöt vuodessa

$$SO_2/\text{a} = 17,9 \text{ kg/t pa} * 176,1 \text{ t pa/a} = \mathbf{3152,2 \text{ kg/a}}$$

## 8.5.2 Päästölasku MDO

Taulukossa 6 esitetään kevytöljyn sisältämien aineiden tyypillisiä arvoja painoprosentteina

Aine	Merkki	%
Hiili	C	86,2
Vety	H <sub>2</sub>	13,7
Happi	O <sub>2</sub>	0
Rikki	S	0,1
Vesi	H <sub>2</sub> O	0,01
Typpi	N <sub>2</sub>	0,02

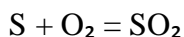
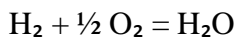
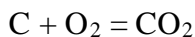
Taulukko 6. Kevytöljyn koostumus./21/

Taulukossa 7 on kuvattu polttoaineen sisältämien ainesosien palamiseen tarvittava happimäärä ja niistä muodostuneiden savukaasujen määrä.

	Moolimassa M	Massa m	Ainemäärä n	O <sub>2</sub> - tarve	Savukaasut kmol/t pa			
Aine	kg/kmol	kg/t pa	kmol/t pa	kmol/t pa	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
C	12	862	71,83	71,83	71,83			
H <sub>2</sub>	2	137	68,5	34,25		68,5		
O <sub>2</sub>	32	0	0	0				
S	32	1	0,031	0,031			0,031	
H <sub>2</sub> O	18	0,1	0,006	0		0,006		
N <sub>2</sub>	28	0,2	0,007	0				0,007
				106,11	71,83	68,5	0,031	399,2

Taulukko 7. Hapen tarve ja savukaasut

Palamisyhtälöt:



Ainemäärän kaava:

$$n = \frac{Massa}{Moolimassa} = \frac{m}{M}$$

Teoreettinen ilman tarve

$$L_0 = \frac{100}{21} * O_2 \text{ tarve} = \frac{100}{21} * 106,11 \text{ kmol/t pa} = \mathbf{505,3 \text{ kmol/t pa}}$$

jossa  $\frac{100}{21}$  on ilman koostumuskerroin 21 % happea ja 79 % typpeä.

Typen määrä tarvittavasta ilmasta

$$N_2 = 0,79 * 505,3 \text{ kmol/t pa} = \mathbf{399,2 \text{ kmol/t pa}}$$

Tämä lisätään taulukon 7 viimeiseen sarakkeeseen typen määrä savukaasuista.

Tässä vaiheessa muutetaan aineiden määrät kilogrammoiksi, jotta laskuissa pysyy paremmin kärryllä. Tämä tapahtuu kertomalla ainemäärät niiden moolimassalla.

Tarvittava teoreettinen ilmamäärä kilogrammoina:

$$O_2 = 106,11 \text{ kmol/t pa} * 32 \text{ kg/kmol} = \mathbf{3395,5 \text{ kg/t pa}}$$

$$N_2 = 399,2 \text{ kmol/t pa} * 28 \text{ kg/kmol} = \mathbf{11177,6 \text{ kg/t pa}}$$

$$O_2 + N_2 = L_0 = \mathbf{14573,1 \text{ kg/t pa}}$$

Täten stökiometrinen ilman ja polttoaineen suhde on:

$$\frac{L_0}{pa} = \frac{14573,1}{1000} = \mathbf{14,57}$$

Seuraavaksi lasketaan todellinen ilmamäärä johon sisältyy ilmakertoimen  $\lambda = \text{lambd}$ a suuruinen määrä yli-ilmaa. Tässä tapauksessa on käytetty arvoa 1,4.

Todellinen ilmamäärä

$$L = L_0 * \lambda = 14573,1 \text{ kg/t pa} * 1,4 = \mathbf{20402,3 \text{ kg/t pa}}$$

Savukaasut

Poimitaan taulukosta 7 teoreettisen savukaasun ainesosien määrät ja muutetaan ne selkeyden vuoksi kilogrammoiksi kertomalla moolimassalla. Hiilidioksidin moolimassa on 44 kg/kmol ja rikkidioksidin 64 kg/kmol. Todellisuudessa savukaasut sisältävät myös polttoaineessa olevia kiinteitä hiukkasia, kuten tuhkaa ja metalleja. Määrät ovat kuitenkin niin pieniä, ettei niitä ei ole huomioitu näissä laskuissa.

Savukaasujen sisältämät ainesosat kilogrammoina:

$$CO_2 = 71,83 \text{ kmol/t pa} * 44 \text{ kg/kmol} = \mathbf{3160,5 \text{ kg/t pa}}$$

$$H_2O = 68,5 \text{ kmol/t pa} * 18 \text{ kg/kmol} = \mathbf{1233 \text{ kg/t pa}}$$

$$SO_2 = 0,031 \text{ kmol/t pa} * 64 \text{ kg/kmol} = \mathbf{2 \text{ kg/t pa}}$$

$$N_2 = 399,2 \text{ kmol/t pa} * 28 \text{ kg/kmol} = \mathbf{11177,6 \text{ kg/t pa}}$$

Teoreettinen savukaasumäärä

$$G_0 = CO_2 + H_2O + SO_2 + N_2 = \mathbf{15573,1 \text{ kg/t pa}}$$

Todellinen savukaasumäärä (sisältää yli-ilman)

$$G = G_0 + L_0 * (\lambda - 1) = 15573,1 \text{ kg/t pa} + 14573,1 \text{ kg/t pa} * (1,4 - 1) \\ = \mathbf{21402,3 \text{ kg/t pa}}$$

Savukaasujen koostumus prosentteina:

$$X_{CO_2} = \frac{CO_2}{G} = \frac{3160,5}{21402,3} * 100 = \mathbf{14,77\%}$$

$$X_{H_2O} = \frac{H_2O}{G} = \frac{1233}{21402,3} * 100 = \mathbf{5,76\%}$$

$$X_{SO_2} = \frac{SO_2}{G} = \frac{2}{21402,3} * 100 = \mathbf{0,009\%}$$

$$X_{N_2} = \frac{\lambda * N_2}{G} = \frac{1,4 * 11177,6}{21402,3} * 100 = \mathbf{73,12\%}$$

$$X_{O_2} = \frac{(\lambda - 1) * O_2}{G} = \frac{(1,4 - 1) * 3395,5}{21402,3} * 100 = \mathbf{6,35\%}$$

Kevytöljykäytössä syntyvät hiili- ja rikkidioksidipäästöt vuodessa. Tämän laskemiseksi tarvitaan polttimen käyntitunnit, 3580h/vuosi, vuodessa kulutetun polttoaineen määrä ja polttoaineen tiheys. Käytetään polttimelle kulutusta 50 l/h ja tiheydelle arvoa 870 kg/m<sup>3</sup>.

Vuotuinen kulutus

$$3580 \text{ h/a} * 50 \text{ l/h} = 179000 \text{ l/a} = \mathbf{179 \text{ m}^3/\text{a}}$$

Muutetaan kulutus tonneiksi

$$179 \text{ m}^3/\text{a} * 0,87 \text{ t/m}^3 = \mathbf{155,7 \text{ t/a}}$$

Hiilidioksidipäästöt vuodessa

$$CO_2/\text{a} = 3160,5 \text{ kg/t pa} * 155,7 \text{ t pa/a} = \mathbf{492089,9 \text{ kg/a}}$$

Rikkidioksidipäästöt vuodessa

$$SO_2/\text{a} = 2 \text{ kg/t pa} * 155,7 \text{ t pa/a} = \mathbf{311,4 \text{ kg/a}}$$

### 8.5.3 Yhteenveto laskelmista

Laskelmien tarkoituksena on selventää ja havainnollistaa polttoaineen vaihdoksesta johtuvat muutokset päästöjen koostumuksessa ja määrissä.

On tietenkin selvää, että suurin muutos näkyy rikkipäästöjen määrässä sillä aiemmin käytetty raskasöljy sisälsi rikkiä 1,0 % ja nyt käytettävä kevytöljy 0,1 %. Taulukosta 8, jossa esitetään 1 polttoainetonnin polttamisesta syntyvien savukaasujen koostumus prosentteina, voidaan todeta erojen olevan muilta osin pieniä.

	LSFO	MDO	
xCO <sub>2</sub>	16,02	14,77	%
xH <sub>2</sub> O	4,67	5,76	%
xSO <sub>x</sub>	0,09	0,009	%
xNO <sub>2</sub>	72,9	73,12	%
xO <sub>2</sub>	6,33	6,35	%

Taulukko 8. Savukaasujen koostumus prosentteina.

Päästömäärien pienentymisen mittasuhte saadaan parhaiten havainnollistettua vertailemalla polttoaineita vuotuisten päästömäärien avulla. Taulukossa 9 on esitetty polttoaineiden hiili- ja rikkidioksidipäästöjen vuotuiset määrät, ja siitä voidaan todeta että kevytöljyn rikkidioksidipäästöt ovat vain 10 % raskasöljyn vastaavista. Tämän kokoluokan muutos päästöissä on merkittävää, vaikkakin kyseessä on vain kattilalaitoksen aiheuttamat päästöt jossa määrät verrattuna laivojen propulsiolaitteiden aiheuttamiin päästöihin ovat pieniä. Vastaavat määräykset ovat kuitenkin jo tulossa koskemaan kaikkia laivoilla käytettäviä polttoaineita jolloin päästömäärien pienentymisessä päästään aivan uusiin mittasuhteisiin.

	LSFO	MDO
<b>CO<sub>2</sub></b>		
kg/vuosi	566954	492089,9
<b>SO<sub>2</sub></b>		
kg/vuosi	3152,2	311,4

Taulukko 9. Vuotuisten hiili- ja rikkidioksidipäästöjen vertailu

## 9 UUDET INNOVAATIOT

Merenkulun päästömääräysten kiristyminen ja polttoaineen kallistuminen, ajavat laitevalmistajat suunnittelupöydän ääreen kehittelemään laitteitaan, jotta ne saadaan vastaamaan nykypäivän vaatimuksia. Päästöjen pienentäminen on tärkeää ja nyky-yhteiskunnassa aiheesta on tullut kova myyntivaltti. Mikäli laitevalmistaja pystyy selkeästi todistamaan laitteidensa vähentyneet päästöt ja jos sokerina pohjalla on vielä selvä säästö käyttökustannuksissa, on menekki taattu.

Fossiilisten polttoaineiden käytössä rikki­päästöt kulkevat tiukasti käsi kädessä kulutuksen kanssa sillä polttoaineen koostumus määrää poltosta syntyvät päästöt. Vähä­rikkisten polttoaineiden hinta on korkeampi ja saatavuus voi myös vaihdella eri alueille. Typenoksidien (NOx) määrään savukaasuissa voidaan puolestaan vaikuttaa palotapahtumaa säätelemällä. Juuri tähän palotapahtuman optimointiin on poltinvalmistajien taholta panostettu ja tuloksena on syntynyt itsediagnostiikalla ja jatkuvalla säädöllä varustettuja yksiköitä. Uuteen laitteistoon sijoittaminen kannattaa varmasti pitkässä juoksussa sillä valmistajat lupaavat tuntuvia säästöjä polttoaineen kulutukseen. Kattilavalmistajien osalta kehitystyö on suuntautunut hyötysuhteen kasvattamiseen, niin perinteisissä kattiloissa kuin lämmöntalteenottojärjestelmissä.

Laivateollisuuden avartaessa katsetaan kaasukäyttöisten alusten suuntaan päästöjen pienentämiseksi, ovat myös poltinvalmistajat vastanneet huutoon. Raskas- ja kevytöljypolttimien sekä näiden yhdistelmäpolttimien rinnalle on tarjolla kaasuöljy-yhdistelmäpolttimia. Automatisoinnin sekä tietokoneohjatun säätölaitteiston ansiosta polttoaineen vaihto kaasusta öljyyn ja päinvastoin käy ”lennosta” eli mitään manuaalisia säätöjä ei tarvitse suorittaa.

Seuraavassa katsaus eräiden laitevalmistajien viimeisimpiin valtteihin.

### 9.1 Aalborg Industries

Aalborg Industries on yksi johtavista kattila- ja poltinvalmistajista, joka on vuodesta 1919 lähtien valmistanut yli 38 000 kattilaa ja lämmöntalteenottoyksikköä meriteolli-



suudelle. 50-luvulta lähtien Aalborg on valmistanut myös polttimia ja hankki itselleen 80-luvun lopulla tanskalaisen poltinvalmistajan Dansk Fyrings Teknik A/S-yhtiön ja sen tuotemerkin KB<sup>TM</sup>, lisäten näin markkinaosuuttaan. Vuosien saatossa Aalborg on hankkinut itselleen useita alan yrityksiä, mukaan lukien raumalaisen Pipemasters Oy:n jonka tuotemerkki UNEX esiintyy pääosissa tässä opinnäytetyössä. Kaikkien Aalborgin hankkimien kattilavalmistajien tuotemerkkien (SUNROD<sup>TM</sup>, UNEX<sup>TM</sup> ja WIESLOCH<sup>TM</sup>) parhaat ominaisuudet yhdistyvät MISSION<sup>TM</sup> brändissä. Vuonna 1995 julkaistu konsepti on kasvanut tuoteperheeksi jonka viimeisimpiä tulokkaita ovat v. 2007 esitelty MISSION<sup>TM</sup> TCi-sarja sekä ohjausjärjestelmä MISSION<sup>TM</sup> Steam Pilot jonka kehittäminen ja testaus saatiin valmiiksi 2010.

MISSION<sup>TM</sup> TCi-sarja (Turbo Clean Intelligent) on uuden sukupolven kattila joka on itsepuhdistava, joten vesipesua tai ”nokitusta” ei tarvita jolloin myöskään valmistaa tuotetta eli höyryä ei mene hukkaan puhdistukseen. TCi-sarjan myötä kattiloiden tehokkuus on huomattavasti parantunut verrattuna saman teholuokan aikaisempiin malleihin.

MISSION<sup>TM</sup> Steam Pilot on älykäs, itsediagnostiikalla varustettu tietokonepohjainen ohjausjärjestelmä joka on suunniteltu laivaympäristöön soveltuvaksi. Kosketusnäyttöinen keskusyksikkö, havainnollistaa kaikki polttimen toiminnot ja prosessin vaiheet sekä helpottaa kattilalaitoksen käyttöä. Koko prosessia pystytään seuraamaan paikallisesti näytöltä, valvontahuoneesta ja myös internetin välityksellä.

Aalborg Industries:n KB<sup>TM</sup> poltinvalikoimasta löytyy malleja 550kW:sta aina 46,9 MW asti. Pääosin pyöriväkuppisia polttimia sisältävästä mallistosta löytyy myös paineöljypolttimia raskas- ja kevytöljylle yhdistelmäpolttimina sekä raskas-, kevyt- ja jäteöljy-yhdistelmäpoltin KB-W<sup>TM</sup>. Kaasuöljy-yhdistelmäpoltinta ei sen sijaan Aalborgin mallistosta löydy. /22/

## 9.2 Oilon International Oy

Oilon International Oy on vuonna 1961 Lahdessa perustettu yksityinen perheyhtiö joka valmistaa ensisijassa öljy-, kaasu ja yhdistelmäpolttimia kokoluokassa 12-

63 000 kW. Mallisto kattaa niin kiinteistölämmityksen kuin teollisuudenkin tarpeet. Laivapolttimia Oilon on valmistanut vuodesta 1963. Vuodesta 1961 tähän päivään toiminta on laajentunut merkittävästi, niin tuotteiden kirjossa kuin maantieteellisesti. Tuotantoa on Lahden ja Hollolan lisäksi Kiinassa, myyntiä hoitamassa on tytäryhtiötä Venäjällä, Saksassa, Kiinassa ja Brasiliassa. Oilon valmistaa polttimien ja niiden ohjaus-, ja apulaitteiden lisäksi aurinkoenergia- ja maalämpölaitteita.

Tuotekehittely ja testaus tapahtuvat kotimaassa ja siihen yhtiö on panostanut 5 % liikevaihdostaan alusta asti. Oilonin kehityskeskuksesta löytyy standardin mukaiset tulipesät polttimien testaukseen 20 kW:sta 8 MW:in asti. Yhtiön kehitystyön keskeisiä kohteita ovat muun muassa päästöjen pienentäminen, polttimien hyötysuhteen parantaminen, sähköinen seossäätö sekä uusiutuvat energialähteet ja niiden hyödyntäminen. Oilon käyttää 3D-mallinnusta suunnittelussa mikä mahdollistaa tuotteiden tarkastelun ennen valmistuksen aloittamista. Tätä voidaan myös hyödyntää asennuskohteiden tutkimiseen etukäteen. Yhtiö käyttää tuotekehittelyssään myös numeerista virtausmallinnusta (CFD = Computational Fluid Dynamics) jonka avulla voidaan tietokoneella tutkia nesteiden ja kaasujen käyttäytymistä putkistoissa ja kanavissa. Tällä tavoin voidaan optimoida putkistojen mitoitus niin polttoaineelle kuin ilmalle. CFD:n avulla saadaan tietoa sellaisistakin prosesseista joiden todentaminen muuten on erittäin hankalaa tai mahdotonta. Mallinnus on avainasemassa tavoiteltaessa puhtaampaa palamista ja sitä kautta päästöjen pienentämistä.

Oilon WiseDrive-ohjausjärjestelmä on yhtiön vastaus markkinoiden huutoon polttoainekustannusten noustessa ja päästörajoitusten kiristyessä. Järjestelmässä polttoaineen ja palamisilman seosta säädetään mekaanisen säätömoottorin sijasta elektroniisesti, jolloin säätö on tarkempaa ja sillä saavutetaan parempi hyötysuhde sekä alhaisemmat savukaasupäästöt. Suurin hyöty saavutetaan yhtiön mukaan yhdistelmäpolttimilla (kaasu/öljy) sillä järjestelmä mahdollistaa molempien polttoaineiden palamisen säätämisen optimaaliseksi. WiseDrive-järjestelmästä on tarjolla kaksi eri mallia, WD100 ja WD200, jotka poikkeavat toisistaan toimitussisällöltään. WD100 sisältää elektronisen suhdesäätöjärjestelmän jota kuvailtiin aiemmin, WD200 sisältää tämän lisäksi O<sub>2</sub>-säädön ja puhallinmoottorin kierroslukusäädön. Savukaasujen O<sub>2</sub>-taso voidaan WD200-järjestelmällä saada 2%:in kun se perinteisissä polttimissa on yleensä säädetty 4%:in. O<sub>2</sub>-säätöä varten kattilalaitoksen savukaasukanavaan on asennettu

O<sub>2</sub>-anturi joka mahdollistaa jatkuvan tarkkailun. Puhallinmoottorin kierroslukua säädetään taajuusmuuttajalla. Yhtiön julkaisemassa esimerkkilaskelmassa O<sub>2</sub>-säädöllä ja puhallinmoottorin kierroslukusäädöllä varustetulla 5 MW-kattilalaitoksella voidaan vuotuisiksi kustannussäästöiksi saada kevyellä öljyllä n. 9000€ ja maakaasulla n. 6000€. Näiden säästöjen lisäksi pienentyvät myös päästöt parantuneen hyötysuhteen ansiosta. Molempiin versioihin on saatavana lisävarusteita joilla voidaan lisätä mittauspisteitä esimerkiksi savukaasujen ja palamisilman lämpötilojen mittausta, sekä käyttökohteesta riippuen erilaisia kaukokäyttöoptioita. /23/

## 10 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen tuloksena selkein vaikutus polttoaineen vaihdoksella oli, ehkä hiukan odotetustikin, päästömääriin ja polttoainekustannuksiin. Halusimme kuitenkin selvittää asiaa hieman tarkemmin laskelmien muodossa sekä hahmottaa työn kohteena olleen aluksen kattilalaitosta, siihen liittyviä järjestelmiä ja huoltotöitä. Päästöissä ja polttoainekustannuksissa tapahtuneen muutoksen esittäminen laskelmien avulla oli mielestämme paras tapa saada mittasuhteet selville, vaikka määrät itsessään eivät kovin hurjia olleetkaan. Silti reilun 20 000 euron kasvu polttoainekustannuksissa varmasti tuntuu jossain. Laskelmien tarkkuutta olisi olennaisesti parantanut kulutusmittari polttoaineelle sekä savukaasumittaukset molemmille polttoaineille. Huoltokustannuksissa tapahtuneiden muutosten esittäminen oli verrattain hankalaa, sillä kuluvia osia ei juurikaan ole, ja näin ollen suurin säästö tulee huoltoihin käytetystä ajasta.

### 10.1 Opinnäytetyöstä

Idea tämän opinnäytetyön tekemiseen syntyi jo kesällä 2009, jolloin molemmat olimme töissä M/S Birka Traderilla II-konemestareina. Tuolloin tuli tietoon tuleva muutos määräyksiin koskien satamissa käytettäviä polttoaineita ja riemuiten otimme vastaan konepäällikön ilmoituksen siirtymisestä kevytöljyn käyttöön jo tuona ajankohtana, vaikka säädös astuisi voimaan vasta 1.1.2010. Raskasöljykäytöllä kattilalai-

tos vaati paljon enemmän huoltotyötä, kuten aikaisemmin tässä työssä on mainittu ja kevytöljyn siirtyminen tuntui melkein jouluaatolta heinäkuussa. Koulussa oli jo ollut enemmänkin puhetta opinnäytetöistä ja tässä tuntui olevan potentiaalinen ehdokas. Polttoaineen vaihdoksen vaikutukset. Aiheen keksimisen alkuhuumasta toivuttamme, aloimme kartoittamaan rajausta ja päätimme pysytellä tutussa ja turvallisessa, eli omassa laivassamme. Viiva vedettiin myös kattilalaitokseen, säännöt koskevat kaikkia satamassa käyviä koneita, koska aluksen apukoneet käyvät kevytöljyllä.

Haasteita tämän opinnäytetyön tekemiseen loivat joidenkin tietojen, kuten rahtaajalta tiedusteltujen polttoainekustannuksien ja kevytöljyn tarkan koostumuksen, hieman huono saatavuus ja eräiden aika keskeisten direktiivien lakitekstityylin lievä sekaavuus. Opinnäytetyön tekemisen ohella näihin kolmeen vuoteen on kuulunut myös muitakin iloisia asioita kuten, yksi remontoitu kerrostalohuoneisto Helsingissä, rintamamiestalo Rauman Lapissa, yksi poikalapsi ja takana on monta merimailia.

## LÄHTEET

1. EU direktiivi 2005/33/EC
2. MARPOL Annex VI, Regulation 14
3. The revised Annex VI of MARPOL, regulation 14
4. [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se)
5. The revised Annex VI of MARPOL, regulation 14
6. [www.birkacargo.com](http://www.birkacargo.com)
7. [www.birkacargo.com](http://www.birkacargo.com)
8. [www.aalborg-industries.com](http://www.aalborg-industries.com)
9. [www.oilon.com](http://www.oilon.com)
10. Alfa Laval
11. Alfa Laval ohjekirjat FOPX 609 ja PA 605
12. Häkkinen, Pentti. 1993. Laivan Koneistot. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
13. Häkkinen, Pentti. 1993. Laivan Koneistot. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
14. [www.bunkerworld.com](http://www.bunkerworld.com)
15. [www.forex.com](http://www.forex.com)
16. LIPASTO Liikenteen päästöt, 2011, [www.lipasto.vtt.fi](http://www.lipasto.vtt.fi)

17. [www.nature.com](http://www.nature.com)
18. [www.nature.com](http://www.nature.com)
19. [www.shippingandco2.org](http://www.shippingandco2.org)
20. Koskelainen L, Saarela R & Sipilä K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Ener-  
giateollisuus ry. Helsinki.
21. Koskelainen L, Saarela R & Sipilä K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Ener-  
giateollisuus ry. Helsinki.
22. [www.oilon.com](http://www.oilon.com)
23. [www.aalborg-industries.com](http://www.aalborg-industries.com)

# LIITTEET

## LIITE 1. Neste Oil raskasöljy LS380

1.7.2010

<b>TUOTETIEDOTE</b> FUEL OIL 380 1%, MARINE Raskas polttoöljy 380 RIKILLINEN  LYHENNE: FO380 1%	<b>PRODUKTDATA</b> FUEL OIL 380 1%, MARINE TUNG ELDNINGSOLJA 380  FÖRKORTNING: FO380 1%	<b>PRODUCT DATA SHEET</b> FUEL OIL 380 1%, MARINE HEAVY FUEL OIL 380  ABBREVIATION: FO380 1%
--	---	--

	Yksikkö Enhet Unit	Laaturaja Kvalitetskrav Specification		Tyypillinen arvo Typvärde Typical analysis	Määritysmenetelmä <sup>1)</sup> Testmetod <sup>1)</sup> Test method <sup>1)</sup>
		min.	max.		
Rikki <sup>2)</sup> Svavelhalt <sup>2)</sup> Sulphur content <sup>2)</sup>	p-% mass-% % m/m		1,00	0,98	EN ISO 20884 EN ISO 14596 EN ISO 8754 NM 380
Leimahduspiste <sup>3)</sup> Flampunkt <sup>3)</sup> Flash point <sup>3)</sup>	°C	65		100	EN ISO 2719
Tiheys, 15 °C Densitet vid 15 °C Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	900	990	984	EN ISO 12185
Viskositeetti, 80 °C Viskositet vid 80 °C Viscosity at 80 °C	mm <sup>2</sup> /s	61	73	66	EN ISO 3104
Viskositeetti, 50 °C (laskettu) <sup>4)</sup> Viskositet vid 50 °C (beräknad) <sup>4)</sup> Viscosity at 50 °C (calculated) <sup>4)</sup>	mm <sup>2</sup> /s	300	380	340	EN ISO 3104
Hiilijäännös, MCR Kokstal, MCR Carbon residue, MCR	p-% mass-% % m/m		18	11	EN ISO 10370
Jähmepiste Lägst flyttemperatur Pour point	°C		15	< 10	ISO 3016 ASTM D 5950
Vesi Vatten Water content	p-% mass-% % m/m		0,5	0,1	ISO 3733 ISO 10336 M
Kokonaissedimentti Sediment Total sediment	p-% mass-% % m/m		0,10	0,02	ISO 10307-1
Tuhka Askhalt Ash content	p-% mass-% % m/m		0,15	0,03	EN ISO 6245
Vanadiini Vanadin Vanadium	mg/kg		200	70	ISO 10478 M NM 122
Natrium Natrium Sodium	mg/kg		50	20	ISO 10478 M NM 122
Alumiini + pii Aluminium + silikon Aluminium + silicon	mg/kg		80	30	ISO 10478
Yhteensopivuus Kompatibilitet Compatibility			2	1	ASTM D 4740
Päästökerroin Emissionsfaktor Emissions's factor	t CO <sub>2</sub> / TJ	ilmoitetaan rapporterat reported			NM 491

Käännä

Vänd

See overleaf



## LIITE 2. Neste Oil MGO (Marine Gas Oil)

**NESTE OIL**

11.1.2011

<b>TUOTETIEDOTE</b> MARINE GAS OIL	<b>PRODUKTDATA</b> MARINE GAS OIL	<b>PRODUCT DATA SHEET</b> MARINE GAS OIL
LYHENNE: MGODMA	FÖRKORTNING: MGODMA	ABBREVIATION: MGODMA

	Yksikkö Enhet Unit	Laaturaja Kvalitetskrav Specification		Tyypillinen arvo Typvärde Typical analysis	Määrittäminen Testmetod <sup>1)</sup> Test method <sup>1)</sup>
		min.	max.		
Viskositeetti, 40 °C Viskositet vid 40 °C Viscosity at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,0	6,0	4	EN ISO 3104
Tiheys, 15 °C Densitet vid 15 °C Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>		890,0	870	EN ISO 12185 ISO 3675
Setaani-indeksi Cetanindex Cetane index		40		45	EN ISO 4264
Rikki Svavelhalt Sulphur content	p-% mass-% % m/m		0,1	0,08	EN ISO 8754 NM 380
Leimahduspiste Flampunkt Flash point	°C	61		70	EN ISO 2719
Rikkivety Dihydrogensulfid Hydrogen sulfide	mg/kg		2,0		IP 570
Happoluku Syratal Acid number	mg KOH/g		0,5		ISO 6619
Hapetuskestävyys Oxidations stabilitet Oxidation stability	g/m <sup>3</sup>		25	< 20	EN ISO 12205
Hiilijäännös 10 % pohjasta Kokstal av 10 % återstod Carbon residue on 10 % distillation residue	p-% mass-% % m/m		0,30	< 0,1	EN ISO 10370
Jähmepiste Lägsta flyttemperatur Pour Point	°C		- 0 - 6	Kesä, Summer Talvi, Winter	ISO 3016 D5949
Väri ja Ulkonäkö +25 °C <sup>2)</sup> Färg och utseende +25 °C <sup>2)</sup> Appearance +25 °C <sup>2)</sup>		Punainen, kirkas, ei kiinteitä epäpuhtauksia Röd, klar och blank Red, clear and bright			D 4176-2
Vesi Vatten Water content	mg/kg		500	200	EN ISO 12937
Tuhka Askhalt Ash content	wt-%		0,010	< 0,010	EN ISO 6245
Voitelevuus / HFRR, 60 °C Smörjbarhet / HFRR, 60 °C Lubricity / HFRR, 60 °C	µm/60°C		520	400	EN ISO 12156-1
Tehollinen lämpöarvo, laskettu Effektiv värmevärde, beräknat Net heat of combustion, calculated	MJ/kg			43	NM 119

Käännä

See overleaf

Vänd