

Jukka Ihalainen

RIKKIPITOISUUDEN
VAIKUTUS
POLTTOAINEEN
LAIMENEMISEEN
POLTTOAINEJÄRJESTELMÄSSÄ

Opinnäytetyö
Merenkulun insinööri



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä	Tutkinto	Aika
Jukka Ihalainen	Insinööri (AMK)	Elokuu 2019
Opinnäytetyön nimi		
Rikkipitoisuuden vaikutus polttoaineen laimenemiseen polttoainejärjestelmässä		30 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja		
Finnlines Oyj		
Ohjaajat		
Joel Paananen, Xamk Esa Bjong, Finnlines Oyj Ismo Kujala, Finnlines Oyj		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia eri polttoaineiden rikkipitoisuuden vaikutusta polttoainejärjestelmän laimenemiseen siirryttäessä korkearikkisestä polttoaineesta matalarikkiseen polttoaineeseen. Tutkimus toteutettiin käyttäjien sekä kustannustehokkuuden näkökulmasta. Tutkimustarve perustui vanhaan uskomukseen, jossa vain polttoaineen hinta on ratkaisevassa asemassa polttoaineiden hankinnassa.</p> <p>Opinnäytetyö pohjautuu Finnlines Oyj:n operoimaan rahtimatkustaja eli ropax-alus M/S Finnstariin ja liikennealueen erikoisvaatimukseen. Finnstarin pääasiallinen liikennealue Itämeri kuuluu kansainvälisen merenkulun kattojärjestön (IMO) määrittelemiin erityisen herkkiin merialueisiin, jossa polttoaineen rikkipitoisuus on rajattu $S < 0,1\%$ m/m ilman pakokaasujen puhdistuslaitteistoja käytävillä aluksilla. Pääkysymyksenä tutkimuksessa oli, mikä polttoainelaadusta olisi kokonaisvaltaisesti kustannustehokkain käytössä. Tutkimus toteutettiin vertailemalla keskenään matemaattisia laskelmia aluksen omiin ja laboratorion mitaustuloksiin.</p> <p>Tämän opinnäytetyön mukaisesti tutkittujen toimien sekä polttoaineen rikkipitoisuuden vaikutusta polttoainejärjestelmän laimenemiseen tulee arvioida myöhemmin lisää. Tässä tutkimuksessa kuitenkin selvisi, että Finnstarissa käytössä oleva kalliimpi ULS MGO -laatu on normaaliolosuhteissa huomattavasti kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin halvempi LS MGO -laatu. Tämän opinnäytetyön ja mittaustoiminnan arvioinnista saatavia tuloksia voidaan jatkossa hyödyntää myös muissa Finnlines Oyj:n operoimissa aluksissa.</p>		
Asiasanat		
Rikkidirektiivi, SECA, polttoaineenvaihto, Finnlines		

Author	Degree	Time
Jukka Ihalainen	Bachelor of Engineering	August 2019
Thesis Title		
Effect of sulphur content on dilution of fuel system		30 pages 4 pages of appendices
Commissioned by		
Finnlines Plc		
Supervisors		
Joel Paananen, XAMK Esa Bjong, Finnlines Plc Ismo Kujala, Finnlines Plc		
Abstract		
<p>The aim of this thesis was to investigate the effect of sulphur content of different bunkers on the dilution of the fuel system when changing from high sulphur content to low sulphur content. The study was based on user experience and conducted from a cost-effectiveness point of view. The need for research was based on the old belief that only the price plays a decisive role in the supply of bunker.</p> <p>The thesis is based on the passenger/cargo ship (ropax) M/S Finnstar operated by Finnlines Plc and the special requirements in her traffic area. Finnstar's main operating area, the Baltic Sea, is a particularly sensitive sea area defined by the International Maritime Organization (IMO), where the sulphur content of the bunker is limited to $S < 0.1\%$ m/m for vessels not using exhaust gas cleaning equipment. The objective of the study was to define which of the low sulphur bunker grades would be the most cost-effective to use overall. The thesis was carried out by comparing mathematical calculations to the ship's own and laboratory measurements.</p> <p>The effects of the activities studied in this thesis and the sulphur content of the fuel on the dilution of the fuel system should be further evaluated later. However, this study found that the more expensive ULS MGO grade used by Finnstar is a much more cost-effective option than the cheaper LS MGO grade. The results of the evaluation of this thesis and measurement activities can be used in the future on other vessels operated by Finnlines Plc.</p>		
Keywords		
sulphur directive, SECA, fuel change-over, Finnlines		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	YLEISTÄ.....	5
2.1	E erityisen herkät merialueet eli SECA-alueet	5
2.2	Pakokaasupesurit eli Scrubberit	6
3	POLTTOAINEET	7
3.1	Yleistä.....	7
3.2	Raskas polttoöljy (HFO).....	9
3.3	Kevyet polttoöljyt (MGO ja MDO).....	10
4	POLTTOAINEENVAIHTO.....	10
4.1	Yleistä.....	10
4.2	Polttoainejärjestelmä	11
4.3	Polttoaineenvaihto	12
5	POLTTOAINEEN RIKKIPITOISUUDEN VAIKUTUS VAIHTOAIKAAN	17
5.1	Yleistä.....	17
5.2	Rikki – hyvä vai paha?	17
5.3	Polttoaineen laimeneminen	19
5.4	Taloudelliset vaikutukset.....	22
6	TULOSTEN TARKASTELU	25
7	LOPPUSANAT.....	27
	LÄHTEET.....	29

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. MGO DMA

Liite 2. MDO DMB

Liite 3. IFO 380

Liite 4. FOBAS lab, test results.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia ja selvittää, kuinka polttoaineen rikki-pitoisuus vaikuttaa polttoaineen laimenemiseen polttoainejärjestelmässä siirtäessä korkearikkisestä polttoaineesta matalarikkiseen polttoaineeseen.

Tutkimuksen tarkoituksena oli saavuttaa polttoaineen kulutukseen kustannustehokkuutta oikealla polttoainevalinnalla sekä optimoida polttoaineen vaihtoaika.

Selvityksen pohjana ja kohteena on käytetty Finnlines Oyj:n operoimaa M/S Finnstar rahtimatkustaja-alusta, jonka pääasiallinen liikennealue on Itämeri. Alus toimii linjaliikenteessä Suomen ja Saksan välillä niin kutsutulla HansaLin-killä kuljettaen pyörien päällä olevaa rahtia sekä matkustajia. Lastikapasiteettia ro-ro rahdille on noin 4200 kaistametriä ja matkustajia alukseen voidaan ottaa 554 henkilöä. Henkilökuntaa aluksessa on noin 40 henkilöä.

Finnstar on rakennettu Italiassa Fincantierin telakalla Castellammare Di Stabiaassa vuonna 2006. Alussarja pitää sisällään kaiken kaikkiaan viisi samanlaista alusta. Alusten polttoaineena käytetään pääasiassa korkearikkistä raskasta polttoöljyä (HS HFO) viskositeettiluokaltaan RMG/IFO 380 cSt. Kaikki sarjan alukset on varustettu avoimen kierron pakokaasupesureilla eli ”open-loop scrubbereilla”. Kevyenä polttoöljynä Finnstarissa käytetään Neste-Oilin erittäin matalarikkistä kaasuöljyä (ULS MGO) DMA S < 0,01 % m/m.

2 YLEISTÄ

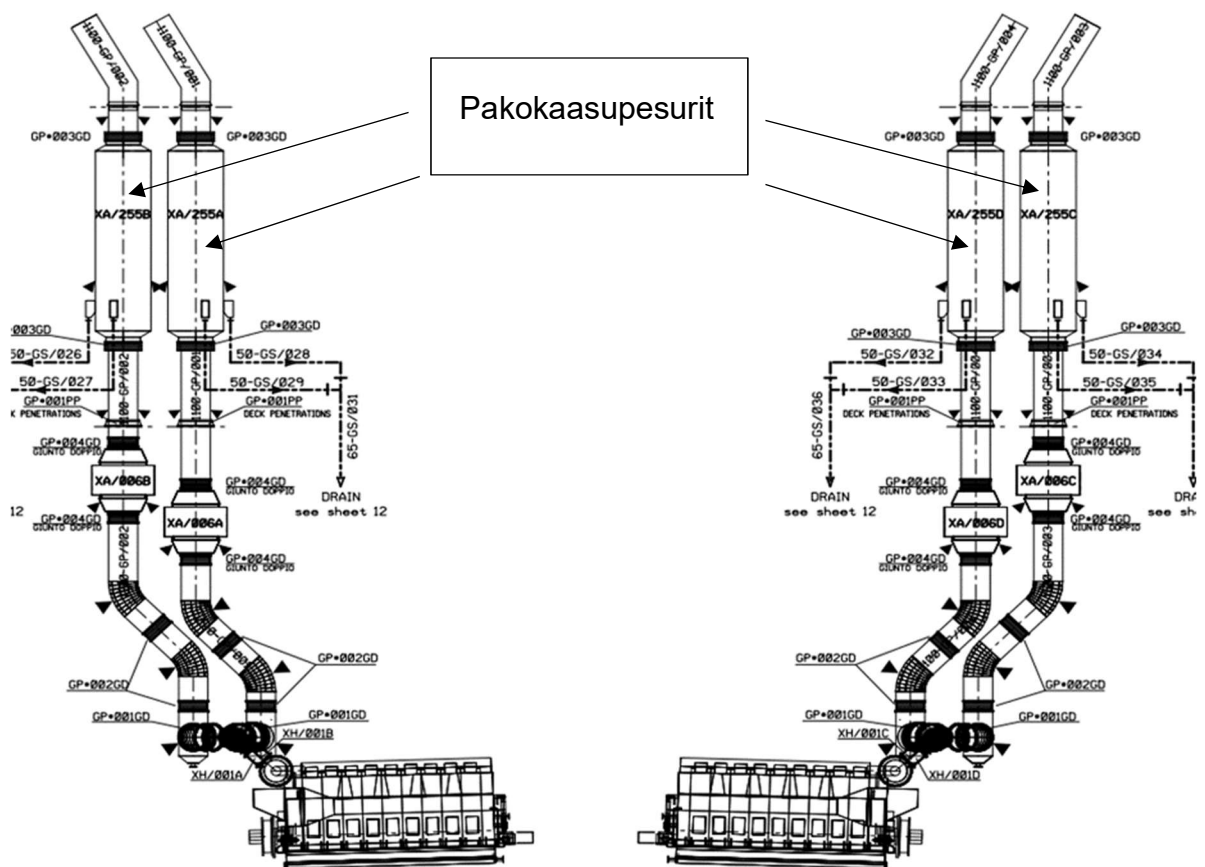
2.1 Erityisen herkäät merialueet eli SECA-alueet

Finnstarin liikennealue Itämeri luokitellaan kansainvälisessä merenkulkujärjestössä IMO:ssa erityisen herkäksi merialueeksi. Tästä syystä IMO määrittää itä- ja pohjanmerellä sekä Englannin kanaalissa eli SECA (Special Emission Control Area) -alueilla liikennöivien alusten polttoaineen maksimi rikkipitoisuudeksi S < 0,1 %m/m. SECA-alueella liikennöivät alukset voivat käyttää korkearikkistä polttoainetta, jos alukset ovat varustettu pakokaasujen puhdistuslaitteistolla eli scrubbereilla. (IMO 2015.)

2.2 Pakokaasupesurit eli scrubberit

Viime vuosina on käyty voimakasta keskustelua siitä, onko pakokaasupesurien käyttö järkevää vai ei. Kysymykseen, onko niiden käyttö vain ongelman siirtämistä paikasta A paikkaan B, en ota kantaa tässä opinnäytetyössä, vaan keskityn pelkästään selvittämään nykyisten järjestelmien toimintaa ja käyttöä.

Pakokaasupesurien tehtävänä on pestä rikkiyhdisteet pois laivan pakokaasusta. Pesurin sisällä merivettä ruiskutetaan suuttimista pakokaasujen sekaan, jolloin pakokaasun sisältämät rikkiyhdisteet siirtyvät pesuveteen, joka ohjataan laivan laitaventtiiliin kautta mereen. Pakokaasupesurit on sijoitettu aluksen savupiippuun eli korsteeniin ja ne muistuttavat ulkonäöltään suuria äänenvaimentimia. Kuvassa 1. on esitetty Finnstarin pakokaasupesuri -installaatio.



Kuva 1. Pakokaasupesuri -installaatio, m/s Finnstar. (Finnstar assembly drawing 2005, 45)

Finnstarin pakokaasupesurit on asennettu pääkoneiden entisten äänen-
vaimentajien paikalle, koska asennusmahdollisuutta erillisille korsteenien ulko-
puolisille pesuriyksiköille ei ollut. Lisäksi pesurit on varustettu ulkopuolisilla
jäähdytyslaitteistoilla, joilla pyritään estämään pesutornien liiallinen lämpiämi-
nen tilanteessa, jossa avoimen kierron pakokaasupesurien käyttö on kiellet-
tyä. Tällaisia alueita ovat muun muassa Saksan sisävedet ja joet (Lange
2005).

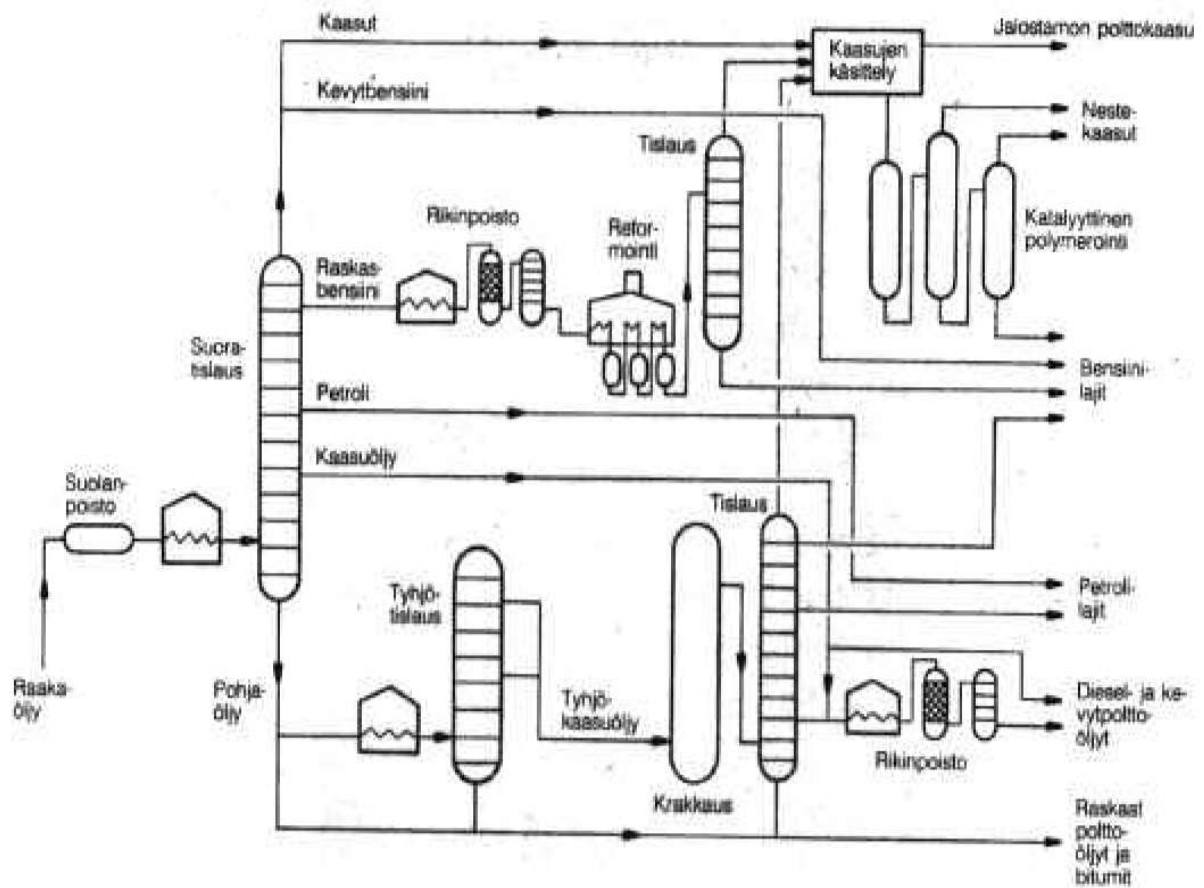
Pakokaasupesurit ja pakokaasuanalysointilaitokset ovat luokituslaitosten sekä lip-
puvaltion viranomaisten tarkastamia ja hyväksymiä laitteistoja, joiden huol-
loista ja kunnostuksista on pidettävä päiväkirjaa viranomais määräysten mukai-
sesti. Lisäksi tietyt testit ja tarkastukset on suoritettava määräajan välein lait-
teiston toimintavarmuuden ja mittaustulosten luotettavuuden turvaamiseksi.

3 POLTTOAINEET

3.1 Yleistä

Raakaöljy on maaperässä orgaanisista eliöistä ja kasveista paineen- ja läm-
mön vaikutuksesta muodostunut hiilivetyjen seos. Noin 40 % kaikesta maail-
massa käytetystä energiasta ja 95 % liikenteessä käytetystä energiasta saa-
daan raakaöljystä (Tervonen 2017). Raakaöljyn laatu ja ominaisuudet vaihte-
levat suuresti eri puolella maapalloa sijaitsevilla öljykentillä. Muun muassa rik-
kipitoisuus vaihtelee eri esiintymien välillä lähes rikittömästä aina > 4 S % m/m
pitoisuuksiin. Tämä vaikuttaa suuresti eri raakaöljy laatuun hintaan. Raakaöl-
jystä saatavien polttoainelaatujen käyttöä vaihtoehtoisten energialähteiden rin-
nalla vielä pitkään tulevaisuudessa tukee polttoöljyn sisältämä suuri energia-
määrä sekä turvallinen ja helppo varastoitavuus (Tervonen 2017).

Raakaöljystä saadaan eri polttoainelaatuja öljynjalostamoissa tislamalla ja
krakkaamalla. Tislauksen tarkoituksena on erottaa raakaöljyn sisältämät kemi-
kaalit toisistaan. Jatkotislauksessa eri hiilivedyt saadaan eroteltua ja krakkauk-
sen ansiosta voidaan raskaampia hiilivety-yhdisteitä rikkoa kevyemmiksi yh-
disteiksi. Kuvassa 2. on esitetty öljynjalostamon yksinkertainen toimintakuvaus.



Kuva 2. Öljynjalostamon kaaviokuva. (Prosessiteknikka.kpedu.fi 2019)

Polttoaineiden lisäksi raakaöljystä tuotetaan erilaisin kemiallisin prosessein muun muassa muovituotteita, maalien sidos- ja väriaineita sekä lääketieteellisten lisäaineita.

Vaikka maaöljypohjaiset polttoaineet tuottavat palamistuotteena voimakkaasti hiilidioksidia sekä muita ilmastolle haitallisia päästöjä, tulevat fossiiliset polttoaineet pitämään pintansa merenkulun parissa vielä pitkään. Kehitys pakokaasujen puhdistuslaitteistojen sekä moottoritekniikan osalta kulkee lähes samalla vauhdilla kuin uusien energiamuotojen käyttöönotto merenkulun parissa.

3.2 Raskas polttoöljy HFO

Kuten edellisessä kappaleessa on kerrottu, on raskas polttoöljy käytännössä suoratislauksen pakollinen sivutuote sille, että voidaan tuottaa liikennekäyttöön kevyempiä ja puhtaampia polttoaineita. Raskaan polttoöljyn tuotanto ei siis missään kohtaa tule loppumaan, kun maaöljypohjaiset eli fossiiliset polttoaineet ovat käytössä muissa liikennevälineissä. Krakkauksella suoratislauksessa syntyvää pohjaöljyn määrää voidaan vähentää, mutta kokonaan sitä ei pystytä poistamaan. Raskaan polttoöljyn halpa hinta ja olemassa oleva teknologia tekee siitä varsinkin merenkulun parissa houkuttelevan energianlähteen.

Raskas polttoöljy muodostuu pitkistä hiilivetyketjuista. Tämän pitkäketjuisuuden takia raskas polttoöljy kiinteytyy jo varsin korkeissa lämpötiloissa. Tämän kemiallisen ominaisuuden takia raskas polttoöljy on kuljetettava ja varastoitava lämmitettynä. Nyrkkisääntönä varastointilämpötilaksi voidaan pitää noin +50 °C:een lämpötilaa. Tässä lämpötilassa ollaan reilusti leimahduspisteen alapuolella, jolloin polttoaineen itsesyttymisvaaraa ei ole, mutta polttoaine on helposti siirrettävissä pumppaamalla. Liitteessä 3. on esitetty IFO 380 raskaan polttoöljyalaadun laboratoriotulokset, jossa ilmenee mitä ja kuinka paljon erilaisia kemiallisia yhdisteitä kyseinen polttoaine-erä sisältää.

Tislauksen jätetuotteena syntyvä raskas polttoöljy sisältää aina jonkin verran laivakoneisiin sopimattomia epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, vettä, tuhkaa sekä raskasmetalleja. Varsinkin maa-aines eli hiekka saattaa vaurioittaa moottorin polttoaineensyöttölaitteistoja. Tämän vuoksi raskas polttoöljy on aina puhdistettava, ennen kuin sitä voidaan käyttää aluksen polttoaineena. Yleisin ja tehokkain aluksella suoritettava puhdistusmenetelmä on polttoaineen separointi.

Separoinnilla tarkoitetaan lämmitetyn polttoaineen puhdistamista keskipakoisvoimaa hyväksi käyttäen. Polttoaineseparaattorin kuula on varustettu käytössä olevaan polttoaineeseen sopivilla kartion muotoisilla ominaispainolevyillä, joiden lävitse polttoaine pakotetaan. Ominaispainoltaan raskaampi kiintoaine kulkeutuu ominaispainolevypakan ulkoreunalle ja siitä ulos levypakasta. Tietyn väliajoin kuula puhdistuu automaattisesti ja kiintoaine sekä muut raskaam-

mat epäpuhtaudet siirtyvä separointijätteen varastotankkiin. Puhdistettu polttoaine siirtyy separaattorin luoman paine-eron tai ulkoisen siirtopumpun avulla aluksen päivätankkiin odottamaan siirtoa kulutuskohteisiin.

3.3 Kevyet polttoöljyt MGO ja MDO

Meriliikenteen kaasuöljy (MGO) on yksinomaan tisleistä koostuvaa meriliikenteessä käytettävää polttoainetta. Tisleitä ovat kaikki ne raakaöljyn komponentit, jotka kaasuntuvat suoratislauksessa. Tämän jälkeen tisleet kondensoidaan kaasumaisesta muodosta takaisin nestemäiseen muotoon. MGO koostuu tavallisesti eri tisleiden seoksesta, jonka takia siitä voidaan tehdä paremmin säilyvää sekä alhaisemman samepisteen ja suodatettavuuden omaavaa polttoainetta. Tämän ominaisuuden takia MGO:n erikoislaadut ovat hyvin soveltuvia muun muassa hätägeneraattoreiden sekä pelastusveneiden polttoaineiksi.

Meriliikenteen dieselöljyllä (MDO) tarkoitetaan yleensä alusten polttoaineita, jotka koostuvat eri tisleiden seoksista. Toisin kuin maalla käytettävät diesel-polttoaineet MDO ei ole puhdas tisle. MDO:n eri sekoitussuhteita voidaan ohjata suoraan jalostamon prosesseilla tai sekoittamalla valmiita meriliikenteessä käytettäviä polttoaineita keskenään. Tämän sekoituksen takia MDO laatuja voidaan merkitä myös kirjan lyhenteellä IFO (Intermediate Fuel Oil). Yleensä MDO on käyttöominaisuuksiltaan samanlainen kuin MGO, mutta sen tiheys ja viskositeetti ovat yleensä suuremmat. Varastointiolosuhteet molemmilla laaduilla ovat samanlaiset eli MGO:ta eikä MDO:ta tarvitse lämmittää varastoinnin aikana.

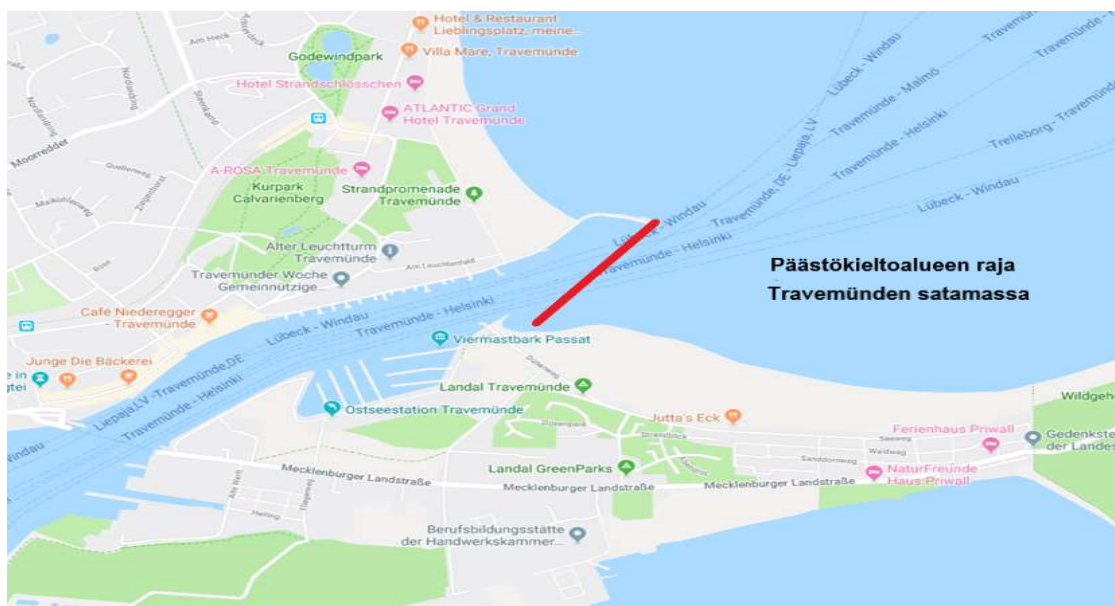
4 POLTTOAINEENVAIHTO

4.1 Yleistä

Tammikuusta 2015 lähtien on alusten Itämerenliikenteessä käytettävä polttoainetta, jonka rikki- ja pitoisuuden on oltava pienempi kuin 0,1 massaprosenttia (IMO 2015). Koska vähärikkinen polttoaine on huomattavasti korkearikkistä

polttoainetta kalliimpaa, on pakokaasupesurien asentaminen aluksiin tullut kustannustehokkaaksi ratkaisuksi Itämerenliikenteessä. Pakokaasupesureilla saavutetaan hyväksytyt päästöarvot, jopa $S > 3,5 \text{ \%m/m}$ pitoisilla polttoaineilla (de Boer ym.2016). Kuitenkin eri Itämeren valtiot ovat määränneet omia erityisehtoja varsinkin avoimenkierron (open-loop) pakokaasupesureita käyttäville aluksille. Esimerkiksi Saksan sisä- ja rannikkovesillä on tutkimuksissa tullut esille alusliikenteen, maatalouden sekä teollisuuden vaikutus sisä- ja rannikkovesien laatuun sekä pohjaeliöstön elinolojen heikentymiseen (Lange 2015).

Edellä mainitun takia esimerkiksi Saksan ympäristöviranomaiset ovat kieltäneet alusten pakokaasupesurien pesuvesien laskun veteen sisä- ja rannikkovesillä. Tämä velvoittaa muun muassa Finnlinesin Star-luokan alusten vaihtamaan korkearikkisen polttoaineen matalarikkiseen polttoaineeseen ennen saapumista Travemünden satamaan. Päästökielto alueen raja, Travemünden / Lübeckin satamien osalta on esitetty kuvassa 3.



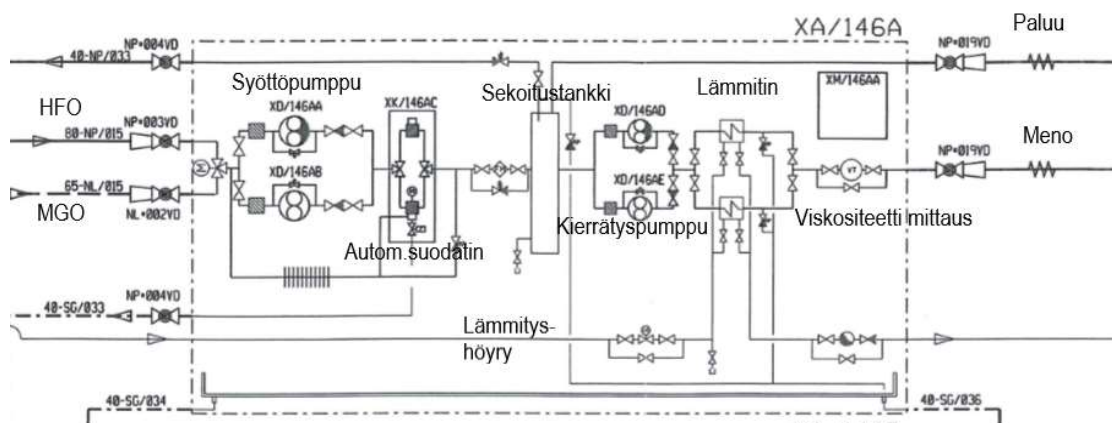
Kuva 3. Päästökieltoalueen raja Travemünden sataman edustalla. (Ihalainen/Google maps 2019)

4.2 Polttoainejärjestelmä

M/S Finnstarin polttoainejärjestelmä koostuu polttoaineen varastoinnista, siirto- ja täydennysputkistoista, puhdistuslaitteistoista sekä polttoaineen syöttö-, kierrätys- ja suodatusjärjestelmistä.

Polttoainetta varastoidaan aluksen kaksoispohjan päällä sijaitsevilla varastotankeissa. Raskaalle polttoöljylle on kolme ja kevyelle polttoöljylle yksi varastotankki. Varastotankeista polttoaine pumpataan siirtopumpulla selkeytys- eli settling-tankkiin, jossa tapahtuu ensimmäinen osa polttoaineen puhdistumisesta. Settling-tankissa muun muassa suurin osa polttoaineen sisältämästä vedestä erottuu ominaispainoeron seurauksena ja tankki voidaan vesittää suoraan separointijätteen varastotankkiin eli sludge-tankkiin.

Varsinainen polttoaineen puhdistus tapahtuu settling-tankin jälkeen polttoaine separaattoreilla, joiden toimintaperiaate on esitetty kappaleessa 3.2. Separoinnin jälkeen polttoaine siirtyy päivätankkiin, josta polttoaineen syöttö- ja suodatuslaitteisto FCM (Fuel Conditioning Module) eli boosterikoneikko siirtää polttoaineen pääkoneiden polttoainejärjestelmään. Kuvassa 4. on esitetty pääkoneiden 1 ja 2 boosterikoneikko, jonka tehtävänä on syöttää moottoreiden tarvitsema polttoaine sekä ylläpitää polttoainejärjestelmän esipaine ja tavoiteltu viskositeetti-arvo. Boosterikoneikko on varustettu kolmitieventtiilillä, jolla valitaan polttoainejärjestelmään kulloinkin virtaava polttoaine.



Kuva 4. Boosterikoneikon (FCM) pääkomponentit. (Finnstar assembly drawing 2005, 23)

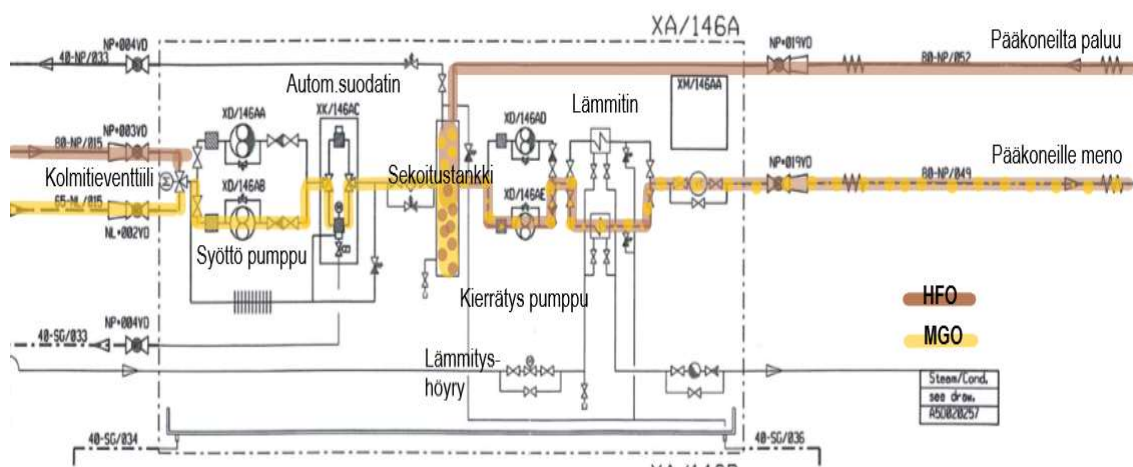
4.3 Polttoaineenvaihto

Polttoaineenvaihdon helpottamiseksi on vaihtoautomaatiikka Star-luokan laivoissa rakennettu niin, että vaihtotoimenpide voidaan suorittaa suoraan konevalvonnan automaatiojärjestelmästä. Raskaan polttoöljyn ja kevyen polttoöljyn erilaisten fysikaalisten ominaisuuksien takia on käyttäjän tiedettävä, miten

polttoaineen vaihto vaikuttaa moottoreiden ja järjestelmien toimintaan. Raskaalla polttoöljyllä on erilaiset ominaisuudet kuin kevyellä polttoöljyllä. Niinpä käyttäjän onkin tärkeää ymmärtää ja tuntea niiden fysikaaliset erot suunniteltaessa polttoaineen vaihtamista. Tärkeimmät polttoaineiden käsiteltävyyteen vaikuttavat asiat ovat viskositeetti ja leimahduspiste. Nämä muuttujat määräävät polttoaineiden käsittelylämpötilan sekä vaihtoajan.

Polttoaineen vaihto aktivoidaan polttoainejärjestelmän kolmitieventtiin Change-komennolla, joka aktivoi kolmitieventtiin sekä automaattisen polttoaineen jäähdytysjärjestelmän. Kuvassa 5. on esitetty polttoaineen vaihtumisen periaatepiirros tilanteessa, jossa kolmitieventtiili on jo täysin kääntynyt MGO-asettoon.

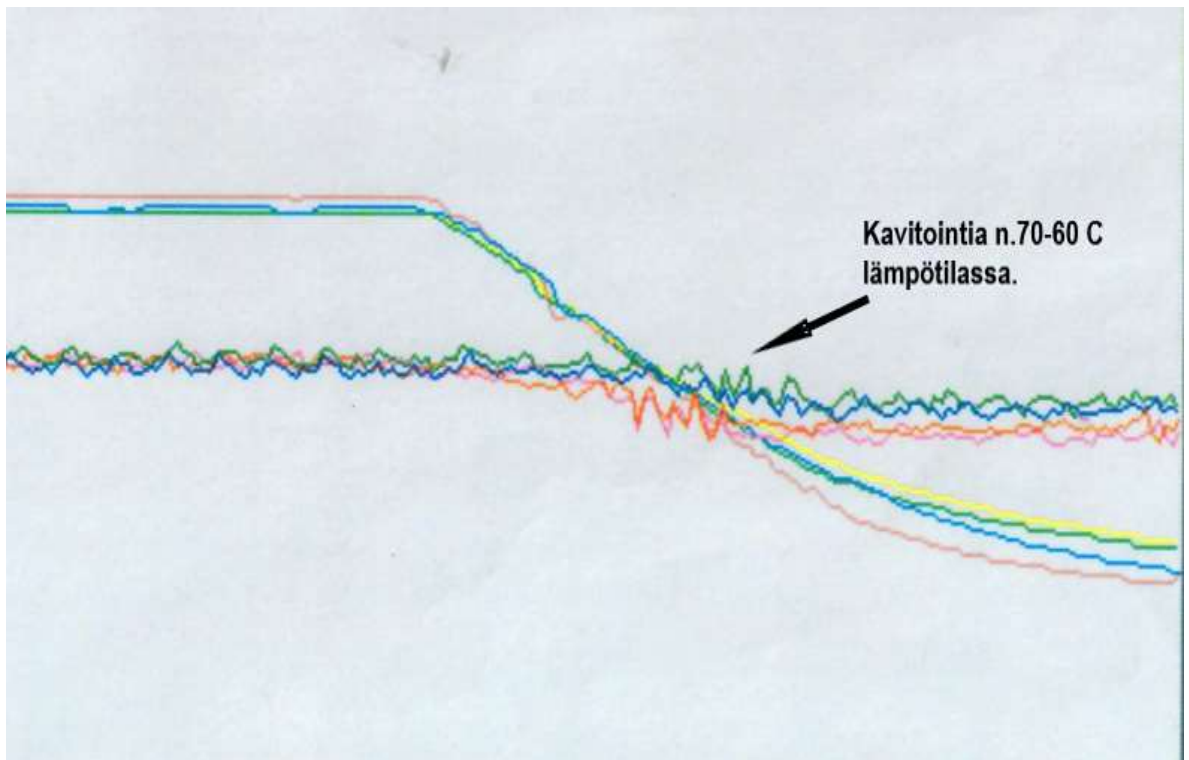
Raskasöljykäytössä polttoainejärjestelmän boosterikoneikko pyrkii ylläpitämään polttoaineen viskositeettiä noin 20 cSt tasossa. Tämä viskositeetti taso saavutetaan IFO 380 -polttoaineella noin 120 °C lämpötilassa. Kaasuöljyllä on huomattavasti raskasöljyä alhaisempi viskositeetti, yleensä noin 3 cSt, joten se ei laiva oloissa tarvitse lämmitystä, vaan sitä päinvastoin joudutaan jäähdyttämään. Kaasuöljyn (MGO DMA) leimahduspiste on > 60 °C tyypillisesti noin 63 °C (Liite 1) ja raskaan polttoöljyn (IFO 380) leimahduspiste on > 70 °C tyypillisesti noin 85–115 °C välillä (Liite 3).



Kuva 5. Polttoaineen vaihtuminen FCM-yksikössä. (Ihalainen 2019)

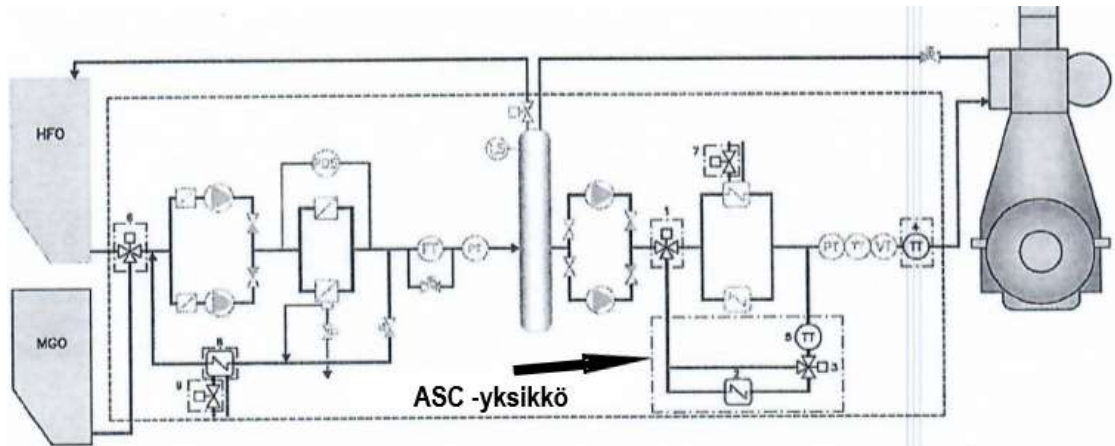
Liian nopea polttoaineenvaihtuminen aiheuttaa polttoainejärjestelmässä kevyempien tisleiden höyryntymistä kuumissa putkistoissa. Tämä saattaa aiheuttaa järjestelmässä syttymiskelpoisen seoksen syntymistä sekä polttoaineen kierrätyspumppujen kavitointia ja polttoaineensyöttöhäiriöitä. Polttoaineen jäähtyminen sekä kierrätyspumppujen kavitaatiota on esitetty kuvassa 6.

Kavitaatiota kierrätyspumpeissa aiheuttaa myös liian nopea polttoaineen jäähtyminen, kun järjestelmässä on vielä raskasta polttoöljyä. Raskaan polttoöljyn jäähtyessä viskositeetti voi nousta niin paljon, että raskas polttoöljy ei ole enää pumpattavuusalueella. Viskositeetin nouseminen pois pumpattavuusalueelta aiheuttaa siis myös kierrätyspumppujen kavitointia. Suuremmaksi ongelmaksi muodostuu kuitenkin liian matala viskositeetti. Liian matala polttoaineen viskositeetti poistaa kierrätyspumppujen sekä varsinkin polttoaineen ruiskutuspumppujen metallipinnoilta voitelevan polttoainekalvon, jolloin polttoaineen ruiskutuspumppujen kiinnileikkautumisen vaara on erittäin suuri.



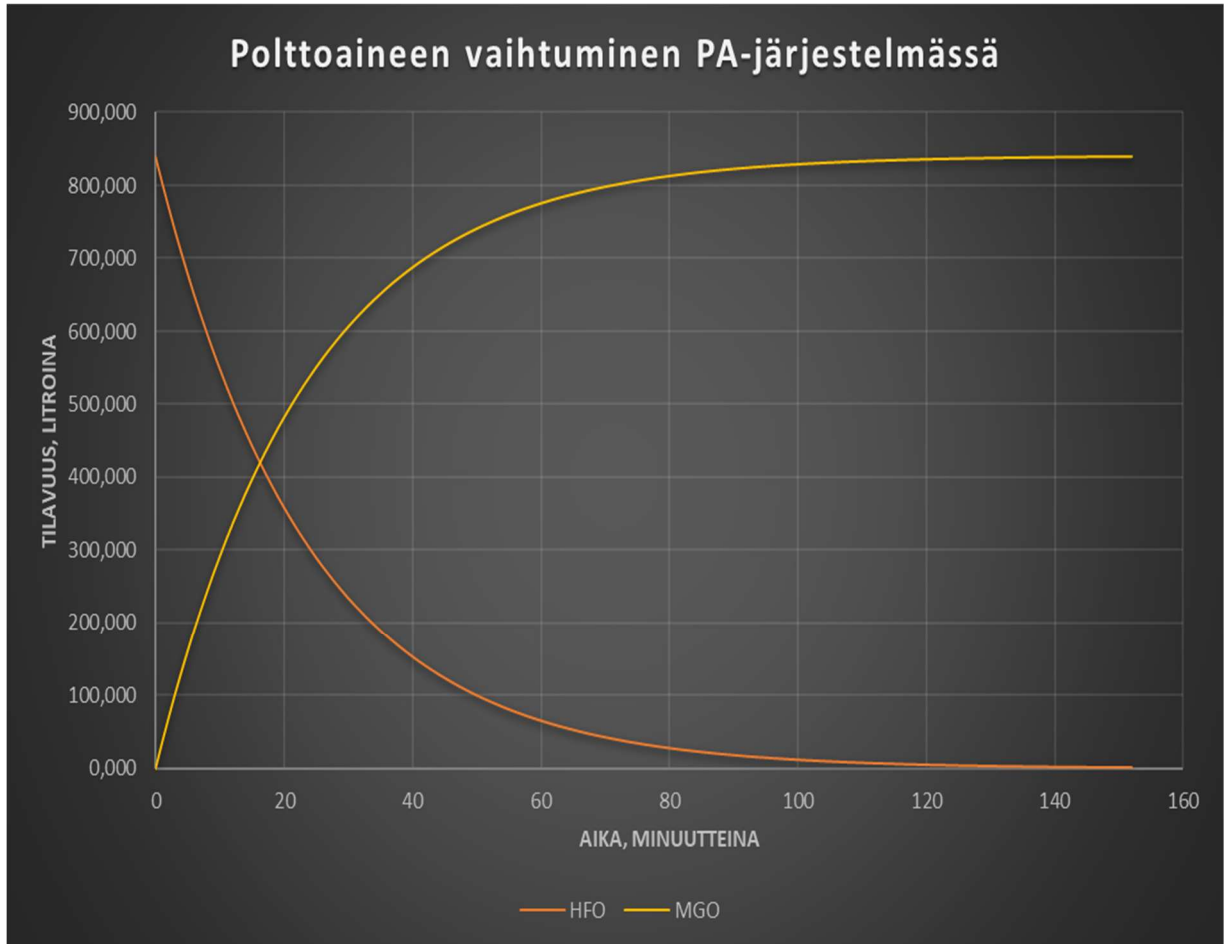
Kuva 6. Polttoaineen jäähtyminen ja kavitaatio. (tuloste M/S Finnstar 2019)

Viskositeetin hallintaa varten Finnstariin on asennettu ACS-yksikkö eli Automated fuel Changeover System, joka on yksi osa Fuel Conditioning Module eli FCM-automatiikkaa. ACS:n tehtävänä on jäähdyttää moottoreissa kiertävä polttoaine ennalta asetetun rampin mukaisesti n: 1 °C/min. Kuvassa 7 on Finnstarin ACS-yksikön periaatekuva sekä laitteiston sijoitus FCM-järjestelmässä.



Kuva 7. ACS-yksikön sijoitus FCM -järjestelmässä (Alfa Laval assembly drawing 2015, 10)

Käytännössä kevyemmän polttoaineen höyrystymisestä polttoaineen vaihdon aikana ei päästä kokonaan eroon, mutta sitä pystytään hallitsemaan pitämällä pääkoneiden kulutus kohtalaisena sekä ACS:n jäähdytystoiminta hyvin hallinnassa. Tutkimuksessa selvisi, että polttoaineenvaihdon aikana maksimi polttoaineenvirtaus tulisi rajoittaa noin 2100 litraan per boosteriyksikkö.



Kuva 8. Polttoaineen vaihtuminen, kulutuksella 2100 litraa/h. (Ihalainen 2019)

Tämän kulutuksen alapuolella viskositeetin hallinta sekä polttoaineen kierrätys pumppujen mahdollinen kavitointi eli syttymisherkkien seosten muodostuminen oli kaikkein vähäisintä kuitenkin aluksen nopeuden siitä suuresti kärsimättä. Optimaalisin polttoaineenvirtaus polttoaineen vaihdon kannalta katsottuna olisi noin 1800 litraa per boosteriyksikkö, mutta aikataulutetussa liikenteessä tämä aiheuttaa polttoaineen vaihdosta vastaavalle konemestarille jo hieman ylimääräistä painetta kansipäällystön taholta.

5 POLTTOAINEEN RIKKIPITOISUUDEN VAIKUTUS VAIHTOAIKAAN

5.1 Yleistä

Kuten jo edellä kappaleessa 3.1 on kerrottu, sisältää raakaöljy öljykentän sijainnin mukaan erilaisia määriä kemiallisia yhdisteitä. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty pelkästään rikkipitoisuuden vaikutuksen tutkintaan laivojen polttoaineiden laimentumisessa polttoaineenvaihtotilanteissa. Kiinnostukseni opinnäytetyön aiheeseen herätti konepäällikön tokaisu uudesta bunkkeritoimittajasta, jolta saisi halpaa ja hyvää kevyttä polttoöljyä. Kevyen polttoöljyn rikkipitoisuus tällä uudella toimittajalla olisi kuitenkin korkeampi kuin sen hetkisen toimittajan. Pikainen laskutoimitus ja www.shipandbunker.com sivuston hintojen vertailu antoi tulokseksi sen, että halvan ja hyvän bunkkerin pitäisi olla noin 30 % halvempaa, jotta se olisi käytössä halvempaa Finnlinesin Star-luokan aluksilla.

Tuon pikaisen laskutoimituksen ansiosta kiinnostuin tutkimaan aihetta niin sanotusti pintaa syvemmältä ja seuraavissa kappaleissa on selvitetty syvällisemmin polttoaineiden rikkipitoisuuden vaikutusta kokonaistaloudellisesta näkökulmasta.

Star-luokan aluksilla vaihdetaan polttoaine tämän hetkisen liikennetiheyden mukaan noin 120 (+/- 2) kertaa vuodessa riippuen seisontapäivien määrästä. Esimerkiksi vuonna 2018 Finnstar vaihtoi polttoaineen kaiken kaikkiaan 119 kertaa. Laskelmissa on käytetty vuoden 2018 lukua vertailuarvona.

5.2 Rikki — hyvä vai paha?

Rikki on epämetallien ryhmään kuuluva alkuaine, jota esiintyy luonnossa puhtaana alkuaineena sekä erilaisina yhdisteinä. Luonnossa vapaana alkuaineena rikkiä esiintyy yleensä vulkaanisten esiintymien yhteydessä jopa useiden metrien paksuisina kerroksina. Yleisimmin rikkiä kuitenkin esiintyy erilaisissa yhdisteissä, kuten esimerkiksi metalleissa ja maaöljyissä. Väriltään rikki

on keltaista ja helposti palavaa. Tästä syystä vanhoissa kirjoituksissa ja tutkimuksissa rikistä on käytetty myös nimeä tulikivi. Palaessaan rikki muodostaa rikkidioksidia, joka on erittäin kitkeränhajuista kaasua, josta tuleekin sanonta tulikivenkatkuista. Rikki on välttämätön alkuaine lähes kaikille eliöille, kasveille sekä ihmisille. Kasvit tarvitsevat rikkiä muun muassa lehtivihreän tuotantoon, joten rikki on tärkeä alkuaine esimerkiksi kasvien yhteyttämisessä sekä eri proteiinien muodostumisessa. Haitalliseksi rikin tekee sen palamistuotteena muodostuvat hiukkaset ja kaasut. Palaessaan rikki ja happi yhdistyvät, jolloin palamisreaktiossa syntyy rikkidioksidia. Koska rikki ja rikkidioksidi eivät ole vesiliukoisia, muodostuu ilmakehässä rikkidioksidin ja veden yhdisteistä haitallisia happosateita. Myös ilmakehässä olevat pienen pienet rikkipartikkelit aiheuttavat terveydellisiä haittoja esimerkiksi hengitystie-elimissä. Eri tutkimuksissa on todettu rikin aiheuttavan vuosittain yli 400 000 ennen aikaista kuolemaa maailman laajuisesti eri hengitystie-elin sairauksien mm. astman ja keuhkosyövän muodossa (den Boer ym. 2016).

Vuonna 2015 astui voimaan IMO:n säädös sekä EU:n rikkidirektiivi, jotka määrsivät erityisalueilla (SECA) liikennöiville aluksille käytettävän polttoaineen maksimi rikkipitoisuudeksi alle 0,1 massaprosenttia (IMO 2015). Rikkidirektiivin pelättiin aiheuttavan kustannusten nousua merikuljetuksissa kallistuvien polttoainekustannusten takia, mutta vielä toistaiseksi raakaöljyn maailmanmarkkinahinta on pitänyt polttoaineiden hinnat, jos ei alhaisina, niin ainakin kohtalaisina. Rikkipäästöjen vähenemisellä on ollut myös negatiivisia vaikutuksia ilmastonmuutoksen torjumisessa. Esimerkiksi laivojen päästöt aiheuttavat rikkiä sisältäviä pienhiukkasia, jotka heijastavat auringonvaloa takaisin avaruuteen jarruttaen samalla ilmastonlämpenemistä. Puhtaampien polttoaineiden takia onkin kehitettävä uusia visioita ja toimia ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. (Tervonen 2017.)

5.3 Polttoaineen laimeneminen

Erilaisten liuosten, kuten nestemäisten polttoaineiden, kohdalla voidaan laimenemista tarkastella konsentraation avulla, joka on yhtä kuin ainemäärä jaettuna tilavuudella.

$$c = \frac{n}{V} \quad (1)$$

jossa,	c	konsentraatio	[mol/dm ³]
	n	ainemäärä	[mol]
	V	tilavuus	[dm ³]

Kun väkevämmästä liuoksesta halutaan tehdä laimeampi, käytetään laskukaavaa.

$$c_1V_1 = c_2V_2 \quad (2)$$

jossa,	c_1	lähtötilan konsentraatio	[mol/dm ³]
	V_1	lähtötilan tilavuus	[dm ³]
	c_2	lopputilan konsentraatio	[mol/dm ³]
	V_2	lopputilan tilavuus	[dm ³]

Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että polttoainejärjestelmän perinpohjainen tunteminen ja sen hallinta on kaiken A ja O polttoaineenvaihdon onnistumisessa.

Polttoaineen rikki- ja rikkipitoisuuden laimenemiseen vaikuttavia muuttujia on vain neljä. Näitä ovat lähtötilanteen rikki- ja rikkipitoisuus, laimentavan polttoaineen rikki- ja rikkipitoisuus, polttoaineen kulutus sekä polttoainejärjestelmän tilavuus.

Polttoainejärjestelmän rikki- ja rikkipitoisuus tietyllä hetkellä voidaan laskea kaavalla.

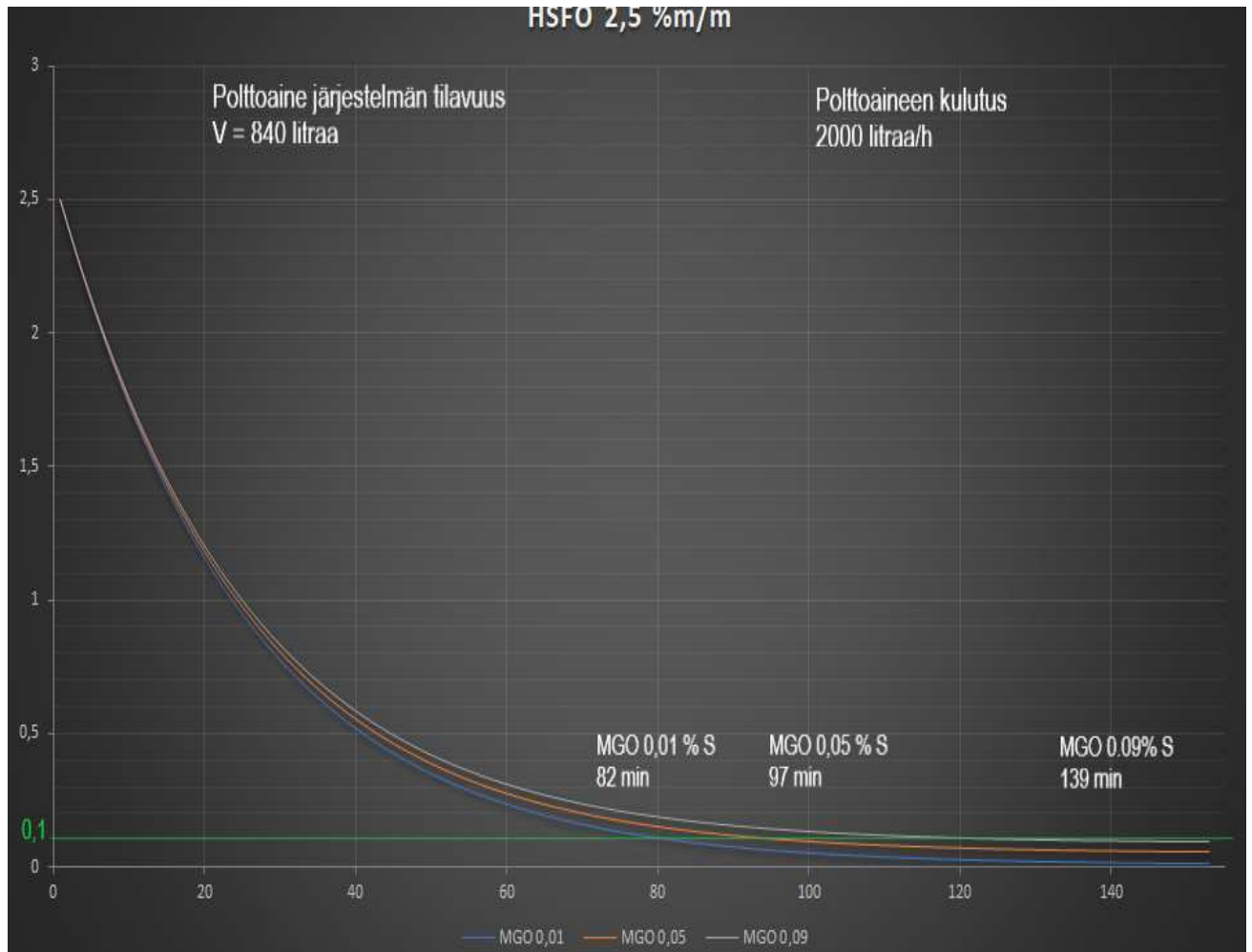
$$\frac{HSFO \%}{100} * HSFO S (\% m/m) + \frac{LSFO \%}{100} * LSFO S (\% m/m) \quad (3)$$

jossa,	<i>HSFO %</i>	korkearikkisen polttoaineen osuus	[%]
	<i>HSFO S</i>	rikkipitoisuus	[%m/m]
	<i>LSFO %</i>	matalarikkisen polttoaineen osuus	[%]
	<i>LSFO S</i>	rikkipitoisuus	[%m/m]

Esimerkiksi:

$$\frac{82 \%}{100} * 2,5 \% m/m + \frac{18 \%}{100} * 0,03 \% m/m = \mathbf{2,055 \% m/m}$$

Kuvassa 9 on esitetty graafisesti kolmen eri matalarikkisen polttoaineen vaikutus polttoainejärjestelmän laimentumiseen. Laskelmissa on käytetty polttoainejärjestelmän tilavuutena 840 litraa ja polttoaineen kulutuksena 2000 litraa/h.



Kuva 9. Polttoaineen laimentuminen $S < 0,1 \text{ \% m/m}$. (Ihalainen 2019)

Kuvassa 9 näkyy erittäin selvästi eri polttoaine laatuojen vaikutus polttoainejärjestelmän laimentumiseen. Kuvasta selviää myös aika, jonka eri polttoaine laadut tarvitsevat polttoainejärjestelmän laimentumiseen SECA-alueella vaadittavaan $S < 0,1 \text{ \% m/m}$. Aikaero ääriarvojen kohdalla minuutteina on noin 57 minuuttia. Polttoaineen määrässä 57 minuuttia, 2000 l/h kulutuksella on noin 1900 litraa per boosteriyksikkö.

5.4 Taloudelliset vaikutukset

Kauppamerenkulussa polttoaineiden kustannukset ovat yleisesti suurin yksittäinen menoerä, jonka varustamo saa hoidettavakseen. Perinteisesti hakurahti liikenteessä varustamot ovat pystyneet rahtaussojimuksissaan huomioimaan polttoainekustannukset lisäämällä ne suoraan alusten päivähintaan. Aikataulutetussa linjaliikenteessä tätä vaihtoehtoa ei suoranaisesti ole, vaan polttoaineliset joudutaan laittamaan esimerkiksi kaistametriin hintaan. Nopeilla, linjaliikenteessä olevilla ropax-, ro-ro ja konttialuksilla polttoainekulut voivat olla jopa 80% ajon aikaisista kustannuksista (Tarvonen 2017). Polttoaineen kulutusta per kuljetusyksikkö on pyritty vähentämään optimoimalla muun muassa alusten nopeuksia ja aikatauluja sekä kuljettuja reittejä.

Finnstar käyttää pääasiallisena polttoaineena korkearikkistä ($S \approx 2-3\%/m$) IFO 380 raskasta polttoöljyä ja on varustettu avoimen kierron tyyppisillä pakokaasujen puhdistuslaitteistoilla. Kevyenä polttoöljynä käytössä on Neste Oilin erittäin vähärikkinen ULS MGO $S < 0,01 \%/m$. ULS MGO -laadun todellinen rikkipitoisuus Nesteen laboratoriotulosten mukaan on noin 6 mg/kg, joka on prosentteina noin 0,006 %/m (liite 1).

Polttoainetoimitukset on merenkulussa perinteisesti ilmoitettu metrisinä tonneina, mutta hinta Yhdysvaltain dollareina. Ship and Bunker-sivuston mukaan, heinäkuun kymmenentenä päivänä vuonna 2019 matalarikkinen (Low Sulphur) LS MGO -laatu ($S < 0,1 \%/m$) maksoi noin 580 USD/mt, joka tämän hetkisen USD kurssin 1,12 USD/€ mukaan tekee noin 518 €/mt. Neste Oilin ilmoituksen mukaan (Ultra Low Sulphur) ULS MGO:n hinta liikkuu noin 550 €/mt eli noin 616 USD/mt. Hintaeroa näin ollen on noin 36 \$/mt. On kuitenkin tärkeää huomioida, että öljyn maailmanmarkkinahinnat elävät voimakkaasti. Muun muassa erilaiset konfliktit sekä öljyntuotannon rajoitukset muuttavat päivittäin bunkkeriöljyjen hintoja jopa useita kymmeniä dollareita / mt. Laskelmissa on käytetty LS MGO ($S < 0,1 \%/m$) hintana 560 \$/mt ja ULS MGO ($S < 0,01 \%/m$) 620 \$/mt. Kuvassa 10 on esitetty LS MGO:n hinta Rotterdamissa tammikuusta 2017 heinäkuuhun 2019.



Kuva 10. LS MGO:n hintakehitys Rotterdamissa. (shipandbunker.com 2019)

Polttoainejärjestelmän laimentumistutkimuksissa selvisi, että ero matalarikkisen LS MGO:n (S 0,09%/m/m) ja erittäin matala rikkisen ULS MGO:n (S < 0,01 %/m/m) välillä oli jopa 1900 litraa per vaihtokerta. Taulukossa 1 on esitetty vaihtokustannukset kolmen eri polttoaineen osalta.

Kustannus / vaihtokerta @2000 l/h				
Rikki [%m/m]	0,01	0,05	0,09	Erotus max-min
Aika [min]	82	97	139	57
Kulutus [litraa]	2733	3233	4633	1900
Kustannus [€]	1415	1674	2167	752

Taulukko 1. Kustannus / vaihto. (Ihalainen 2019)

Taulukon tulosten perusteella voidaan tutkia eri matalarikkisten polttoaineiden vuosittaiset käyttökustannukset. Laskelmissa on käytetty arvoja LS MGO 0,09 % S 560 \$/mt MDO 0,05 % S 620 \$/mt sekä MGO 0,01 % S 620 \$/mt. Vuosikustannukset on laskettu käyttämällä edellä olevia tonnihintoja sekä vuosittaisten polttoaineen vaihtojen lukumäärällä. Lisäksi loppulaskelmassa on huomioitu molempien boosteriyksiköiden syöttämä polttoainemäärä.

Alle on laskettu LS MGO:n ja ULS MGO:n kustannusero vuositasolla, niin dollareina kuin tonneissa.

Erotus / vuosi:

$$\begin{aligned}
 & 2167 \$ - 1415 \$ = 752 \$ \\
 \rightarrow & 752 \$ * 119_{vaihtoa/a} * 2_{booster} = \mathbf{178976 \$/a} \\
 & \frac{178\,976 \$}{1,12 \text{ €}} = \mathbf{159\,800 \text{ €/a}}
 \end{aligned}$$

Kiloina:

$$\begin{aligned}
 & 4633 \text{ l} - 2733 \text{ l} = 1900 \text{ l} \\
 \rightarrow & 1900 \text{ l} * 2_{booster} * 119_{vaihtoa/} = \mathbf{452\,200 \text{ l}} \\
 \rightarrow & 452\,200 \text{ l} * 0,835 \text{ kg/l} = \mathbf{377\,587 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

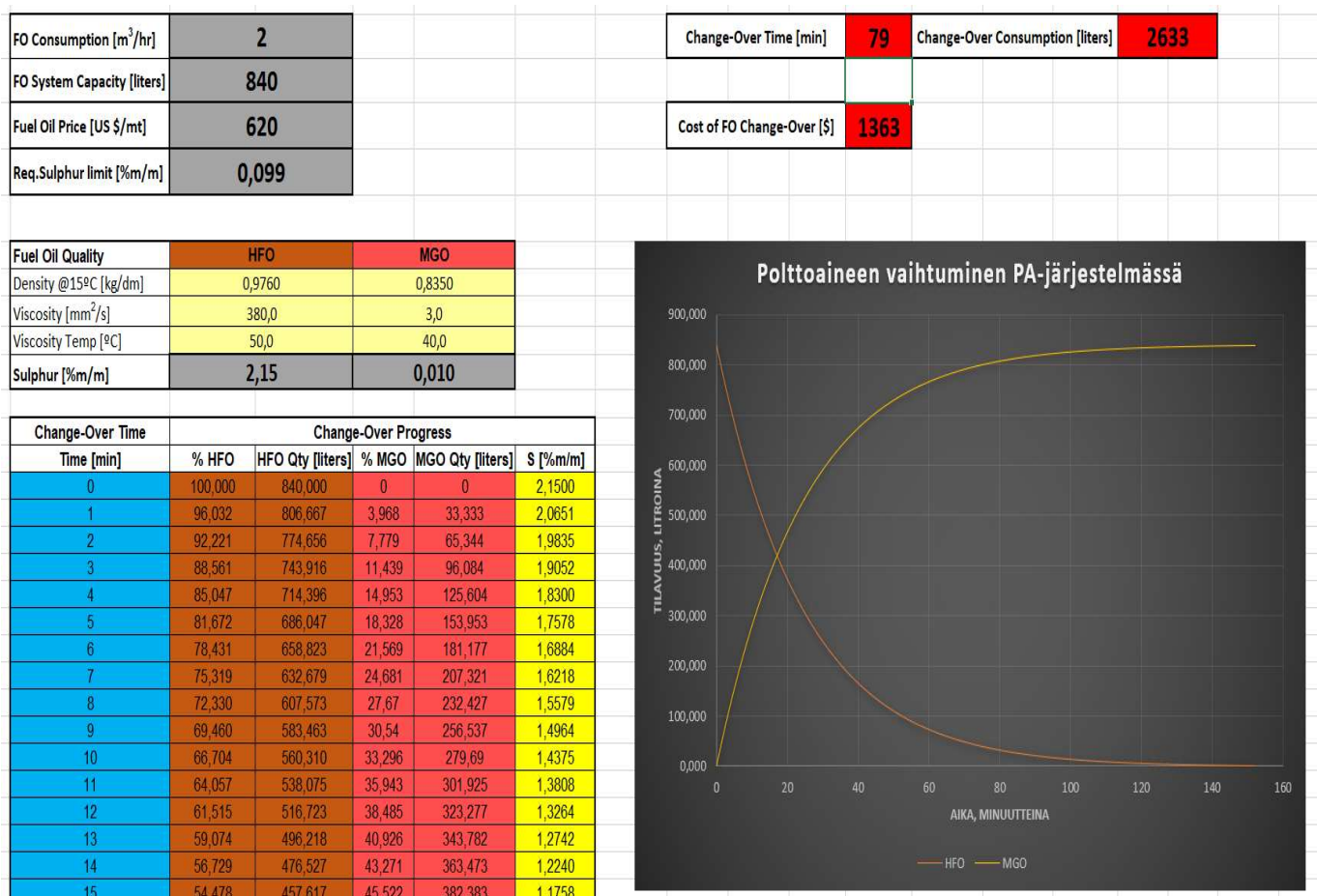
Autokuormina:

$$\frac{377,5 \text{ t}}{50 \text{ t/auto}} = 7,55 \approx \mathbf{7,6 \text{ autokuormaa}}$$

6 TULOSTEN TARKASTELU

Kerättyjen tulosten todenperäisyyttä tarkasteltiin kolmella eri menetelmällä. Matemaattisesti Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, laivan omilla päästömittauksilla sekä laboratorikokeilla. Excel-taulukkolaskennalla laskettiin eri polttoainelaatujen laimeneminen keskenään matemaattisesti ja tuloksia verrattiin laivan omiin mittauksiin sekä laboratoriotuloksiin.

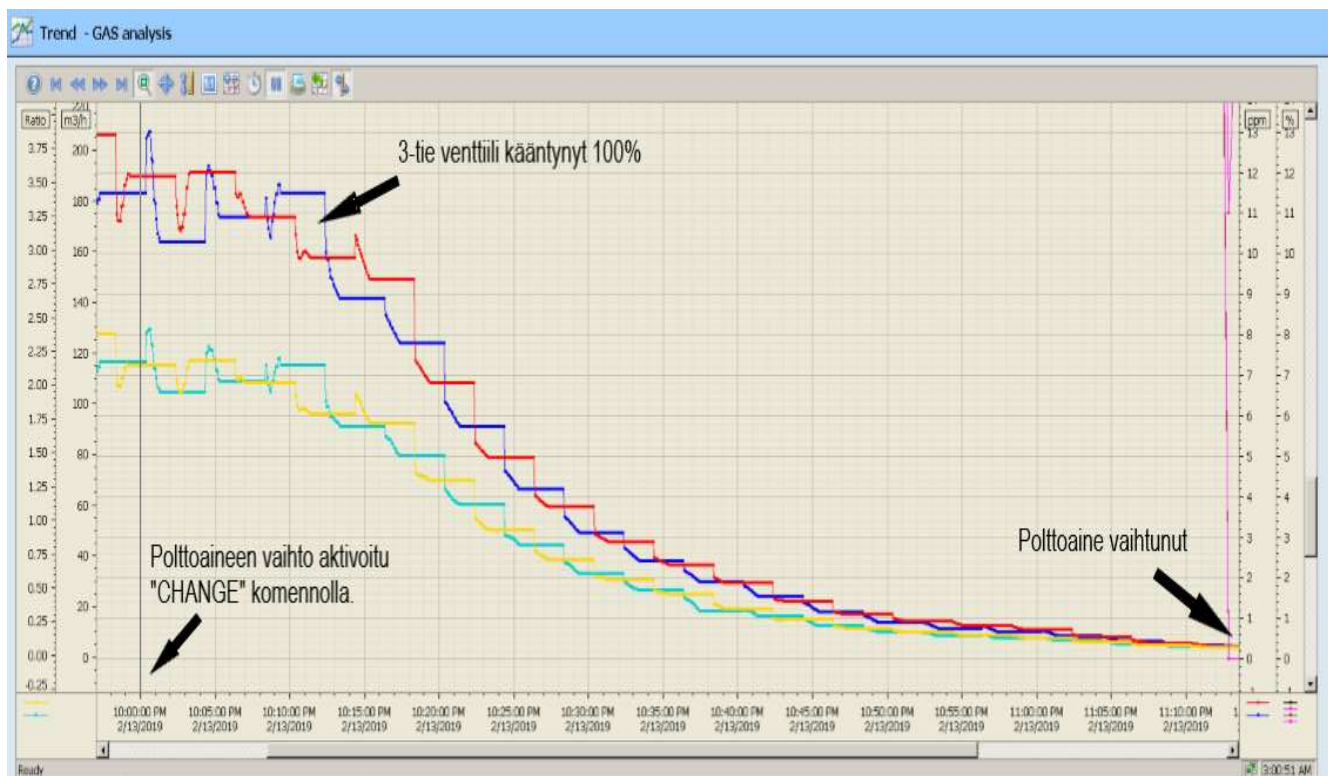
Tulosten perusteella matemaattiset polttoaineenvaihtolaskentaohjelmat, esimerkiksi FOBAS (Fuel Oil Bunker and Advisory Service) fuel change-over calculator antavat hyvinkin tarkan ajan, jolla voidaan varmistaa oikea aika polttoaineen vaihtumiselle. Kuvassa 11 on esitetty tässä opinnäytetyön laskennassa käytettyä Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.



Kuva 11. HSFO to LSFO Excel taulukkolaskentaohjelma. (Ihalainen 2019)

Polttoaineen vaihtumista seurattiin, kuten edellä on mainittu, myös laivan omilla päästömittauksilla. Finnstar on varustettu SICK-pakokaasuanalysointilaitteella, joka on lippuvaltion ja luokituslaitoksen hyväksymä pakokaasujen mittaus- ja analysointilaitteisto. SICK-analysointilaitteisto mittaa pakokaasuista SO₂ rikkipartikkelit ppm-arvolla sekä CO₂ hiilidioksidipitoisuuden prosentteina. Analysointilaitteisto ilmoittaa tuloksen SO₂/CO₂-suhdelukuna. Päästörajaksi on määrätty arvo < 4,3 johon pakokaasupesureiden on pakokaasut vähintään puhdistettava (IMO 2015). Yleisesti SO₂/CO₂-suhdeluku vaihtelee polttoaineen mukaan 1,15–3,6 välillä.

Kuvassa 12 on esitetty SICK-pakokaasuanalysointilaitteen mittaukset polttoaineenvaihtotilanteessa. Kuvaan on merkitty eri tilanteet polttoaineenvaihdon aikana. Ensimmäisessä kohdassa polttoaineen vaihdosta vastaava konemestari aktivoi vaihdon HFO/MGO kolmitieventtiilin Change-komennolla automaatiojärjestelmästä. Toisessa kohdassa kolmitieventtiili on kääntynyt 100 %, jolloin polttoaineen vaihto katsotaan alkavaksi. Kolmannessa kohdassa pakokaasuanalysointilaitteen arvo ei enää muutu, jolloin polttoaineenvaihto on täysin tapahtunut.



Kuva 12. SICK-analysointilaitteen mittaukset PA-vaihto tilanteessa. (Ihalainen 2019)

Kolmantena vertailutoimena lähetettiin ylimääräinen polttoainenäyte pääkoneen duplex-suodattimelta Lloyd's Registerin FOBAS (Fuel Oil Bunker and Advisory Service) laboratorioon Englantiin. Laboratoriotulokset tukivat lähes identtisesti Excel-taulukkolaskennan antamia tuloksia. Liitteessä 4 on esitetty laboratoriotulokset ME3:n duplex-suodattimelta otetusta polttoainenäytteestä, joka on otettu noin 1h 30min polttoaineen vaihdon käynnistymisen jälkeen. Laboratorio antoi näytteelle tuloksen $S = 0,067 \text{ \%m/m}$. HFO S % oli öljypäiväkirjan mukaan kyseisenä ajankohtana $S 2,6 \text{ \%m/m}$ ja MGO S % oli $S < 0,01 \text{ \%m/m}$. Taulukkolaskentaohjelma antoi kyseisillä arvoilla ajaksi, että päästään arvoon $S \approx 0,0676 \text{ \% m/m} = 94\text{min}$, joka vastaa lähes täydellisesti laboratorion tulosta.

Tuloksia vertailemalla päästiin loppupäätelmään, että kustannustehokkain polttoaine normaaliolosuhteissa Finnlinesin Star-luokan laivoilla on Neste-Oilin erittäin vähärikkinen ULS MGO -laatu, jonka rikkipitoisuus on $< 0,01 \text{ \% m/m}$. Tutkimuksissa selvisi myöskin, että ULS MGO -laadulla polttoaineen vaihdosta vastaava konemestari on perehdytettävä hyvin eri polttoainelaatujen fyysikaalisiin ominaisuuksiin. Näin pystytään tunnistamaan mahdolliset häiriötekijät sekä estämään mekaaniset vauriot polttoainejärjestelmässä.

7 LOPPUSANAT

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella polttoaineen vaihtoon käytettävän polttoaineen ja siihen liittyvän toteutuksen tutkiminen M/S Finnstarilla. Tämä kokonaisuus osoittautui erittäin haastavaksi ja mielenkiintoiseksi projektiksi. Opinnäytetyön kirjallinen osio käsittää vain hyvin pienen osan koko projektin laajuudesta, koska suurin osa projektista on tapahtunut aluksen konetiloissa ja varsinkin polttoainejärjestelmän ympärillä. Olen saanut projektin aikana tietoa ja apua aluksen teknisiin ominaisuuksiin liittyen ensimmäisiltä konemestareilta sekä aluksella pitkään toimineilta henkilöiltä ammatillisten neuvojen muodossa.

Opinnäytetyön haasteellisuutta lisäsi aluksen järjestelmien dokumentointi, jota on vuosien saatossa muokattu. Uudistusten jälkeinen dokumentointi on jäänyt hieman puutteelliseksi. Lisäksi uusien näkemysten ja tapojen tuonti työympäristöön aiheutti tutkimukselle omat haasteensa.

Opinnäytetyön tekeminen on ollut kokonaisvaltaisesti haastava ja palkitseva projekti, jota olen pyrkinyt viemään määrätietoisesti eteenpäin. Teoreettisen tiedon kerääminen loi hyvät puitteet yksityiskohtaisemmalle tutkimuskohteen tarkastelulle ja tiedon lisääntyessä tutkimusta oli johdonmukaista viedä eteenpäin.

Opinnäytetyön parissa työskentely on lisännyt ymmärrystä ja tietoa polttoainejärjestelmän eri osa-alueista ja mahdollisista ongelmakohtista. Opinnäytetyön edetessä oli mahdollisuus syventyä intensiivisemmin muun muassa polttoainejärjestelmien ydinongelmiin ja etsiä niihin ratkaisuja.

Haluan kiittää opinnäytetyön toimeksiantajaa Finnlines Oyj:tä laadukkaasta opinnäytetyön ohjauksesta, ammatillisesta tukemisesta sekä hyvästä yhteistyöstä opinnäytetyön laatimisessa. Haluan kiittää tutkimukseen osallistuneita asiantuntijoita, ylikonemestari Ismo Kujalaa sekä ylikonemestari Esa Bjongia, tutkimuksen avustamisesta sekä oppilaitoksemme, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, XAMK:n opinnäytetyön ohjaajaa, Joel Paanasta.

Opinnäytetyötä tehdessä olen saavuttanut omat tavoitteeni tutkimustyössä: parantaa alusten kustannustehokkuutta sekä optimoida toimintatapoja, joihin jatkuvasti kiristynvä ympäristöpolitiikka aiheuttaa merenkululle vaatimuksia. Toivoisinkin, että tulevaisuudessa pystyttäisiin tarkastelemaan esimerkiksi polttoainekustannuksia kokonaisvaltaisemmin eikä tehtäisi hankintaa pelkkään hintaan perustuen. Kuten tutkimuksessani selvisi, halvin tonnihinta ei välttämättä ole käytössä halvin.

LÄHTEET

den Boer, E. Ahdour, S. Meerwald, H. 2016. SECA Assessment: Impacts of 2015 SECA marine fuel sulphur limits. First drawings from European experiences. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/nabu-seca-studie2016.pdf> [viitattu 1.8.2019].

IMO, Marine Environment Protection Committee. 2015. Air pollution and energy efficiency. WWW-julkaisu. Saatavissa: <http://www.helmepa.gr/pdf/MEPC68-3-2-Sulphur-monitoring-2014.pdf> [viitattu 18.8.2019].

Lange, B. 2015. Impacts of Scrubbers on the environmental situation in ports and coastal waters. WWW-julkaisu. Saatavissa: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/impacts-of-scrubbers-on-the-environmental-situation> [viitattu 11.7.2019].

Ship and Bunker. 2019. Rotterdam Bunker Prices, LSMGO. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#LSMGO> [viitattu 10.7.2019].

Tervonen, J. 2017. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 3/2017. Väylämaksun alentaminen ja tavaraliikenteen rataveron poistaminen. Seuranta 2015–2016. WWW-julkaisu. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79304/03_2017_LVM%20vaylamaksu%20ja%20ratavero.pdf?sequence=1 [viitattu 11.8.2019].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Pakokaasupesuri -installaatio, M/S Finnstar. (Assembly drawing, M/S Finnstar 2005, 45). Ei saatavana julkisesti.

Kuva 2. Öljyjalostamon yksinkertaistettu kaaviokuva. Prosessitekniikka.kpedu.fi Saatavissa: <http://prosessitekniikka.kpedu.fi/doc-html/oljynjal.html> [viitattu 18.8.2019]

Kuva 3. Päästökieltoalueen raja Trave-joella. (Ihalainen 2019)

Kuva 4. Boosterikoneikon pääkomponentit. (M/S Finnstar, assembly drawing, 2005, 23) Ei saatavana julkisesti.

Kuva 5. Polttoaineen vaihtuminen. (Ihalainen 2019)

Kuva.6 Polttoaineen jäähtyminen ja kavitaatio. (tuloste M/S Finnstar 2019) Ei saatavana julkisesti

Kuva 7. ASC-yksikön sijoitus FMC-järjestelmässä. (Alfa Laval, Component Description. Finnstar assembly drawing 2015, 10). Ei saatavana julkisesti.

Kuva 8. Polttoaineen vaihtuminen, kulutuksella 2100 litraa/h. (Ihalainen 2019)

Kuva 9. Polttoaineen laimentuminen $< 0,1$ %m/m S. (Ihalainen 2019)

Kuva 10. Low Sulphur MGO:n hintakehitys Rotterdamissa. Saatavissa: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#LSMGO> [viitattu 10.7.2019]

Kuva.11 HSFO to LSFO Excel taulukkolaskentaohjelma. (Ihalainen 2019)

Kuva 12. SICK-analysaattori mittaukset PA-vaihto tilanteessa. (Kuvakaappaus, EcoSpray main computer, 2019). Ei saatavana julkisesti.

NESTE

1.1.2018

TUOTETIEDOTE Neste MGO DMA	PRODUKTIDATA Neste MGO DMA		PRODUCT DATA SHEET Neste MGO DMA		
	Yksikkö Enhet Unit	Laaturaja Kvalitetskrav Specification		Tyypillinen arvo Typvärde Typical analysis	Määrittäminen Testmetod Test method
		min.	max.		
Viskositeetti, 40 °C Viskositet vid 40 °C Viscosity at 40 °C	mm ² /s	2,00	6,00	3	EN ISO 3104
Tiheys, 15 °C Densitet vid 15 °C Density at 15 °C	kg/m ³	820,0	890,0	835	EN ISO 12185
Setaani-indeksi Cetanindex Cetane index		40,0		52	EN ISO 4264
Rikki Svavelhalt Sulphur content	mg/kg		10	6	EN ISO 20846
Leimahduspiste Flampunkt Flash point	°C	60		63	EN ISO 2719
Happoluku Syratal Total Acid Number	mg KOH /kg		2,00	0,01	EN ISO 12937
Sedimentti Sediment Total contamination	mg/kg		24	3	EN 12662
Hapetuskestävyys Oxidations stabilitet Oxidation stability	g/m ³		25	2	EN ISO 12205
FAME	til-% vol-% % v/v		0	0	EN 14078
Hiilijäännös 10 % pohjasta Kokstäl av 10 % återstod Carbon residue on 10 % distillation residue	p-% mass-% % m/m		0,30	< 0,02	EN ISO 10370
Samepiste Grumlings temperatur Cloud point	°C		0 *) -5 *)	-0 (1,5.-31,8.) -5 (1,9.-30,4.)	EN 23015 D 5773 ASTM D 7689
Suodatettavuus Filterbarhetstemperatur CFPP	°C		-7 *) -15 *)	-7 (1,5.-31,8.) -15 (1,9.-30,4.)	EN 116
Väri ja ulkonäkö Färg och utseende Appearance	Punainen, kirkas, ei kiinteitä epäpuhtauksia Röd, klar och blank Red, clear and bright				D 4176-2
Vesi Vatten Water content	mg/kg		200	53	EN ISO 12937
Tuhka Askhalt Ash content	p-% mass-% % m/m		0,010	< 0,001	EN ISO 6245
Voitelevuus / HFRR Smörjbarhet / HFRR Lubricity / HFRR	mm		520	400	EN ISO 12156-1



1.1.2018

TUOTETIEDOTE
 Neste MDO DMB

PRODUKTDATA
 Neste MDO DMB

PRODUCT DATA SHEET
 Neste MDO DMB

	Yksikkö Enhet Unit	Laaturaja Kvalitetskrav Specification		Tyypillinen arvo Typvärde Typical analysis	Määrittämenetelmä ¹⁾ Testmetod ¹⁾ Test method ¹⁾
		min.	max.		
Viskositeetti, 40 C Viskositet vid 40 C Viscosity at 40 C	mm ² /s	2,000	11,00	8,50	EN ISO 3104
Viskositeetti, 50 C, laskettu Viskositet vid 50 C, kalkylerad Viscosity at 50 C, calculated	mm ² /s	3,200	8,30	6,50	EN ISO 3104
Tiheys, 15 C Densitet vid 15 C Density at 15 C	kg/m ³		900	878	EN ISO 12185
Setaani-indeksi Cetanindex Cetane index		35			EN ISO 4264
Rikki Svavelhalt Sulphur content	mass %		0,1	0,05	EN ISO 8754
Leimahduspiste Flampunkt Flash point	C	60,0		107	EN ISO 2719
Rikkivety Dihydrogensulfid Hydrogen sulfide	mg/kg		2,00	< 0,40	IP 570
Happoluku Syratal Acid number	mg KOH/g		0,5	0,1	ASTM D664, ISO 6619
Kokonaissedimentti ²⁾ Sediment ²⁾ Total sediment existent ²⁾	mass %		0,10	< 0,01	ISO 10307-1
Hapetuskestävyys ²⁾ Oxidations stabilitet ²⁾ Oxidation stability ²⁾	g/m ²		25	7	EN ISO 12205
Hiiltojännös Kokstal Carbon residue	mass %		0,30	0,04	EN ISO 10370
Jähmepiste ²⁾ Lägsta flyttemperatur ²⁾ Pour Point ²⁾	Kesä, Summer C Talvi, Winter		10 5	7 0	ISO 3016, D7346, ASTM D5950
Väri ja Ulkonäkö+25 °C ³⁾ Färg och utseende +25 °C ³⁾ Appearance +25 °C ³⁾		Not Transparent / C&B		Varied	ASTM D 4176
Vesi ²⁾ Vatten ²⁾ Water content ²⁾	vol %		0,30	<0,01	EN ISO 3733, ASTM D6304C, EN ISO 10336
Tuhka Askhalt Ash content	mass %		0,010	0,001	EN ISO 6245
Voitelevuus / HFRR, 60 C ³⁾ Smörjbarhet / HFRR, 60 C ³⁾ Lubricity / HFRR, 60 C ³⁾	mm/60°C		520	400	EN ISO 12156-1

Product FUEL OIL (IFO 380) Composite prep date July 13, 2019 19:00

	Method	Unit	Result
Kinematic Viscosity at 50°C	ISO 3104	mm ² /s	363.3
Density at 15°C	ISO 12185	kg/m ³	962.8
CCAI	ISO 8217 (6.2)	-	824
Sulphur (S)	ISO 8754	mass %	2.15
Flash point (PM) procedure B	ISO 2719	°C	98.5
Total Acid Number Procedure A	ASTM D 664	mg KOH/g	0.05
Total Sediment Potential - Procedure A	ISO 10307-2	mass %	0.02
Carbon Residue Micro	ISO 10370	mass %	9.35
Pour Point (upper)	ISO 3016	°C	- 3 [1]
Water by distillation	ISO 3733	vol %	0.2
Ash Content	ISO 6245	mass %	0.024
Metals by ICP	IP 501		
Vanadium (V)		mg/kg	74
Sodium (Na)		mg/kg	5
Aluminium (Al)		mg/kg	11
Silicon (Si)		mg/kg	11
Aluminum (Al) plus Silicon (Si)		mg/kg	22
Calcium (Ca)		mg/kg	4
Zinc (Zn)		mg/kg	< 1
Phosphorous (P)		mg/kg	< 1
Hydrogen Sulphide methode A	IP 570	mg/kg	< 0.60 [2]

VESSEL: Finnstar
 CLIENT: Grimaldi Group
 RECEIVED BY LAB: 27 Nov 2018

IMO NUMBER: 9319442
 REPORT NUMBER: 655297
 AWB No: 8439945662

BUNKER INFORMATION

BUNKER PORT: Travemunde
 BUNKER DATE: 24 Nov 2018
 FUEL SUPPLIER: NOT STATED
 BARGE NAME: Not Stated

BUNKER RECEIPT INFORMATION

BUNKER QUANTITY: Not Known
 BDR DENSITY @15°C : Not Known
 BDR Viscosity 40°C: Not Known
 BDR SULPHUR: Not Known

FUEL QUALITY INFORMATION

GRADE ORDERED: Adhoc DO
 SULPHUR LEVEL: LOW

SAMPLE SEAL INFORMATION

SENT TO LABORATORY: 1924053
 SHIP'S RETAINED: Not Known
 SUPPLIER: Not Known
 MARPOL ANNEX VI: Not Known
 OTHER: Not Known

TEST RESULTS

Characteristic	Method	Spec Limit	Result	Unit
Pass/Fail/				
95%CL				Within
Sulphur Content	ISO 8754	-	0.067	% m/m
Pass				

Sample Information

From the information that was received with this sample, the following details of how the sample was taken have been ascertained:

Method: Not Stated

Location: NOT STATED

The sample was received into the laboratory with seal number 1924053. The seal was intact on arrival at the laboratory and was broken so that analysis could commence.

Interpretation of Results

Based on information received with regard to this sample, the fuel has been purchased in accordance to Grade Adhoc DO. The results of this sample have therefore been compared against this grade and the interpretations below are based on this assumption. Please be aware that all comments below are only for guidance and we would always recommend that advice from the engine manufacturers is obtained in combination with our advice.

The above test results indicate that based on the sample received, each parameter tested conforms to the specification limit to which it has been compared.

Sample Details: ME3 Duplex Filter

NOTE: Sample sent for sulphur only analysis