

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Ismo Kujala

Niklas Wangel

RIKKIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN LAIVAN PAKOKAASUISTA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

KUJALA, ISMO

WANGEL, NIKLAS

Rikkipäästöjen vähentäminen laivan pakokaasuista

Opinnäytetyö

56 sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Eckerö Line Oy Ab

Joulukuu 2010

Avainsanat

rikki, MARPOL, pakokaasut, ilmansaasteet, puhdistus

Opinnäytetyön hankkeistajana toimi varustamoyritys Eckerö Line Oy Ab. Työn tarkoituksena oli tutkia, miten uudet, vuodesta 2010 alkaen tiukkenevat rikkipäästöjä koskevat enimmäisraja-arvot Itämeren alueella tulevat vaikuttamaan varustamon toimintaan ja varustamon mahdollisuuksiin saavuttaa kyseiset raja-arvot taloudellisesti.

Suurin osa Itämeren alueella liikennöivistä laivoista käyttää pääasiallisena polttoaineenaan halvempia raskaita polttoöljyjä, joita ei ainakaan tällä hetkellä ole rikittömänä saatavilla. Sen sijaan että siirryttäisiin käyttämään kokonaan rikittömiä ja kalliita kevyitä polttoainelaatuja, markkinoille on tullut erilaisia teknisiä laitteistoja, joilla pystytään laivan pakokaasuista poistamaan rikki. Opinnäytetyössä esitellään näitä pakokaasupesureita ja selvitetään niiden toimintaa.

Kotimainen laivamoottorivalmistaja Wärtsilä Oy on ollut ensimmäisten joukossa kehittämässä pakokaasupesureita, jotka soveltuvat laivakäyttöön. Wärtsilältä on pyydetty Eckerö Linen M/S Translandiaa varten pesureiden hankinta- ja käyttökustannuksia koskevat laskelma. M/S Tranlandia toimi esimerkkialuksena tässä työssä.

Työn tuloksena voidaan todeta, että pesurihankintoja suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon aluksen ikä ja sen arvioidut jäljellä olevat käyttövuodet, jotta pystytään näkemään, ovatko pesuri-investoinnit taloudellisesti kannattavia.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

KUJALA, ISMO

WANGEL, NIKLAS

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

December 2010

Keywords

Sulfur Emission Reduction in Ship Exhaust Gases

56 pages + 6 pages of appendices

Ari Helle, Lecturer

Eckerö Line Oy Ab

sulfur, MARPOL, exhausts, emissions, cleaning

The main supporter of this thesis was shipping company Eckerö Line. The aim of this thesis was to examine the effects on the shipping company functions caused by the limits of sulfur emissions which have been in effect since 2010, and what options Eckerö Line has to economically reach these limits.

Most of the ships operating in the Baltic Sea region use cheaper heavy fuel oil, which is not at the moment available sulfur-free. Instead of starting to use entirely sulfur-free light fuel grades, a variety of technical equipment capable to remove sulfur at ship exhaust gases has entered the market. These include the exhaust gas scrubber which this thesis studied.

Domestic marine engine manufacturer Wärtsilä Oy has been in the forefront in developing these scrubbers which are suitable for marine applications. Wärtsilä has been asked to calculate the scrubber acquisition and operating costs in Eckerö Lines M/S Translandia which serve as a reference ship in this thesis.

As a result, it can be concluded that the scrubber procurement planning must take into account the age of the vessel and its remaining estimated period of use in order to be able to assess whether the scrubber investment will be financially viable.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITELUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
2 ECKERÖ LINE OY AB	9
3 POLTTOAINEET	15
3.1 Laivojen polttoaineet	15
3.1.1 Raskaat polttoöljyt	16
3.1.2 Kevyet polttoöljyt	18
3.2 Rikkipitoisuus	18
3.3 Polttoaineen rikkipitoisuuden vaikutus ympäristölle	20
4 ALUKSEN PAKOKAASUJEN RIKKIPITOISUUKSIA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET	21
5 RIKINPOISTO ALUKSEN PAKOKAASUISTA	23
5.1 Märkäpesurit	23
5.1.1 Merivesipesuri	27
5.1.2 Makeavesipesuri	28
5.1.3 Yhdistelmäpesuri CSNOx	30
5.2 Kuivapesuri DryEGCS	34
5.3 Rikkipesurin asentaminen alukseen	37
3.5 Tulevaisuuden näkymät	39
6 KUSTANNUKSET	40
6.1 Rikkipesurin investointi- ja käyttökustannukset	40
6.2 Polttoaineiden hinnat	43
6.3 Polttoaineiden arvioidun hinnannousun vaikutus kustannuksiin	45
7 ASENNUSMAHDOLLISUUDET M/S TRANSLANDIALLA	46

7.1 Rikkipesurien mahdolliset asennuskohteet	46
8 JOHTOPÄÄTÖS/ SUOSITUS	50
LÄHTEET	55
LIITTEET	

Liite 1. SOx Scrubber Economical Study For Eckerö Line M/S Translandia

KÄSITELUETTELO

EU	Euroopan unioni
HELCOM	Helsingin Komissio, Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio
HFO	Heavy Fuel Oil, raskas polttoöljy
IMO	International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulkujärjestö
LNG	Liquefied Natural Gas, nesteytetty maakaasu
MARPOL	Marine Pollution, Kansainvälinen meriympäristönsuojelusopimus
MDO	Marine Diesel Oil, meridiesel
MGO	Marine Gas Oil, meriliikenteen kaasuöljy
MW	megawatti
NO _x	typen oksidit
SECA	Sulphur Emission Control Area, rikin oksidipäästöjen valvonta-alue
SO _x	rikin oksidit

1 JOHDANTO

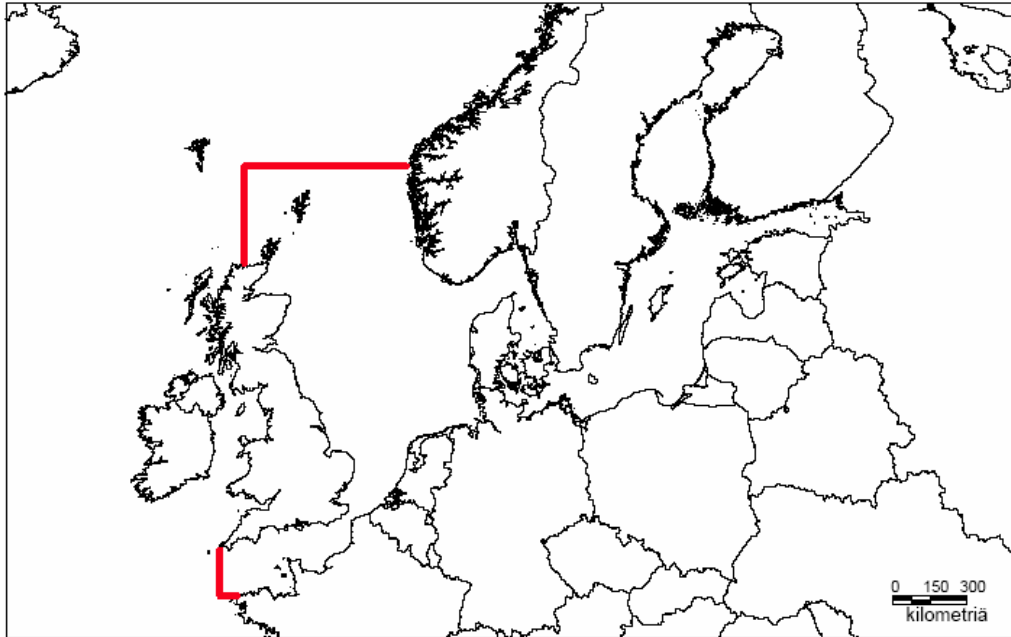
Vuonna 2015 kansainvälinen merenkulku Itämerellä ja muillakin rikinoksidipäästöjen valvonta-alueilla (SECA, Sulphur Emission Control Area) kokee suuria muutoksia, jos YK:n alaisuudessa toimivan kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n meriympäristön suojelukomitean MEPC yksimielisesti vuonna 2008 hyväksymä MARPOL 73/78 -yleissopimuksen ilmansuojeluliite, liite VI, astuu voimaan. Tällöin SECA- alue tulee voimaan uudet määräykset, joiden mukaan aluksissa tulee siirtyä käyttämään rikkittömiä laivapolttoaineita. Uusien määräysten pyrkimyksenä on rajoittaa aluksien pakokaasujen haitallisia typenoksidi- (NO_x) ja rikkioksidipäästöjä (SO_x). Tavoitteena on myös rikkipitoisuustasoa laskemalla alentaa alusliikenteestä syntyvien haitallisten pienhiukkaspäästöjen määrää ja niiden haittavaikutuksia ihmisen terveydelle sekä ympäristölle. Uudistetun ilmansuojeluliitteen ensimmäinen vaihe astui voimaan 1.7.2010, jolloin erityisalueilla korkein sallittu polttoaineiden rikkipitoisuus laski 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin. Seuraavassa vaiheessa vuonna 2015 enimmäisrikkipitoisuus tuli laskisi 1,0 prosentista 0,1 prosenttiin. Maailmanlaajuisesti sallitut rikkipitoisuusrajat laskisivat 1.1.2012 4,5 prosentista 3,5 prosenttiin ja 1.1.2010 alkaen 0,5 prosenttiin. Lisäksi Euroopan unionin alueilla astui 1.1.2010 voimaan Euroopan unionin määräys, jonka mukaan yli kaksi tuntia jäsenvaltioiden satamissa viipyvien alusten on käytettävä tänä aikana korkeintaan 0,1 prosenttia rikkiä sisältäviä polttoaineita. (Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

Vaihtoehtoja edellä mainittujen raja-arvojen saavuttamiseksi ei vielä kovin paljon ole. Yksi mahdollisuus on, että siirrytään käyttämään raskaidenpolttoainelaatujen sijaan kevyitä rikkittömiä ja puhtaampia kevyitä polttoainelaatuja, sillä rikitöntä raskasta polttoöljyä ei nykyisellään ole saatavilla. Teknisesti tämä on kyllä jo nykyisin mahdollista, mutta taloudellisesti sen valmistus ei ole vielä kannattavaa. Toinen IMO:n hyväksymä vaihtoehto olisi rikkipesurit, joita esimerkiksi kotimainen Wärtsilä Oy on ollut mukana kehittelemässä kymmenkunta vuotta, ja ensimmäiset Itämeren alueelle sovellettujen rikkipesureiden koekäytöt ovat käynnissä. Nämä koetulokset antamaan varustamoille suuntaa heidän suunnitellessa ympäristöystävällisempää polttoainepolitiikkaa

MEPC:n kokouksessa hyväksyttiin myös alusten NO_x-päästöjä koskevat ns. kolmen vaativuustason päästörajoitukset (Tier 1-3). Jo nykyisin voimassa olevan Tier 1:n lisäksi uusiin laivamoottoreihin tulevat Tier 2 (voimaan vuonna 2011, noin 20 prosenttia alemmat kuin Tier 1 tasolla) ja Tier 3-päästörajat (voimaan vuonna 2016, noin 80 prosenttia alemmat kuin Tier 1 tasolla). Tier 3 tulee noudatettavaksi erikseen perustettavilla erityisalueilla (Emission Control Area) ja tarkoittaa käytännössä nykyisin esimerkiksi sitä, että katalysaattorijärjestelmät tulevat aluksilla pakollisiksi. Tier 2 – tason sijaan pystytään saavuttamaan kehittämällä laivamoottoreiden tekniikkaa entistä nykyaikaisemmaksi, esimerkiksi polttoainetaloutta parantamalla. Itämeren alueella ei toistaiseksi ole NO_x-päästöjen erityisaluetta, mutta Itämeren suojelukomissio HELCOM tutkii parhaillaan mahdollisuuksia sen perustamiselle. (Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, mitä eri mahdollisuuksia ja teknisiä sovelluksia nykyisellään on olemassa, jotta pystytään saavuttamaan tulevat ja jo voimassa olevat rikinpäästörajoitukset. Lisäksi tarkoituksena on tarkastella polttoaineen rikkipitoisuusmääräysten vaikutusta polttoainekustannuksiin. Teknisen puolen pääpainoalue tulee olemaan erilaiset rikkipesurit ja niiden jälkiasennusmahdollisuudet vanhempiin aluksiin, jotka liikennöivät erityisalueilla. Esimerkkialuksena toimii Eckerö Linen Helsingin ja Tallinnan välillä liikennöivä ropax alus M/S Translandia. Aluksen koneistoon kuuluu kaksi kappaletta pääkoneita, joiden polttoaineena toimii raskas polttoöljy (IFO180), ja kaksi kappaletta kevyttä polttoöljyä (MGO) käytäviä apukoneita. Lisäksi aluksella on vielä yksi kevyttä polttoöljyä käyttävä lämmityskattila.

Rikkipesureita kehittää ja valmistaa muutkin moottori- ja kattilavalmistajat kuin Wärtsilä, kuten esimerkiksi MAN diesel ja Aalborg industries. Tässä työssä keskityttiin pääasiassa Wärtsilän laitteistoon. Muilta valmistajilta ei ole kysytty tietoa niiden rikkipesureistaan.



Kuva 1. Itämeren, Pohjanmeren ja Englannin kanaalin SECA- erityisalue (Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

2 ECKERÖ LINE OY AB

Rederiaktiebolaget Eckerö on perustettu vuonna 1961 harjoittamaan Suomen, Ruotsin ja Ahvenanmaan välistä autolauttaliikennettä. Rederiaktiebolaget Eckerö on Eckerö-konsernin emoyhtiö. Konserniin kuuluu tätä nykyä viisi liiketoiminta-aluetta: Eckerö Linjen, Eckerö Line, Birka Cruises, Birka Cargo ja Williams Buss. Eckerö Linjen harjoittaa autolauttaliikennettä Eckerön ja Grisslehamnin välillä M/S Eckerö -nimisellä lippulaivallaan. (Eckerö Line Oy Ab)



Kuva 2. M/S Eckerö (Fakta om Fartyg)

Birka Cruises harjoittaa risteilyliikennettä Tukholmasta M/S Birka Paradise -aluksella, joka on ainoa Tukholmasta säännöllisesti risteilyjä tekevä risteilyalus.



Kuva 3. M/S Birka Paradise (Fakta om Fartyg)

Eckerö Line harjoittaa autolauttaliikennettä Helsingin ja Tallinnan välillä ja suuntautuu toiminnassaan sekä rahti- että matkustajareittiliikenteeseen. Matkustaja aluksena toimii yhtiön M/S Nordlandia. (Eckerö Line Oy Ab)



Kuva 4. M/S Nordlandia (Fakta om Fartyg)

Eckerö Linen rahtikuljetuksesta välillä Helsinki-Tallinna taas vastaa M/S Translandia alus, joka toimii myös tämän opinnäytetyön esimerkki aluksena.



Kuva 5. M/S Translandia (Eckerö Line Oy Ab)

ALUKSEN TEKNISET TIEDOT

Nimi: M/S Translandia, ex Transparaden (2004), ex Rosebay (1997), ex Eurocruiser (1997), ex Eurostar (1997), ex Rosebay(1976)

Kotipaikka: Eckerö

Tunnuskirjaimet: OJJR

IMO numero: 7429229

Laji: Ro-ro matkustaja-alus

Kansallisuus: Suomi

Rakennusvuosi ja paikka: 1976 /Hampuri, Saksa

Suurin pituus: 135,75 m

Perpentikkelipituus: 119,93 m

Leveys: 21,7 m

Syväys: 5,7 m

Deadweight: 4113 ton

Brutto: 13867

Netto: 4161

Koneteho: 9311 kW

Birka Cargo harjoittaa ro-ro-liikennettä omilla aluksillaan Suomen, Ruotsin ja Manner-Euroopan välillä. Birka Cargolla on käytössään 7 alusta. Toiminta perustuu pitkän aikavälin charter-sopimuksiin suomalaisen ja ruotsalaisen vientiteollisuuden kanssa. (Eckerö Line Oy Ab)



Kuva 6. M/S Birka Trader (Fakta om Fartyg)



Kuva 7. M/S Baltic Excellent (Fakta om Fartyg)



Kuva 8. M/S Birka Express (Fakta om Fartyg)



Kuva 9. M/S Birka Carrier (Fakta om Fartyg)



Kuva 10. M/S Birka Transporter (Fakta om Fartyg)



Kuva 11. M/S Birka Exporter (Fakta om Fartyg,)



Kuva 12. Birka Shipper (Fakta om Fartyg)

3 POLTTOAINEET

3.1 Laivojen polttoaineet

Suurin osa nykyisistä meriliikenteessä olevista aluksista käyttää dieselmootoreita aluksen potkurien pyörittämiseen ja sähkön tuottamiseen. Nämä suuritehoiset dieselmootorit käyttävät yleensä pääkoneiden polttoaineena raskasta polttoöljyä (HFO/IFO), joka on laadultaan huonoa mutta hinnaltaan taas edullista verrattuna kevyeen polttoöljyyn. Joissakin tapauksissa apukoneissa käytetään tislattuja polttoaineita, kuten meridieseliä (MDO) tai meriliikenteen kaasuöljyä (MGO, rikkipitoisuus korkeintaan 0,1 prosenttia), joilla on pienempi rikkipitoisuus. MDO:sta ja MGO:sta käytetään myös yhteisnimitystä kevyet polttoöljyt.

3.1.1 Raskaat polttoöljyt

Raskaat polttoöljyt ovat keveitä öljyjä halvempia, mutta vaativat kalliimmat polttolaitteet ja asiantuntevampaa huoltoa ja käyttöä. Raskaat polttoöljyt soveltuvat taloudellisesti kannattavasti kohteisiin, joiden tuottama teho on vähintään 1 MW.

Raskaita öljyjä on myynnissä eri viskositeetiltaan ja rikkipitoisuudeltaan erilaisia, ja ne on standardisoitu standardissa ISO 8217, versio IV 2010 on tällä hetkellä uusin.

Seuraavana muutamia myynnissä olevia polttoainelaatuja:

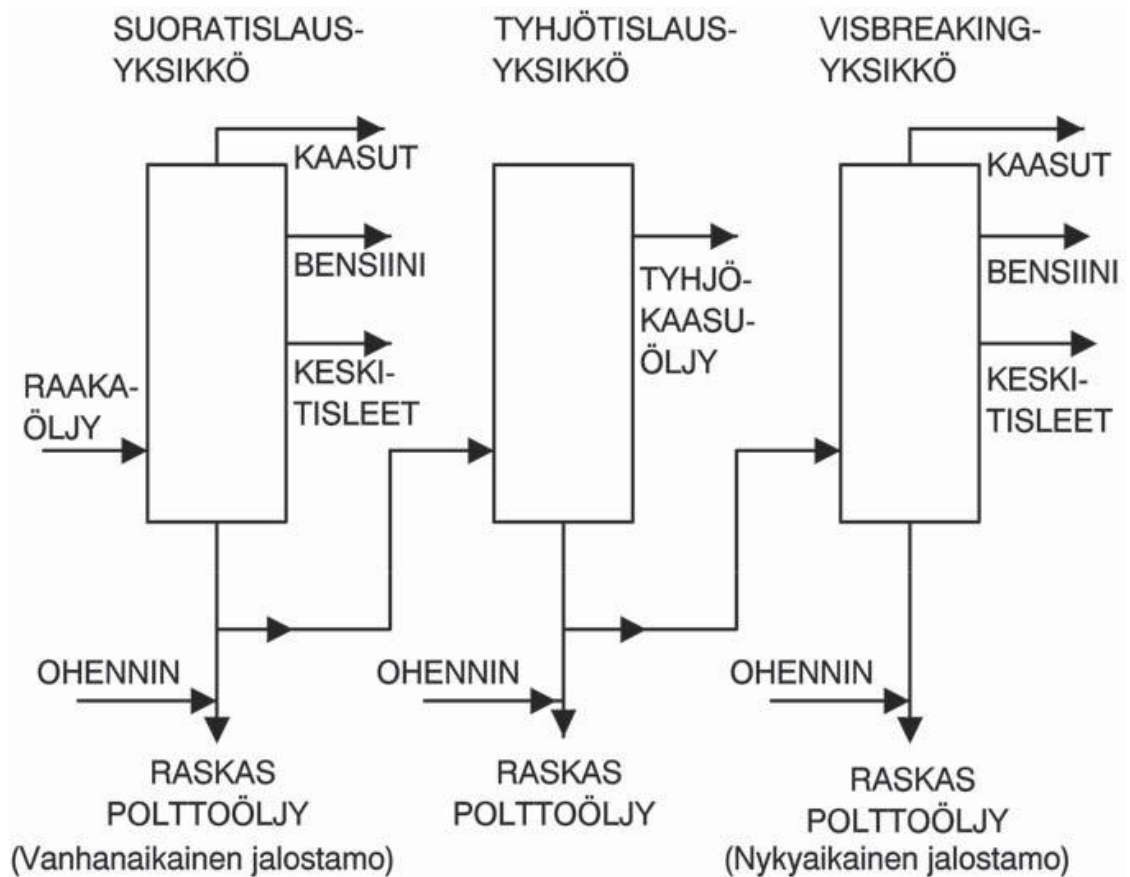
- IFO 380
- IFO 180
- IFO LS 380
- IFO LS 180.

Kauppanimessä lyhenne LS tarkoittaa vähärikkistä (Low Sulfur). Vähärikkisen polttoaineen rikkipitoisuus on yleensä <1,5 prosenttia

Kauppanimessä olevat numerot sen sijaan ilmaisevat öljyn viskositeetin (yksikössä mm^2/s) 50°C :n lämpötilassa. Öljyjen viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa siten, että lämpötilan noustessa viskositeetti laskee. Normaalisissa huoneen lämpötilassa kaikki raskaat öljyt ovat liian jähmeitä käsiteltäväksi, joten öljyjen juoksevuus on varmistettava kunnollisella lämmitys- ja kiertojärjestelmällä. (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006, 11)

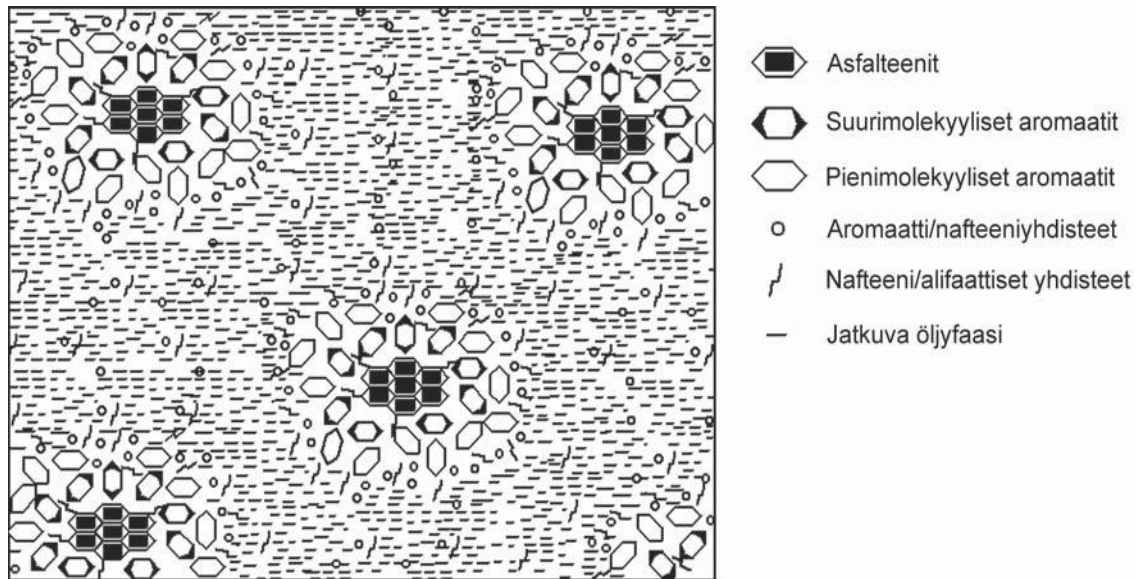
Tuote, jonka viskositeetti on korkein eli 380 vaatii korkeimmat öljynkäsittelylämpötilat ja hyvät polttolaitteet, mutta se on hinnaltaan edullisempia kuin matalamman viskositeetti pitoisuuden tuotteet.

Raskaat polttoöljyt valmistetaan sekoittamalla tarpeellinen määrä ohenninta (kuten kevyttä polttoöljyä) lämpökrakkausyksikön pohjaöljyyn, jonka viskositeetti on $2000\text{mm}^2/\text{s}$ 50°C :ssa. (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006, 11)



Kuva 13. Raskaan polttoöljyn yksinkertaistettu valmistuskaavio. (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006,8)

”Koska raskaat polttoöljyt valmistetaan krakkausyksikön raskaasta pohjaöljystä ohentamalla sitä halutun viskositeetin aikaansaamiseksi on raskaassa öljyssä vaikeasti haihtuvien koksia palaessa muodostavien ainesosasten osuus suuri. Öljyn raskaimmista ainesosista asfalteenit, jotka ovat runsaasti aromaattisia molekyyliä, poikkeavat muusta öljyosasta siinä, että ne liukenevat huonosti öljyyn ja muodostavat tämän vuoksi muiden hiilivetyjen muodostamaan nestefaasiin nk. misellejä eli nestepisaroita. Misellit pysyvät öljyssä öljyn ja misellien rajapintaan kertyvien aromaattisten, pitkäketjuisten hiilivetyjen, niin kutsuttujen kovien ja pehmeiden hartsien ansiosta.” (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006, 12)



Kuva 14. Raskaan polttoöljyn rakenne. (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006,12)

3.1.2 Kevyet polttoöljyt

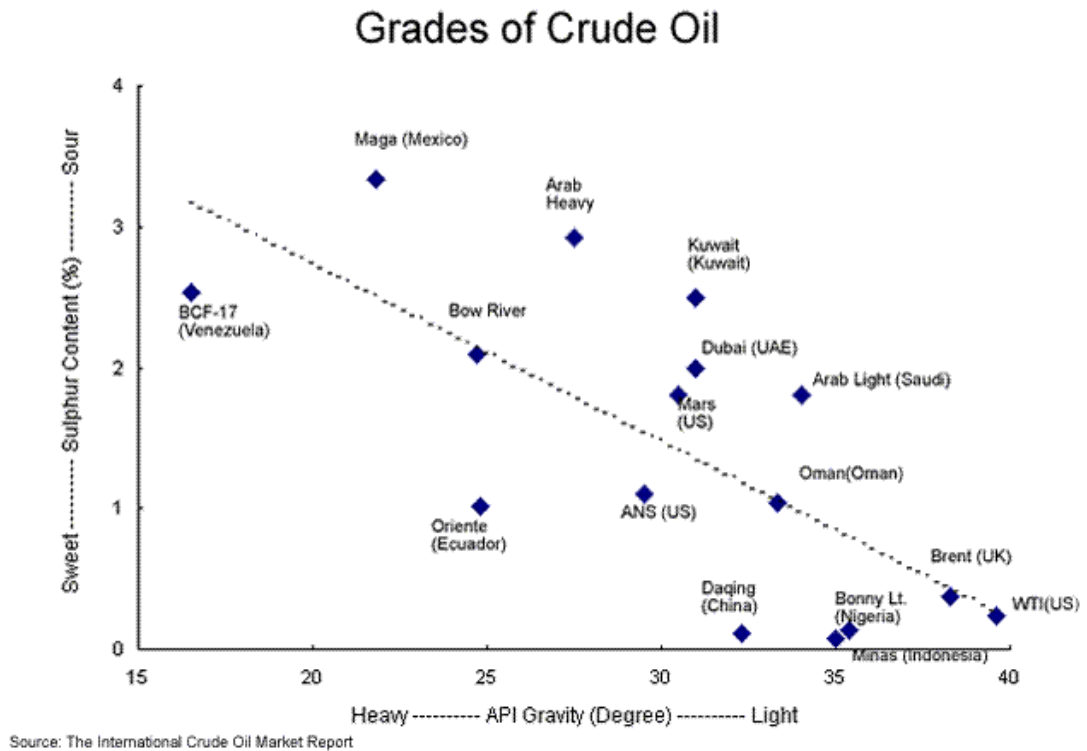
Kevyt polttoöljy on raskasta öljyä kalliimpia, mutta sen etuihin kuuluu se että se on helposti juokseva ja palava tisle, jonka polttamiseen tarvittavat polttolaitteet ovat yksinkertaisempia verrattuna raskasöljyä käyttäviin laitteistoihin. Tämän vuoksi kevytöljy soveltuu hyvin alle 1 MW:n tehoisiin kohteisiin.

3.2 Rikkipitoisuus

Raakaöljyn sisältämä rikki ja typpi konsentroituvat osittain pohjatuotteeseen, mutta osittain rikkiä ja typpeä jää myös kevyempiin jakeisiin. Sen sijaan raakaöljyn metalliset epäpuhtaudet, kuten vanadiini ja nikkeli, konsentroituvat lähes täydellisesti maiseleihin. Vaikka metallisten epäpuhtauksien osuus raskaassa öljyssä on kaiken kaikkiaan hyvin pieni, niin silti ne tekevät vaikeiksi öljynjalostusprosessissa kevyemmille jakeille tarkoitettujen rikinpoistojärjestelmien käytön raskaan öljyn rikinpoistoon myrkyttämällä rikinpoistokatalysaattorit. Vasta viime vuosina on tullut taloudellisesti mahdolliseksi poistaa rikkiä jalostuksen yhteydessä myös raskaista öljy-laaduista, mutta tämä vaatisi suuria investointeja jalostamoihin, mitä ei ainakaan toistaiseksi ole näkyvissä. (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006, 19)

Tietty matala rikki­pitoisuus on mahdollista saavuttaa kahdella tavalla:

- A) raskas polttoöljy valmistetaan raakaöljystä, joka luonnostaan sisältää vähemmän rikkiä tai
- B) korkearikkistä ja matalarikkistä polttoainetta sekoitetaan keskenään.



Kuva 15. Raakaöljyjen rikki­pitoisuuksia. (Grades of crude oil 2008)

Rikki­pitoisuudeltaan alle 1,5-prosenttinen polttoaine, jota vielä alkuvuodesta 2010 käytettiin Itämerellä, Pohjanmerellä ja Englannin kanaalissa, on normaalia korkearikkistä polttoainetta, johon on sekoitettu tietty osuus matalarikkistä polttoainetta. 1.7.2010 rikki­pitoisuusraja putosi 1,0 prosenttiin, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että korkeampirikkiseen polttoaineeseen sekoitetaan enemmän matalarikkistä. Eri polttoainelaatujen sekoittamisessa piilee kuitenkin se vaara, että syntyneet seokset ovat epästabiileja ja näin ollen heikompilaatuisia, mikä voi johtaa moottoritekniisiin ongelmiin. (Laivapolttoaineen rikki­pitoisuus vuonna 2015, 10)

Vuonna 2015 SECA-alueilla enimmäisrikki­pitoisuusraja laskee 0,1 prosenttiin. Tällöin polttoainelaatujen sekoittaminen on teknisesti mahdotonta ja on siirryttävä käyt-

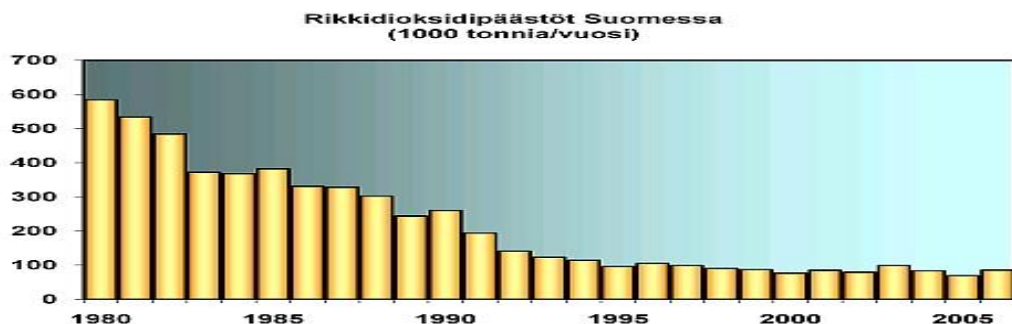
tämään kaasuöljyä (MGO), joka nykyisistä käytettävissä olevista polttoainelaaduista olisi ainoa mahdollisuus. Valmistustavasta johtuen MGO on huomattavasti kalliimpaa kuin raskaat polttoöljyt. Samoin kysynnän voimakkaalla kasvulla tulee todennäköisesti olemaan hintaa korottava vaikutus. Näin ollen jo olemassa ja kehitteillä olevat rikkipesurit tulevat näyttämään yhä suurempaa roolia laivojen pakokaasujen puhdistusjärjestelmää.

3.3 Polttoaineen rikkipitoisuuden vaikutus ympäristölle

Rikkiä on ilmakehässä lähestulkoon kaikkialla ja yleisimmät rikkiyhdisteet ovat rikkivety (H_2S), diametyylisulfidi (CH_3SCH_3), hiilidisulfidi (CS_2) ja rikkidioksidi (SO_2).

Öljyn palamisesta johtuvista päästöistä ovat ympäristön kannalta tärkeimmät rikki- ja typpipitoisuudet sekä tuhka ja hiiltojäännös. Näistä viranomaisia on eniten kiinnostanut öljyn rikkipitoisuus, joka on haitallinen ominaisuus, josta palamisprosessin yhteydessä syntyy rikkidioksidia (SO_2). Rikkiyhdisteet ovat haitallisia ihmisen terveydelle sekä ekosysteemille, mutta samalla ne ovat myös kohtuullisissa määrissä tärkeä ravinne. Ympäristöön rikkidioksidi kulkeutuu pakokaasujen mukana hapettuen ilmakehässä rikkihapoksi ja sulfaateiksi, jotka sateen mukana laskeutuvat ympäristöön ja aiheuttavat happamoitumista. (Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015, 10)

Viime vuosien tiukentuneet ympäristömääräykset ja vähärikkisempien polttoaineiden käyttöön siirtyminen on näkynyt Suomessa ilman rikkidioksidipitoisuuksien laskuna ja rikkilaskeumien vähenemisenä. (Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015, 31)



Kuva 16. Rikkipäästöjen kehitys suomessa. (Rikkipäästöt Suomessa 2010, Ilmatieteen laitos)

4 ALUKSEN PAKOKAASUJEN RIKKIPITOISUUKSIA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

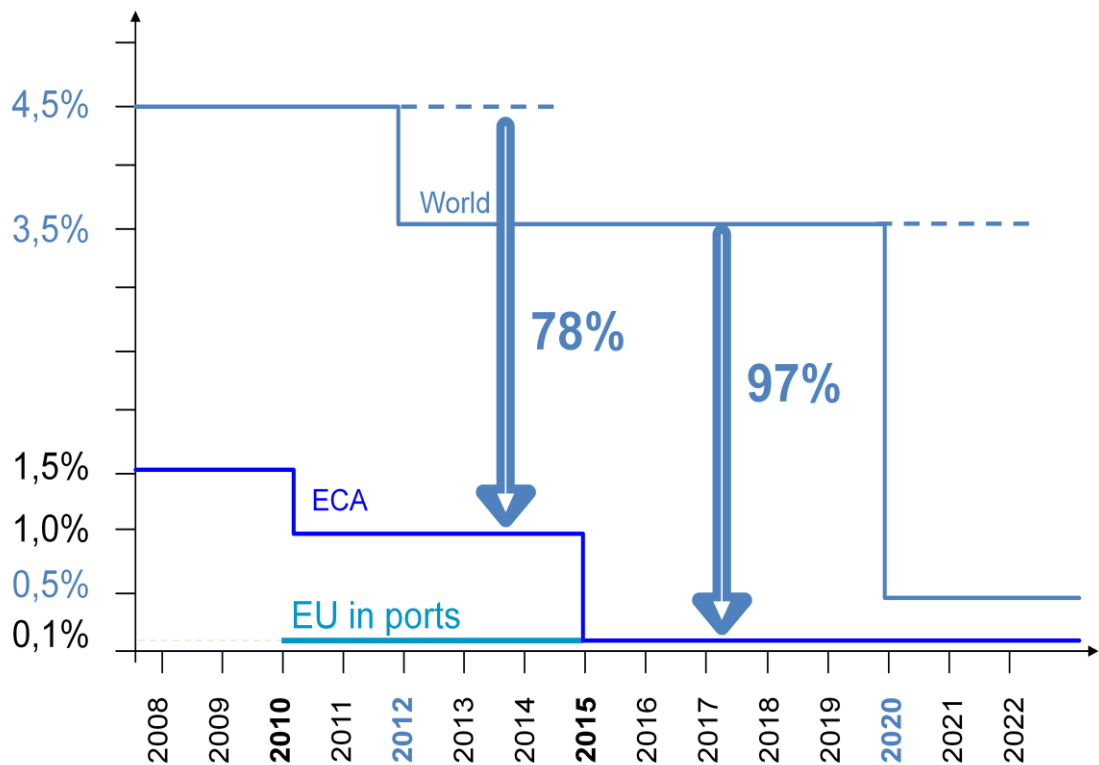
Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n uudet rikkipitoisuusmääräykset tulevat koskemaan sekä uusia rakenteilla olevia kuin jo käytössä olevia vanhoja aluksia. Määräysten tarkoituksena on vähentää alusten haitallisia rikkipäästöjä, jotka vaikuttavat ensisijaisesti miehistön ja rannikkoseudulla asuvien ihmisten terveyteen sekä meren happamoitumiseen. Vaikutukset voivat toisinaan ulottua paljon kauemmaksi sisämaahan riippuen siitä, miten ilmavirtaukset kuljettavat rikkipäästöjä. Alusten käyttämän polttoaineen laatuvaatimuksia tiukentamalla voidaan erityisen haitallisia hiukkaspäästöjä vähentää. Joidenkin arvioiden mukaan globaalista meriliikenteestä aiheutuvat rikkipäästöt ohittaisivat nykyisellä kehityksellä maista tulevat päästöt vuoteen 2020 mennessä.

IMO:n vuonna 2008 hyväksymä uudistettu merenkulun ympäristönsuojelusopimuksen (MARPOL) ilmansuojeluliite, liite VI, on suuri harppaus ilmanlaadun parantamiseksi. Sopimuksen mukaan polttoaineen rikkipitoisuutta alennetaan kansainvälisellä tasolla nykyisestä 4,5 prosentista 3,5 prosenttiin vuoden 2012 alusta, ja 0,5 prosenttiin vuoden 2020 alusta.

Uudet määräykset antavat myös mahdollisuuden rikkipesureiden käytölle, jolloin voidaan käyttää edellä mainitut rikkipitoisuusrajat ylittäviä polttoainelaatuja. Suomalainen Wärtsilä Oy on ollut eturivissä kehittämässä tätä uutta tekniikkaa, ja näiden pesurilaitteistojen käyttökokemukset tulevat näyttämään suunnan kohti puhtaampaa pakokaasuteknologiaa. Varustamot joutuvat pohtimaan pakokaasupesurivaihtoehtoa vanhoissa aluksissa, mutta ennen kaikkea uudisrakennushankkeissaan. Alusten liikenne alue määrää sen aikataulun, jonka puitteissa varustamoiden on tehtävä omat ratkaisunsa polttoainepolitiikkansa suhteen.

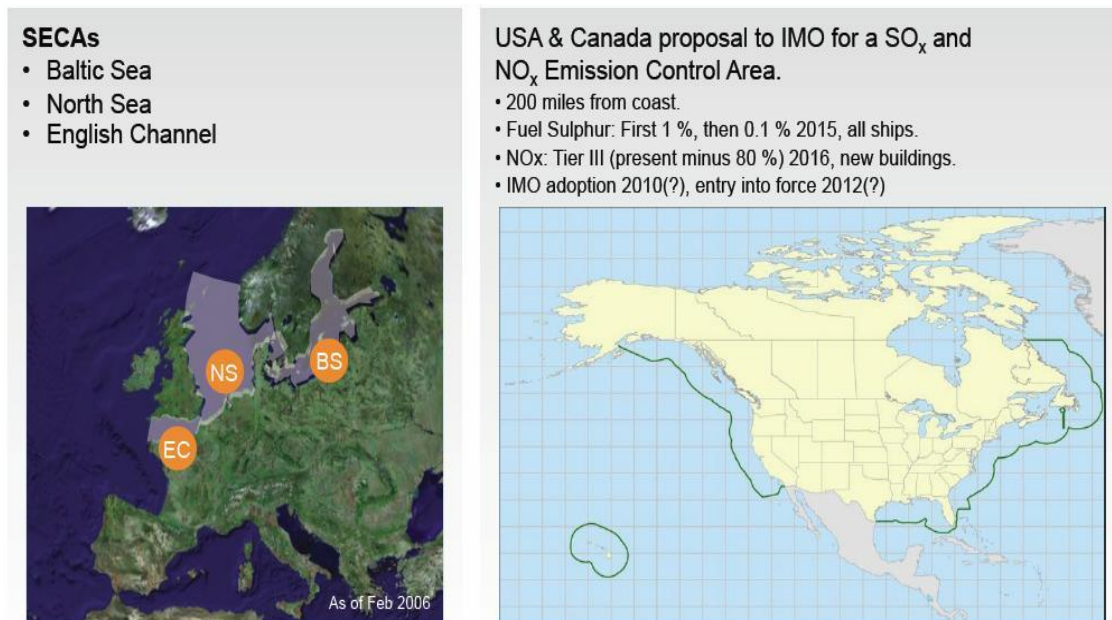
Itämerellä ja muilla rikinoksidipäästöjen valvonta-alueilla rikkipitoisuusraja laskee heinäkuussa 2010 1,5 prosentista yhteen prosenttiin ja vuoden 2015 alusta kyseinen raja laskee 0,1 prosenttiin. Yhdysvallat ja Kanada ovat myös perustamassa alempien rikkipitoisuuksien erityisalueen rannikoidensa ympärille. (Itämeren haasteet ja Itämeripolitiikka 23/2009, MARPOL 73/78-yleissopimus)

Vuoden 2010 alusta astui voimaan EU:n rikkidirektiivin 2005/33/EY muutos, jonka perusteella yli kaksi tuntia yhteisön sataman laiturissa viipyvän aluksen on joko käytettävä 0,1 prosenttia rikkiä sisältävää polttoainetta tai alus on kytkettävä maasähköverkkoon. Direktiivi noudattaa pääosin MARPOL-yleissopimuksen liitteen VI määräyksiä ja voimaantuloa, mutta siinä on muutamia liitettä tiukempia määräyksiä, jotka koskevat sisävesialuksia ja EU-maiden satamia. (Aluksia koskevia EU:n ympäristönsuojelumääräyksiä, Viitattu 15.9.2010)



Kuva 17. Eri IMO:n rikkipitoisuusraja-arvojen voimaan tulot, SECA-alueilla 2010 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin ja vuonna 2015 0,1 prosenttiin. EU-alueen satamissa 2010 alkaen 0,1 prosenttia, yli kaksi tuntia viipyvät alukset. Globaalilla tasolla vuonna 2012 rikkipitoisuus putoaa 4,5 prosentista 3,5 prosenttiin ja vuonna 2020 3,5 prosentista 0,5 prosenttiin. (SOx- scrubbing of marine exhaust gases 2010, Wärtsilä Oy)

Suomi ei ole vielä ottanut uudistettua ilmansuojeluliitettä lainsäädäntöönsä ja siitä johtuen Suomi on ilmoittanut IMO:lle tekemässään nootissa, että uudet säännökset eivät tule voimaan, ennen kuin Suomen eduskunta on hyväksynyt asiaa koskevan lakimuutoksen. Tästä johtuen: *Liikenteen turvallisuusviraston (Trafi) merenkulkutoimiala haluaa informoida kaikkia alan toimijoita siitä, että 1.7.2010 alkaen Suomen sisäisillä aluevesillä, aluemerellä ja talousvyöhykkeellä Suomen lipun alla olevien alusten tulee käyttää polttoainetta, jonka enimmäisrikkipitoisuus on 1,5 prosenttia. Muiden valtioiden sisäisillä aluevesillä, aluemerellä ja talousvyöhykkeellä käytetään polttoainetta, jonka enimmäisrikkipitoisuus määräytyy kyseisen valtion lainsäädännössä, joka toimeenpanee IMO:ssa hyväksytyä säätelyä* (Merenkulkutoimialan tiedote 9/2010 - 28.5.2010)



Kuva 18. Nykyiset ja suunnitteilla olevat Pohjois-Amerikan SECA -erityisalueet (Feasible SO_x solutions, 2010. Wärtsilä Oy)

5 RIKINPOISTO ALUKSEN PAKOKAASUISTA

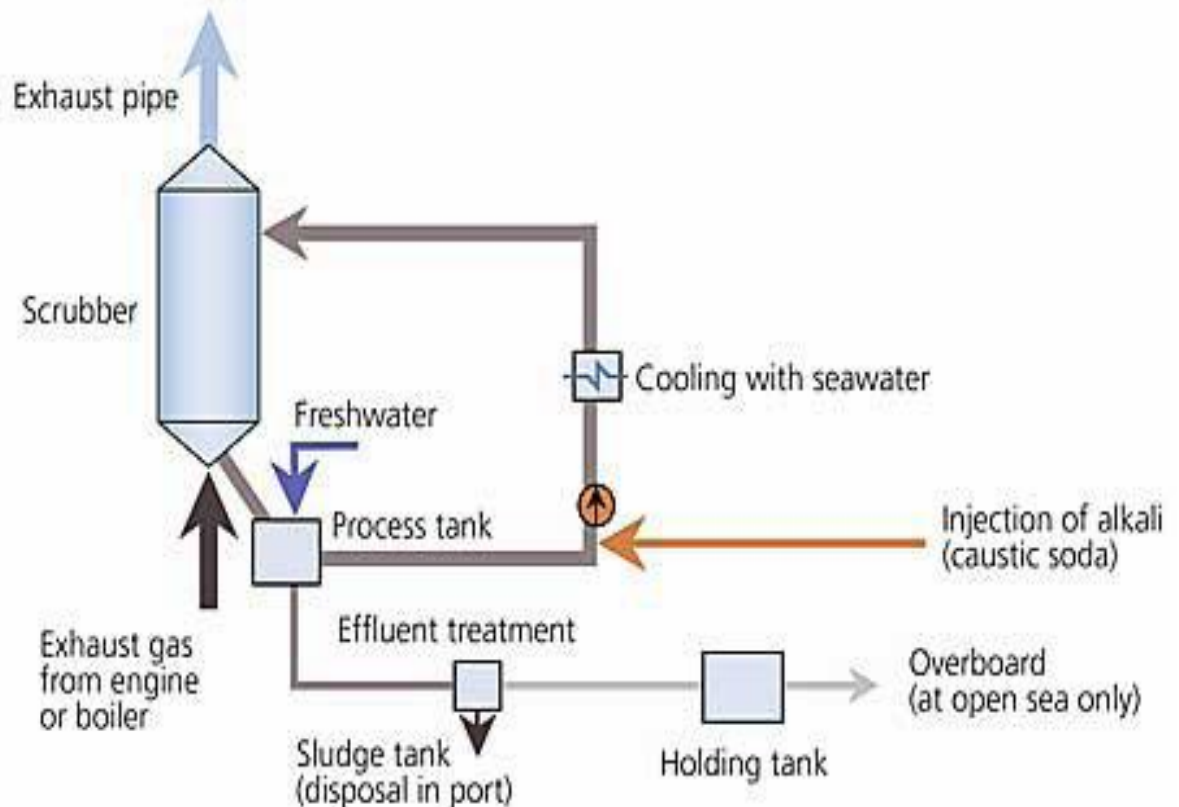
5.1 Märkäpesurit

Yksi tämän hetken uusista teknillisistä vaihtoehtoista on rikkipesurit, joilla rikki saadaan poistettua aluksen pakokaasuista. Näin ollen ne mahdollistavat hinnaltaan edullisten raskaitten polttoöljyalaattujen käyttämisen tulevaisuudessakin uusista määräyksis-

tä huolimatta. Rikkipesuri on säiliömäinen pakoputkeen sijoitettava laite, jonka läpi pakokaasut kulkevat. Koska pesurilla on melua vähentävä vaikutus, perinteisiä äänenvaimentimia ei välttämättä enää tarvita tai äänenvaimennin voi olla pienempi. Pesurissa olevien vesisuuttimien avulla pakokaasun sekaan ruiskutetaan niin paljon vettä, että pakokaasun lämpötila putoaa 30–60⁰C:seen ja pakokaasuissa olevat rikinoksidit sitoutuvat pesuveteen ja neutralisoituvat, tämän jälkeen puhdistetut pakokaasut siirtyvät normaalisti ilmakehään. Käytettyyn pesuveteen sitoutuu myös pakokaasuista pieniä määriä kiinteitä partikkeleita, kuten nokea ja öljyä, minkä takia likainen pesuvesi joudutaan puhdistamaan, ennen kuin se voidaan ajaa mereen tai vaihtoehtoisesti varastotankkiin ajettaessa päästöttömästi (Zero Discharge Mode), jolloin yhtään pesuvettä ei ajeta aluksen ulkopuolelle. Puhdistuksessa syntyvä öljyinen liete on samankaltaista kuin perinteinen konehuoneessa syntyvä liete, joka varastoidaan sludge-tankkiin, josta se voidaan pumpata satamassa maihin. Tämä tietysti edellyttää sitä, että satamien on varauduttava vastaanottamaan rikkipesureista syntyvät jätteet. (Lahtinen J.; Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

Puhdistamattomana pesuvesi saattaa aiheuttaa huomattavan riskin ympäristölle. Näitä riskejä ovat esimerkiksi raskasmetallit, öljyn ja typen yhdisteet sekä pesuveden pH, joka saattaa poiketa merkittävästi meriveden pH:sta, joten sillä voi näin ollen olla huomattavakin haitallinen vaikutus vesistöjen ekosysteemille. Etenkin satamissa, jokisuistoissa sekä muilla kapeilla ja matalilla väylillä ja saaristossa voi haitallisten ympäristö-vaikutusten riski kasvaa etenkin silloin, jos rikkipesurien käyttö yleistyy. Toisaalta rikkipesuri poistaa haitallisia yhdisteitä pakokaasuista, jotka muutoin laskeutuisivat ympäristöön ilman kontrolloitua talteenottoa. Ympäristölle aiheutuvien riskien minimoimiseksi IMO on asettanut kriteerit sekä rikkipesureiden käytölle että mereen päästettävän pesuveden laadulle ja jatkuvalla tarkkailulle. (Lahtinen J.; Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

Zero discharge in enclosed areas



Kuva 19. Suljetussa kierrossa tapahtuvan makeavesipesurin periaatepiirros. (SO_x scrubbing of marine exhaust gases, 2007)

Toistaiseksi Itämerellä pääsääntöisesti liikennöivissä aluksissa ei pesureita ole käytössä, mutta ensimmäiset Itämeren alueelle soveltuvien pesurilaitteistojen koekäytöt on tehty M/T Suulalla. (Kangasmäki J. 2010.)

Rikkipesurit voidaan jakaa kahteen pääryhmään niiden toimintaperiaatteen mukaan: merivesipesureihin ja makeavesipesureihin; molemmissa pesurityypeissä pakokaasuita poistettu rikki ajetaan mereen, ja alaryhmiin laitteistokokoonpanojen mukaan:

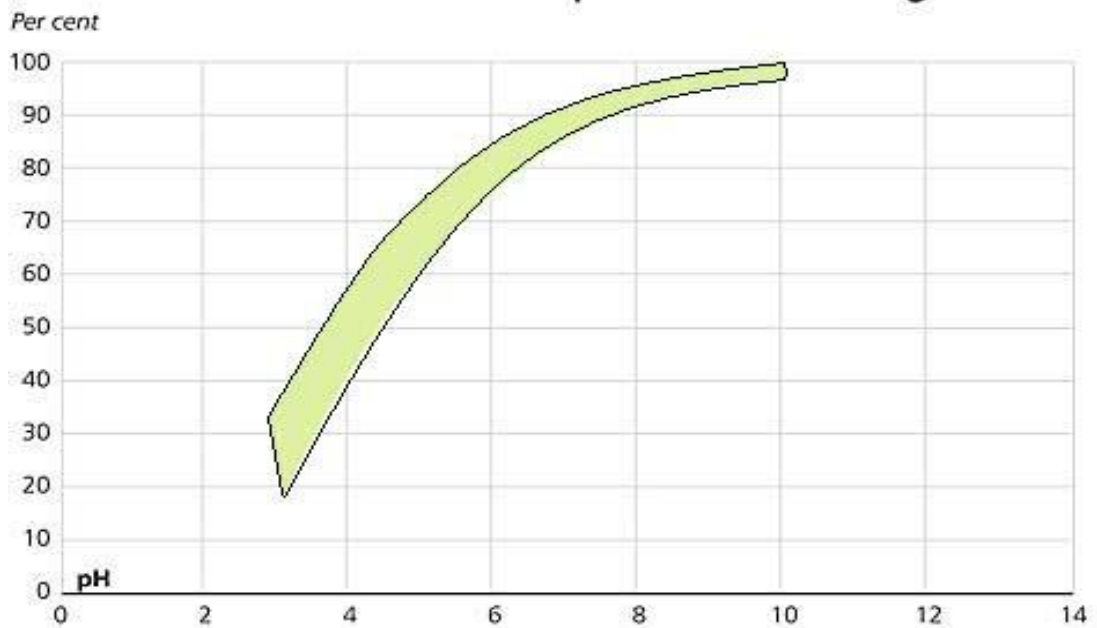
- A) Keskuspesuri, integrated scrubber, jolloin kaikki koneiden ja kattiloiden pakokaasut menevät vain yhden rikkipesurin lävitse.
- B) Toinen vaihtoehto on laitekohtainen pesuri, main stream scrubber, jolloin jokaisen laitteen pakoputkessa on oma rikkipesuri. Tällainen vaihtoehto tulee esimerkiksi kyseeseen silloin kun pääkoneet käyvät

raskasöljyllä ja kattila sekä apukoneet rikittömällä MGO:lla. Samoin aluksissa joissa on kaksi tai useampia koneita ja kaksi erillistä korsi-teenia, tällainen pesurityyppi voi olla järkevämpi ratkaisu. (Kangasmäki J.2010.)

Aluksen operoidessa valtameriolosuhteissa rikkilaskeuman haitat eivät ole niin merkittäviä, koska merivesi on lievästi emäksistä ja se pystyy neutralisoimaan rikkilaskeumien happamuuden. Valtamerien suuret vesimassat muodostavat tehokkaan puskurin, jota happamat pakokaasupäästöt eivät pysty häiritsemään. Aluksen lähestyessä rannikkoa tilanne muuttuu olennaisesti tuulien kuljettaessa pakokaasuja mantereelle. Suljetuilla alueilla, kuten satamissa, merenlahdissa tai sisävesillä, veden alkaliteetti eli veden puskurointikapasiteetti on pienempi. Näiden alueiden alkaliteettiin vaikuttaa alueelle laskevien jokien laatu, johon taas vaikuttaa maaperän laatu. Esimerkiksi Itämeren pohjoisissa osissa joet kulkevat graniittisien maaperien läpi ja näin ollen alkaliteetti on matala. Eteläisissä osissa joet kulkevat kalkkipitoisemman maaston läpi, jolloin alkaliteetti on korkeampi. Itämerellä on muutenkin huomattavasti matalampi puskurointikyky, kuin suurilla valtamerillä, mikä johtuu siitä, että veden vaihtuvuus alueella Tanskan salmen kautta on vähäistä.. Matalan alkaliteetin omaavilla vesialueilla merivesipesuria voidaan käyttää, mutta se johtaa heikompaan puhdistuslopputulokseen ja happamimpiin jätevesiin kuin korkeamman alkaliteetin omaavilla alueilla. (Lahtinen J.)

Työtä varten on haastateltu Wärtsilän edustajaa, joka on toimittanut työn liitteenä olevat tiedot ja selostanut meri- ja makeavesipesurien toimintaa.

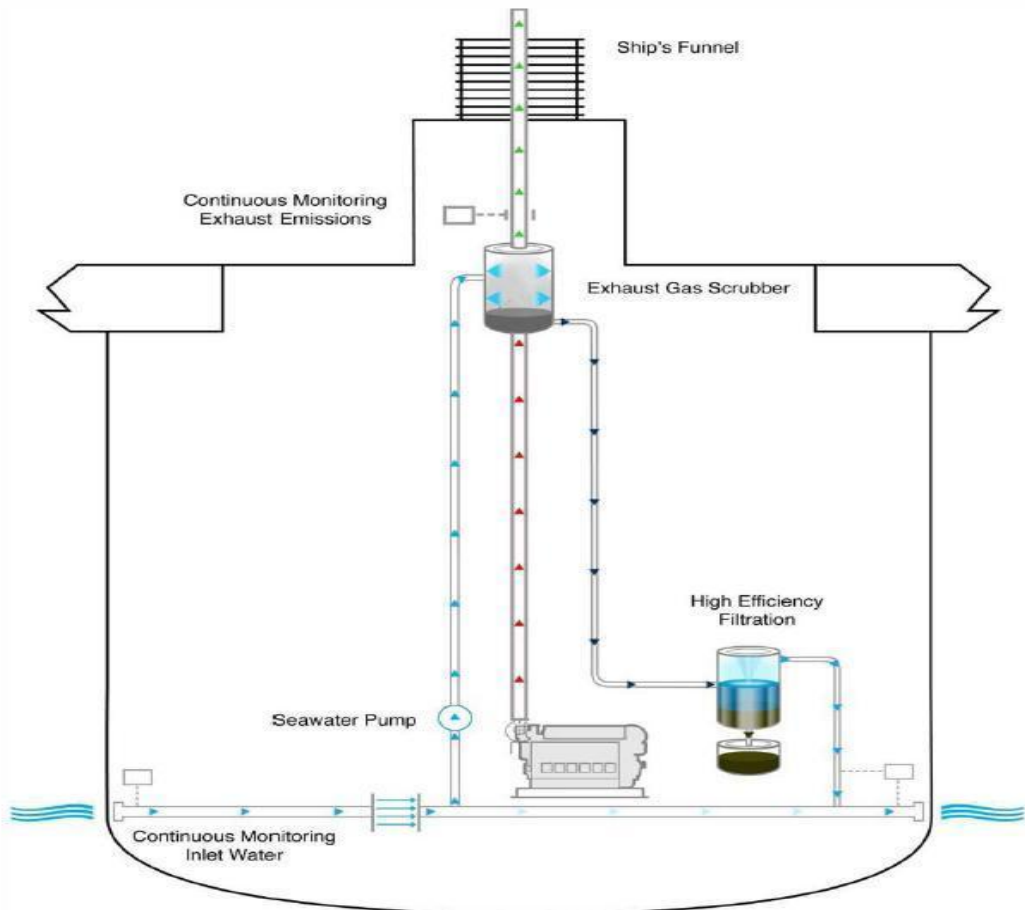
Scrubber SO_x-reduction versus pH of the scrubbing water



Kuva 20. Veden pH:n vaikutus puhdistustulokseen (SO_x scrubbing of marine exhaust gases, 2007)

5.1.1 Merivesipesuri

Merivesipesuri on laitteistoltaan yksinkertaisempi verrattuna makeavesipesuriin, sillä pesuprosessiin tarvittava vesi saadaan suoraan merestä, eikä makeaa vettä tai kemikaaleja yleisesti ottaen tarvita. Rikkiyhdisteiden neutralisoimiseen hyödynnetään meren omaa alkaliteettia: mitä korkeampi pitoisuus on, sen tehokkaampaan pesutulokseen päästään. Näin ollen alueilla joissa meriveden alkaliteetti on matala, joudutaan pesuvettä ajamaan pesurin läpi huomattavasti suurempia määriä ja mahdollisesti lisäämään emäksisiä kemikaaleja, jotta pystytään saavuttamaan pakokaasuissa tavoiteltu rikitön lopputulos. Suuri pesuveden määrä lisää myös energian kulutusta ja samoin poistoveden puhdistamisesta tulee hankalaa johtuen veden voimakkaasta virtauksesta. Merivesipesuria voidaankin pitää soveliaampana ratkaisuna sellaisille aluksille jotka operoivat valtamerillä ja mannerten välisessä liikenteessä. (Lahtinen J.)



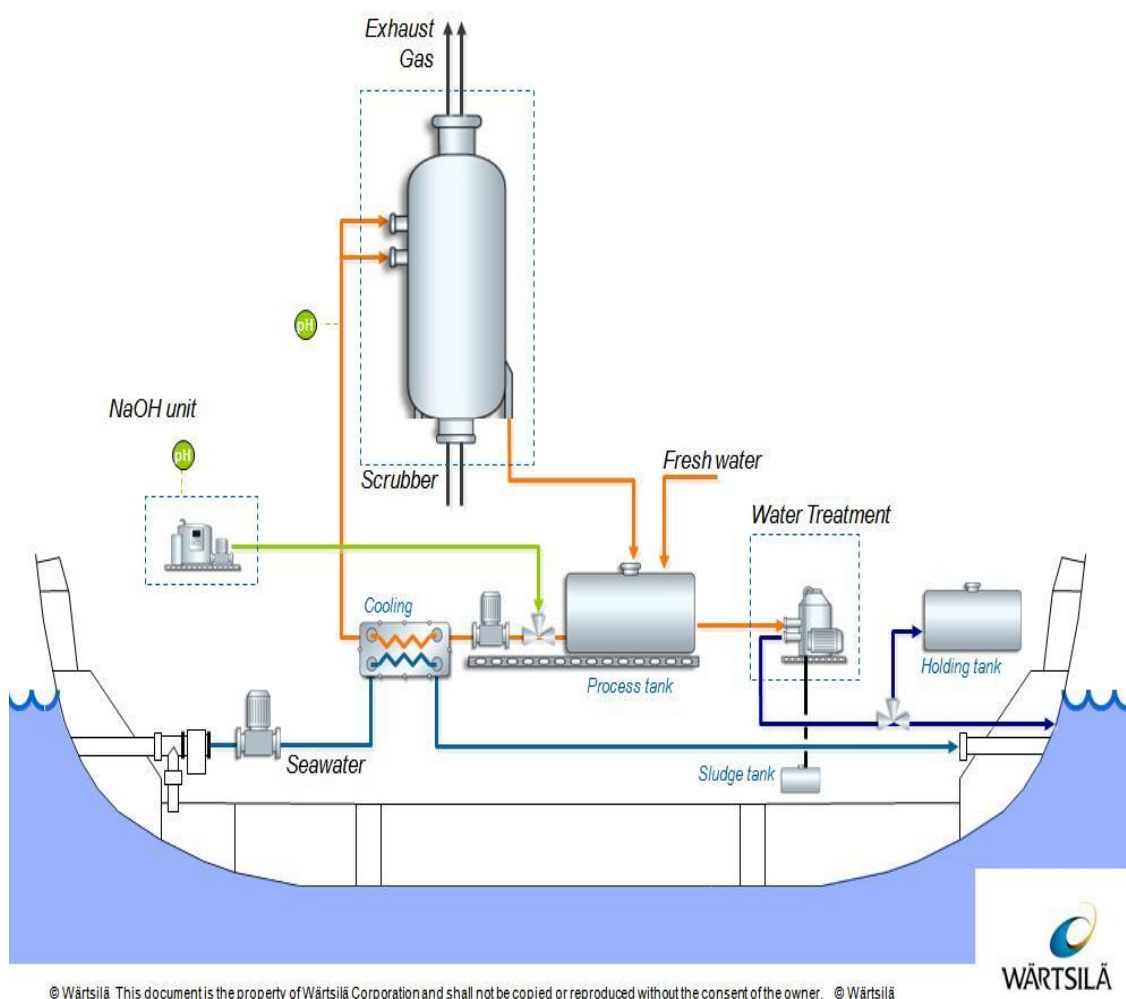
Kuva 21. Merivesipesurin periaatepiirros (Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) 2009)

5.1.2 Makeavesipesuri

Merivesipesuria rakenteeltaan monimutkaisempi vaihtoehto on makeavesipesuri. Makeavesipesurin toiminta eroaa merivesipesuriin nähden siten, että kyseessä on suljettu piiri, jossa pesuprosessi tapahtuu. Pesuvesi pumputaan prosessitankista jäähdyttäjän kautta itse pesuriin, josta se valuu painovoiman vaikutuksesta takaisin prosessitankkiin. Pesuveteen joudutaan lisäämään emäksistä ainetta, tyypillisesti natriumhydraattia eli tuttavallisemmin lipeää (NaOH), koska pesuprosessissa tarvittava vesi alkaisi muuten happamoitua johtuen juuri suljetusta kierrosta. Veden jäähdytys on myös tarpeen koska pakokaasuista sitoutuu huomattavia määriä lämpöä veteen. Pieni osa pesuvetestä poistuu pakokaasujen mukana vesihöyryinä ilmaan, minkä takia kiertoon joudutaan

lisäämään puhdasta vettä. Samoin osa vedestä joudutaan vaihtamaan käytön aikana väkevöitymisen estämiseksi, koska pesuveteen kertyvät rikkiyhdisteet ja epäpuhtaudet väkevöittävät pesuvettä. Tämä poistettava vesi puhdistetaan erillisellä vedenkäsittelylaitteella, ennen kuin se johdetaan mereen tai vaihtoehtoisesti varastointitankkiin ja sieltä maihin jatkokäsittelyä varten. Huomattavin etu merivesipesuriin nähden on se, että poistettavan veden määrä on vähäinen ja se pystytään varastoimaan aluksella esimerkiksi silloin, kun alus on satamassa. Tällöin alusta voidaan pitää mereen joutuvien poistovesien osalta päästöttömänä.

Tyypillisesti kaupallisesti saatavilla oleva lipeä on 50-prosenttista liuosta, jolloin se on tiheydeltään 1.52 t/m^3 ja pH arvo on 14. Lipeäliuoksen lämpötila laskiessa alle 12°C :n alkaa sen olomuoto muuttua kiinteäksi. Tämän takia lipeä toimitetaan yleensä lämpimänä jolloin sitä on helpompi käsitellä. Lisäksi lipeän käsittelyssä on oltava erityisen huolellinen, mihin laivaympäristö luo omat haasteensa. Lipeä pystytään toimittamaan aluksille säiliöautoilla ja se pystytään varastoimaan normaaleihin laivateräksestä valmistettuihin tankkeihin, mutta yli 49°C :n lämpötiloihin mentäessä alkaa hiiliteräs olla altis jännityskorroosiolle ja näin joku muu tankkimateriaali tai tankin pinnoittaminen kestävyyskannalta olla tapauskohtaisesti varteenotettava vaihtoehto. Samoin käytetyn pesuveden varastointiin käytettävän tankki tulisi olla pinnoitettu tai olla jotain muuta materiaalia kestoikää silmälläpitäen. Huomioitavaa on myös se, että lipeä ei saa olla tekemisessä alumiinin, sinkin, messinkin tai tantaalin kanssa, sillä lipeä syövyttää voimakkaasti näitä aineita ja voi samalla synnyttää erittäin tulenarkaa vetykaasua. (Kangasmäki J. 2010.)



Kuva 22. Makeavesipesurin periaatepiirros. (SO_x- scrubbing of marine exhaust gases 2010.)

5.1.3 Yhdistelmäpesuri CSNO_x

Singaporelainen ECOSPEC on kehittänyt yhdistelmäpesurin nimeltä CSNO_x. Laitteen avulla saadaan puhdistettua pakokaasuista rikkidioksidi (SO₂), hiilidioksidi (CO₂) ja typenoksidi (NO_x) ja partikkelipäästöt. Yhdistelmäpesuri on suunniteltu sopimaan laivoissa rajallisiin tiloihin ja se on testien mukaan erittäin tehokas pakokaasunpuhdistusjärjestelmä kaikille kolmelle kaasulle ja se antaa hyvät mahdollisuudet varustamoille toteuttaa päästöjen hallintaa. Puhdistusprosessi tapahtuu kahdessa eri vaiheessa joista ensimmäisessä poistetaan rikki ja toisessa vaiheessa tapahtuu typenoksidien, hiilidioksidien ja partikkelipäästöjen poisto. Itse laitteisto koostuu viidestä eri järjestelmästä:

1. Meriveden imu- ja käsittelyjärjestelmä

Merestä otettava vesi ajetaan ensin BFC (Bio Fouling Control) laitteiston läpi, jossa siitä puhdistetaan kasvustoa, kuten näkki. Samalla puhdistettu ja käsitelty vesi antaa paremman suojan CSNO_x-laitteiston putkistolle. Järjestelmän perustana on erityinen erittäin matalataajuisia aaltoja (ULF) käyttävä vedenkäsittely- ja puhdistuslaitteisto, jolla saadaan poistettua vedestä pieneliöt ja samalla saadaan parannettua veden pH:ta ja sen alkaliteettia.

2. Vedensuihkutusjärjestelmä

Vedensuihkutusjärjestelmässä on vielä kolme eri laitteistoa, joilla saadaan tehostettua pesuveden käsittelyä

- SO₂ Absorption Enhancer (SAE), jolla saadaan tehostettua rikin poistoa
- Mineral Scale Control (MSC), mineraalipitoisuuksien tarkkaileminen
- CO₂ NO_x Reducer (CNR), jossa poistetaan typpioksidit

Näiden laitteistojen tarkoituksena on parantaa jo kertaalleen käytetyn pesuveden ominaisuuksia, ennen kuin vesi johdetaan pesu torniin..

3. Abator-tornijärjestelmä

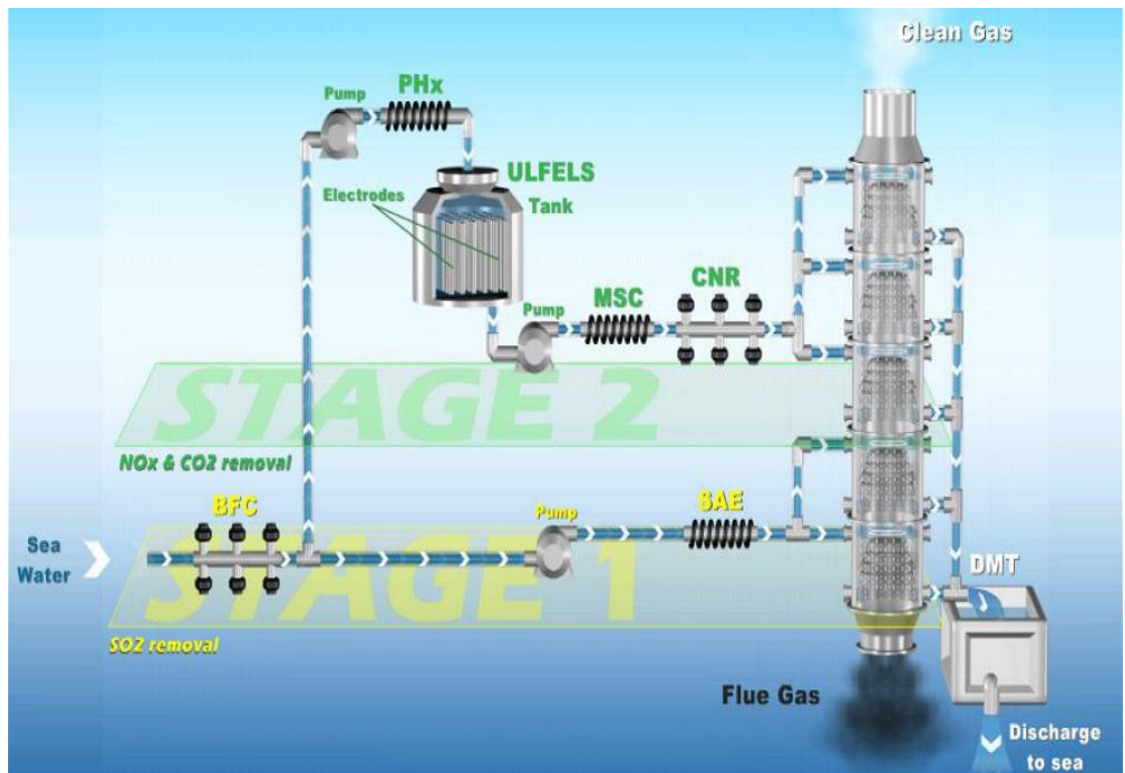
Käsitelty vesi ja pakokaasu reagoivat tässä pesutornissa ja pakokaasuista saadaan poistettua merkittävä osa rikki-, typpi- ja hiilidioksidipäästöistä.

4. Pesuvedentarkkailujärjestelmä,

Tässä osassa pystytään kontrolloimaan, että mereen laskettava käytetty pesuvesi ei sisällä epäpuhtauksia ja on pH-pitoisuudeltaan vähintään 6,5 eikä näin ollen vahingoita meren omaa ekosysteemiä.

5. Pakokaasunseurantajärjestelmä,

Tämän järjestelmän tarkoituksena on tarkkailla pakokaasuissa tapahtuvia muutoksia ennen ja jälkeen pesutapahtuman, kuten pakokaasun koostumusta, painetta, lämpötilaa ja vesipitoisuutta. (The Challenge of Emission Control in the Marine And Offshore Industries, 2010.)



Kuva 23. CSNOx-laitteiston pääkomponentit. (The Challenge of Emission Control in the Marine and Offshore Industries, 2010.)

Laitteen tarkoitus on puhdistaa merivedellä pakokaasuista haitalliset kaasut. Käytetty merivesi puhdistetaan niin, että se voidaan laskea takaisin mereen vahingoittamatta meren omaa eliökantaa. Laitteella on saavutettu hyviä tuloksia pakokaasujen puhdistuksessa. Koetulokset osoittavat, että laite on pystynyt puhdistamaan 92,9 prosenttia SO₂-, 82,2 prosenttia NO_x- ja 74,4 prosenttia CO₂-päästöistä. Ecospec on testannut CSNOx pesuria tankkilaivassa M/S White Sea yhdessä American Bureau of Shipping (ABS) luokituslaitoksen kanssa sekä risteilyvarustamon Royal Caribbean Cruises

kanssa laivassa M/S Independence of the Seas. (The Challenge of Emission Control in the Marine And Offshore Industries, 2010.)

Valmistajan esittämät hyödyt, joita laitteistolla pystytään saavuttamaan:

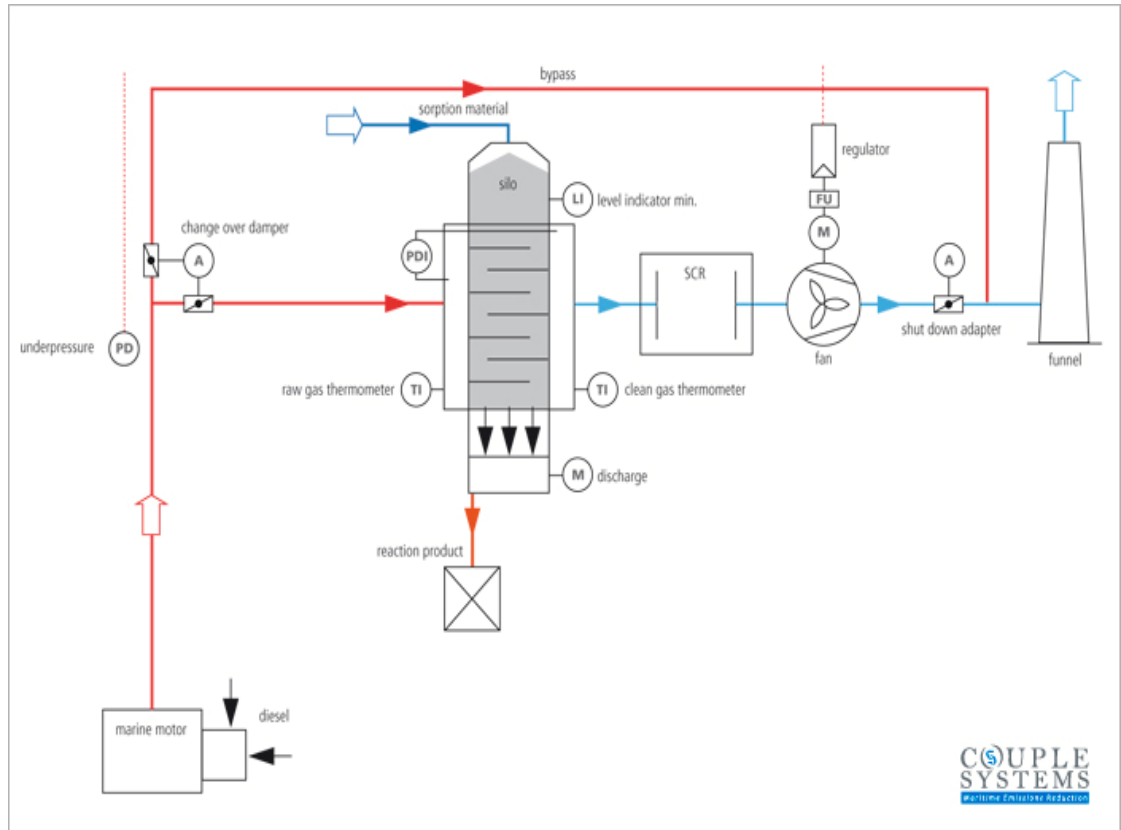
- Voidaan käyttää puhdistamaan raskaan polttoöljyn päästöjä kansainvälisten päästöasetusten määräysten mukaan
- Täyttää tiukimmatkin TIER III:n moottoreiden päästöjä koskevat vaatimukset ilman apulaitteita tai muutoksia.
- CO₂-päästöjen puhdistus erittäin tehokasta.
- Pesee käytetyn meriveden yli asetettujen arvojen.
- Virran kulutus on pieni.
- Laitteisto on helppo asentaa.
- Laitteisto on helppokäyttöinen,
- Täyttää tulevaisuuden vaatimukset.

Laitetta voidaan soveltaa

- laivoissa ja voimalaitoksissa
- voimaloissa, joissa käytetään kivihiiltä, raskasta polttoöljyä LNG:tä ja jätteitä polttavissa laitoksissa
- jalostamoissa, petrokemian-, sementti-, keramiikka-, lasi- ja terästehtailta
- alumiini sulattamoissa
- kuorma autoissa ja muussa raskaassa kalustossa

5.2 Kuivapesuri DryEGCS

Saksalainen Couple System on kehittänyt DryEGCS (Exhaust Gas Cleaning System)-laitteiston eli kuivapesurin. Laitteistolla pystytään poistamaan kemiallisesti erittäin tehokkaasti rikkioksidi- (SO_x) ja typpioksidi (NO_x) päästöt. (Couple System, DryEGCS)



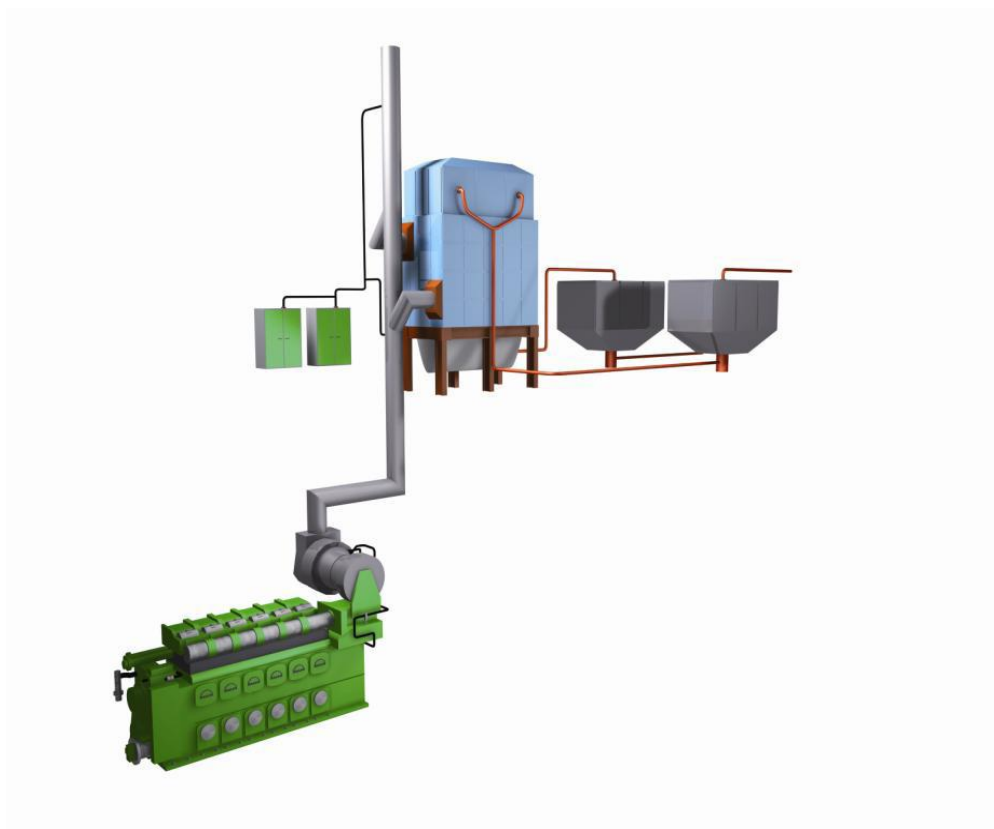
Kuva 24 . Kuivapesurin pääkomponentit (Couple System, DryEGCS)

Kuten kuvasta 24 ilmenee, pakokaasut johdetaan reaktoriin jossa on kalsiumhydroksidiä, eli tuttavallisemmin sammutettua kalkkia, (Ca (OH)₂) pelletteinä. Kuumat pakokaasut (240°C...350°C), jotka sisältävät SO₂- ja SO₃ hiukkasia, johdetaan reaktoriin jossa nämä pakokaasut reagoivat sähkövirran sekä kalkin kanssa, jolloin rikkioksidit takertuvat kalkki pelletteihin kiinni ja pelletit muuttuvat jauheeksi ja tippuvat siilosta alas. Tämän jälkeen pakokaasu kulkeutuu katalysaattoriin (SCR), jossa typpioksidit poistetaan, minkä jälkeen pakokaasu on puhdasta. (Couple System, DryEGCS)

Reaktorissa syntyy kalkin ja rikkidioksidin reagoidessa kipsijauhetta. Jauhe voidaan varastoida aluksella ja aluksen tullessa satamaan se jätetään maihin jatkokäsittelyä varten. (Couple System, DryEGCS)

Kuivapesurin edut verrattuna märkäpesureihin:

- Pakokaasujen lämpötila on suoraan sopiva SCR-katalysaattorille. Näin ollen voidaan jättää yksi vaihe pois NO_x - ja SO_x -päästöjen puhdistamisesta.
- Vähäinen energian kulutus
- Helposti käsiteltäviä ja kierrätettäviä rakeita
- Ei epäpuhtauksia tai päästöjä mereen käytön aikana



Kuva 25. DryEGCS-laitteisto. (New, Dry Scrubber Technology Proven in Field Conditions, 2010. MAN diesel & turbo)

Kuivapesurin ensimmäiset pakokaasunpuhdistusjärjestelmän testit tehtiin vuonna 2009 M/S Timbuksella. Ensimmäisissä testeissä saatiin pakkokaasujen rikkipitoisuus-

det vähentymään 97,5 prosenttia. Toisella kerralla testi onnistui vielä ensimmäistäkin testiä paremmin, sillä silloin saatiin rikki poistettua pakokaasuista 99-prosenttisesti, oikean lämpötilan ansiosta (Couple System, DryEGCS)

Moottorivalmistaja MAN Diesel & Turbo on solminut Couple Systemsin kanssa Dry EGCS kuivapesuria koskevan yhteistyösopimuksen. Couple Systemsin patentoima Dry EGCS- pakokaasujenpuhdistusjärjestelmä on saavuttanut hyviä tuloksia testeissä ja yritys on näin saanut sertifioitua järjestelmän saksalaisen luokituslaitoksen, Germanischer Lloydin kanssa huhtikuussa 2010. Yhteistyösopimuksen tarkoituksena on kehittää puhdistusjärjestelmää yhdessä asiakkaan vaatimusten mukaan ja laajentaa järjestelmää niin pitkälle kuin mahdollista. Laitteen avulla MAN Diesel & Turbo kykenee tarjoamaan asiakkailleen integroituja ratkaisuja pakokaasujenpuhdistusjärjestelmistä ja SCR-katalysaattorin NO_x päästöjen vähentämiseksi. Yhteistyön ansiosta näiden laitteiden käyttäjät pystyvät liikennöimään taloudellisesti raskasta polttoöljyä käyttäen sekä noudattamaan tulevia tiukimpiakin päästövaatimuksia. (New, Dry Scrubber Technology Proven in Field Conditions, 2010.)



Kuva 26. DryEGCS laitteisto asennettuna aluksen torpan etupuolelle M/S Timbuksella. (Couple System, DryEGCS)

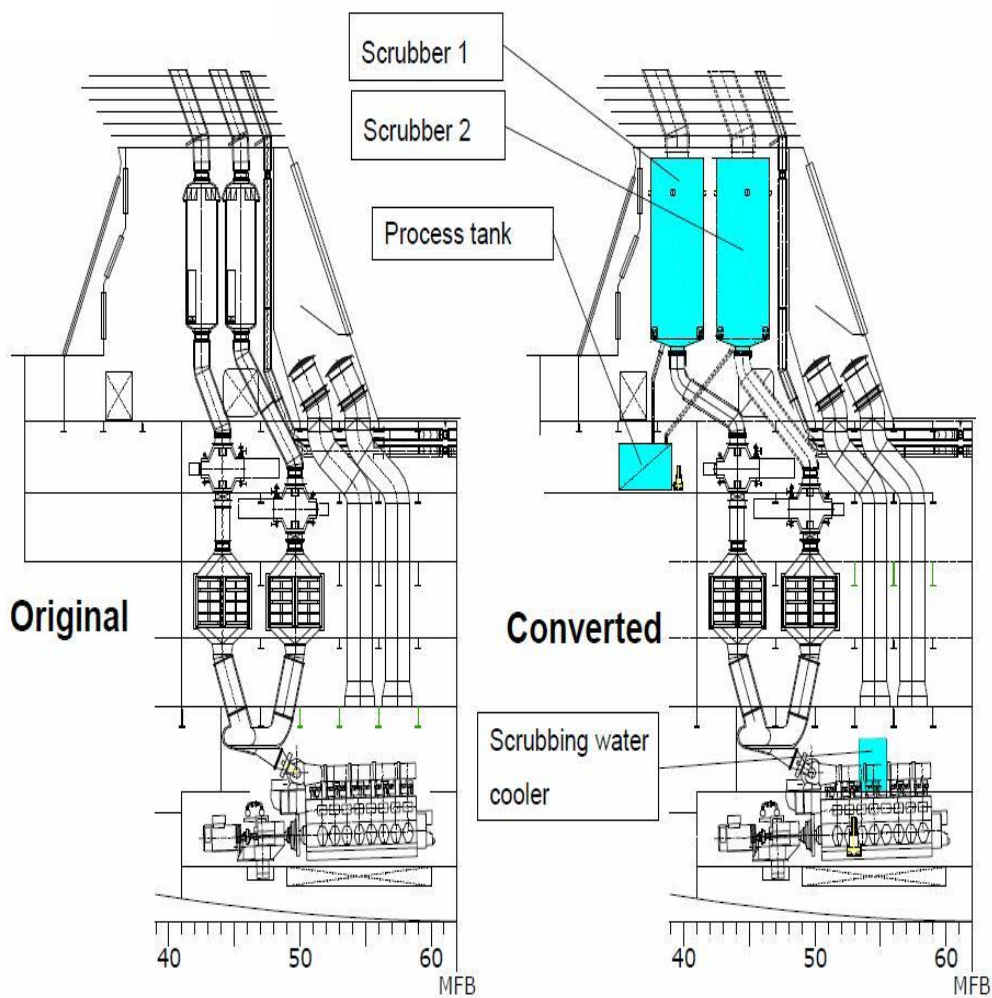


Kuva 27. DryEGCS-laitteisto asennettuna aluksen torpan etupuolelle M/S Timbuksella (Couple System, DryEGCS.)

5.3 Rikkipesurin asentaminen alukseen

Rikkipesurit voidaan asentaa niin uudisrakennuksiin kuin jo olemassa oleviin aluksiin. Uudisrakennuksissa on se etu, että rikkipesureiden sijoittelu ja tilan tarve pystytään ottamaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa huolimatta, siitä asennetaanko rikkipesuri rakentamisen yhteydessä vai myöhemmin, kun tilanne sitä vaatii. Yhtenä suurimpana haasteena voidaan pitää pesurin puhdistustehoa ja pesurin tilantarvetta sillä, se on suhteessa puhdistustehokkuuteen. Vanhempien alusten korsteeni luo yhden haasteen pesurin asentamista suunniteltaessa; voi nimittäin olla niin, että korsteenissa ei ole riittävästi tilaa pesurille. Tällöin korsteenin muokkaaminen sopivaksi voi olla yksi vaihtoehto, mutta tällöin pesuria varten tehty tila voi olla sitten pois lastikapasiteetista, alustyyppistä riippuen. Toisena vaihtoehtona on pesurin sijoittaminen kokonaan korsteenin ulkopuolelle muiden laitteiden jäädessä sisäpuolelle. Pesurin asentamisesta koituu myös monenlaista haittaa alukselle, sillä laite lisää aluksen painoa ja korsteeniin asennettaessa nostaa aluksen painopisteen sijaintia ja heikentää aluksen vakavuutta. Yli-

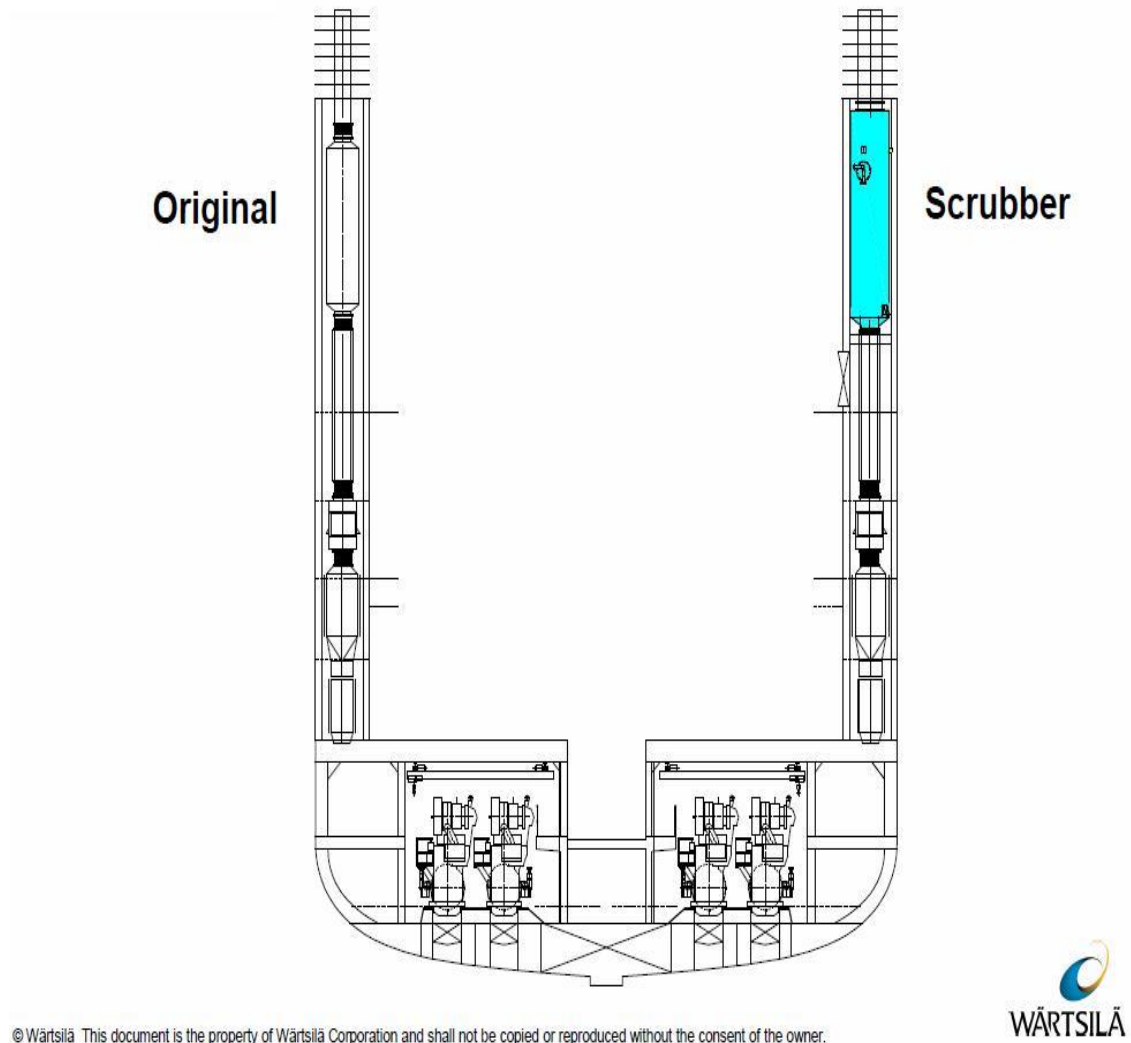
määräisen painon kuljettaminen vie aina jonkin verran energiaa ja näin ollen se kasvattaa polttoaineen kulutusta. Jokainen uusi laitteisto lisää aluksen koneistojen monimutkaisuutta ja huollontarvetta. Lisäksi kuluja syntyy myös itse puhdistusprosessiin kuluvasta energiasta ja kemikaaleista (Lahtinen J. n.d. Rikkipesurit puhdistavat laivojen pakokaasuja)



© Wärtsilä This document is the property of Wärtsilä Corporation and shall not be copied or reproduced without the consent of the owner.

WÄRTSILÄ

Kuva 27. Laitteiston sijoittelu, yhdellä korsteenilla varustetulle alukselle. (Feasible SOx solutions, 2010. Wärtsilä Oy)



Kuva28. Laitteiston sijoittelu kahdella korsteenilla varustettuun alukseen. (Feasible SOx solutions, 2010. Wärtsilä Oy)

3.5 Tulevaisuuden näkymät

Alusten käyttämille fossiilisille polttoaineille ei näillä näkymin ole tulossa korvaavaa tuotetta, eikä myöskään täysin rikitöntä raskasta öljyä ole lähitulevaisuudessa saatavilla. Tämä taas tarkoittaa sitä, että laivamoottorien valmistajien tulee kehittää uusia koneita ympäristövaatimusten mukaisiksi ja samalla jo olemassa oleviin koneistoihin ratkaisuja, joilla vaaditut vaatimustasot pystytään saavuttamaan. Odotettavissa oleva rikkittömien polttoainelaatujen hinnan nousu kysynnän kasvaessa on taas omiaan kannustamaan rikkipesureiden investointeihin, vaikkakin pesureiden hankintahinnat ovat

korkeat. Mutta mitä suurempi rikillisen raskasöljyn hintaero kevyeen rikittömään polttoaineeseen nähden on, sitä nopeammin ne maksavat itsensä takaisin. (Lahtinen J.)

Yhtenä tehokkaana vaihtoehtona päästöjen vähentämiseksi on rikittömän ja pienhiukkasettoman LNG:n eli nesteytetyn maakaasun käyttö aluksen polttoaineena, mutta tämä taas luo omat haasteensa matkustaja- ja rahtialuksilla: miten kaasu varastoidaan alukselle ja kaasun saatavuus kilpailukykyiseen hintaan ja mistä kaasua on saatavilla. Lisäksi lainkaan kaikkia vanhoja aluksia ei pystytä muuttamaan kaasukäyttöön soveltuviksi. Huomioitavaa on myös se, että maakaasu on huomattavasti räjähdysherkempi kuin esimerkiksi raskas polttoöljy, mikä voi olla esteenä osalle aluksista. (Feasible SOx solutions, 2010. Wärtsilä Oy)

Rikkipäästöjen lisäksi on olemassa määräyksiä alusten typpipäästöjen vähentämiseksi ja raja-arvoiksi, joihin pystytään vaikuttamaan käyttämällä pakokaasukatalysaattoreita. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että myös pakokaasujen pienhiukkaspäästöjä rajoitetaan määräyksillä. Erityisesti matkustaja-aluksilla tulisi pyrkiä siihen, ettei korsteista ole havaittavissa mitään näkyvää savua tai höyryä. Eräs mahdollisuus tulevaisuudessa pakokaasujärjestelmän kokonaisvaltaiseen hallintaan on pakokaasumoduulin käyttöönotto, eli vakiokoneikko, joka huolehtii edellä mainituista seikoista. Mikäli tällaisia moduuleita tulevaisuudessa otetaan käyttöön, on niiden tilantarve ja alukselle asettamat tekniset vaatimukset otettava huomioon jo alusta suunniteltaessa. Pakokaasumoduulin käyttö mahdollistaa rakennustyön siirtämistä pois alukselta ja näin ollen nopeuttaa rakennusaikaa ja parantaa työn tuottavuutta. (Lahtinen J.)

6 KUSTANNUKSET

6.1 Rikkipesurin investointi- ja käyttökustannukset

Rikkipesurin investointi- ja käyttökustannuksiin liittyen saimme Wärtsilältä alustavan laskelman esimerkkialukselle, M/S Translandialle. Laskelmissa otettiin huomioon kolme eri vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto oli, että pääkoneissa ja kattilassa käytettäisiin samaa polttoainetta. Rikkipitoisuus olisi silloin käytettävässä polttoaineessa 3,5 % ja pesurin ansiosta saataisiin ulos tulevan pakokaasun rikkipitoisuus putoamaan

0,1 %. Toisena vaihtoehtona on että käytetään apukoneissa ja kattilassa MGO:ta, jonka rikkipitoisuus olisi 0,1 % ja pääkoneissa käytettäisiin normaalia rikkipitoisuudeltaan 3,5 prosentista raskasta polttoainetta. Molemmilla pääkoneilla olisi omat pesurinsa korsteeneissa. Kolmantena vaihtoehtona olisi, että aluksessa käytettäisiin vain MGO:ta, joka olisi rikkipitoisuudeltaan 0,1 prosentista. Investointikustannuksissa on otettava huomioon veden hinta sekä NaOH:n hinta. Veden hinta vaihtelee riippuen siitä voidaanko makea vesi tehdä itse aluksella vai joudutaanko se ostamaan satamasta. Myös NaOH:n (lipeä) hinta vaihtelee eri toimittajien mukaan.

	Integrated scrubber	Main stream scrubber	Running on MGO
HFO [t/year]	4 899	4 444	
MGO [t/year]		427	4 600
Fresh water [m ³ /year]	4 802	4 356	
NaOH 50% [m ³ /year]	534	484	

Kuva 29. Raskasöljyn, makean veden ja lipeän, vuosikulutusarvio. (SOx Scrubber Economical Study For Eckerö Line “M/S Translandia 2010)

Esimerkkialuksen laskelmissa otettiin huomioon sekä pääkoneiden että kattilan kulutus. Pääkoneiden kulutus laskelmissa on noin 4400 tonnia/vuodessa pääkoneilla ja kattilalla noin 450 tonnia/vuodessa.

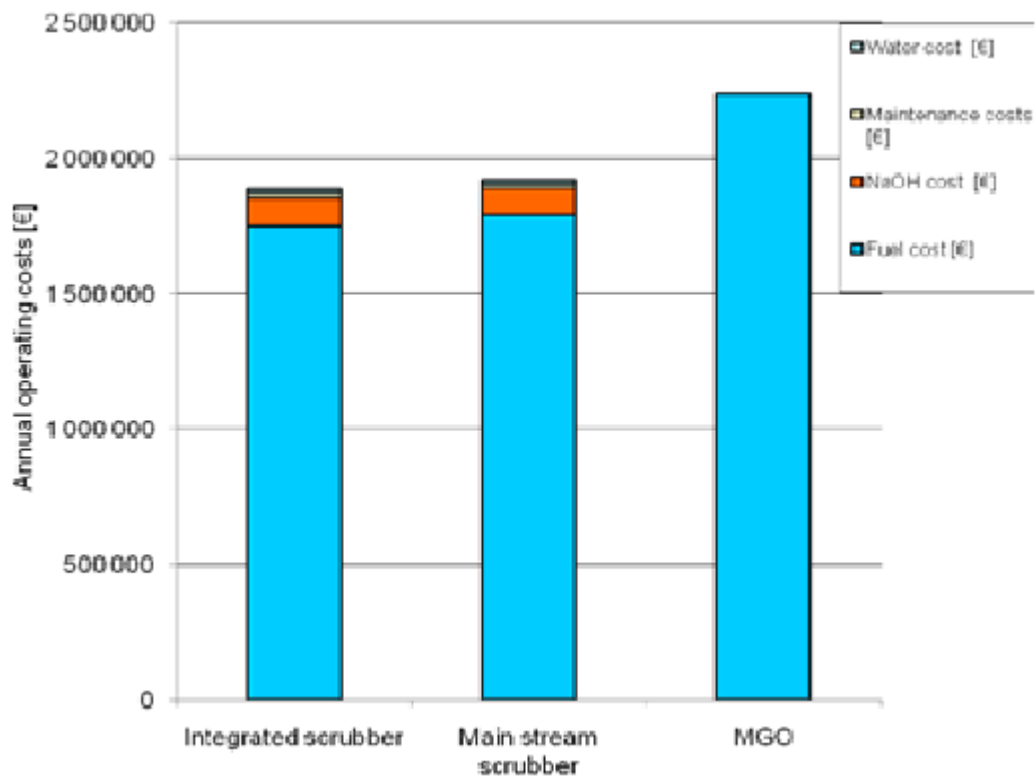
Name of the vessel:	M/S Translandia	
Main engine power:	9 312	kW
Annual fuel consumption ME's:	4 400	ton
Annual fuel consumption AE's:	0	ton
Annual fuel consumption OFB's:	450	ton

Kuva 30. Pääkoneiden teho ja arvio niiden vuosittaisesta polttoaineenkulutuksesta. (SOx Scrubber Economical Study For Eckerö Line “M/S Translandia 2010)

Kaavioista nähdään laitteen kustannukset keskuspesurilla, laitekohtaisella pesurilla sekä kustannukset, jos laivassa käytettäisiin pääkoneissa polttoaineena MGO:ta.

	Integrated scrubber	Main stream scrubber	Running on MGO
Investment cost, equipment (€)	1 700 000	2 550 000	
Investment cost, installation (€)	850 000	1 275 000	
Investment cost TOTAL (€)	2 550 000	3 825 000	
Annual operating cost (€)	1 887 541	1 922 029	2 239 251
Saving compared to MGO (€)	351 710	317 221	
Saving compared to MGO (%)	16%	14%	
Payback time, HFO-MGO diff as now (years)	7,3	12,1	
Payback time, HFO-MGO diff 400\$/t (years)	2,1	3,5	
Payback time, HFO-MGO diff 700\$/t (years)	1,1	1,9	

Kuva 31. Pesureiden investointi, käyttö ja niiden tuoma säästö M/S Translandialla. (SOx Scrubber Economical Study For Eckerö Line “M/S Translandia 2010)

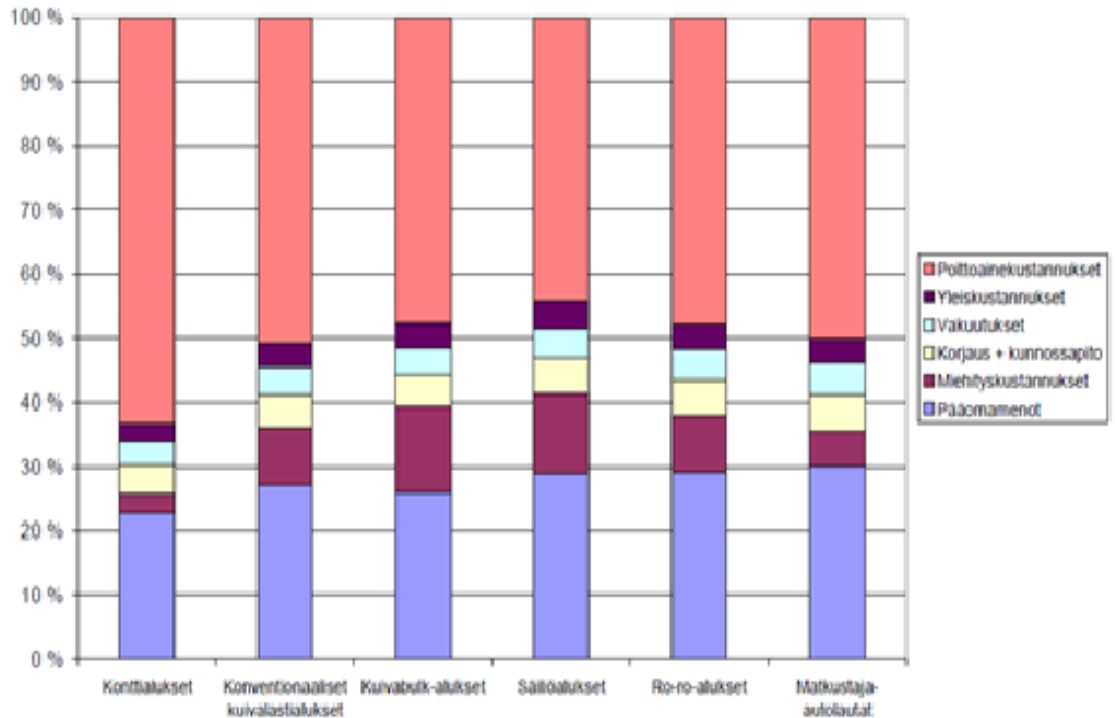


Kuva 32. Vuosittaisten käyttökustannusten arvio M/S Translandialla. (SOx Scrubber Economical Study For Eckerö Line “M/S Translandia 2010)

Kaaviosta saadaan selville myös laitteen myötä tuleva säästö, kun voi käyttää edullisempaa rikkiä sisältävää raskasta polttoainetta, sekä missä ajassa pesurin hinta on tullut takaisin polttoainekustannuksissa. Polttoaine hinnat ovat tämän hetken (12.8.2010) keskiarvo laskelmia ja tulevaisuudessa ennustetaan runsasrikkisen polttoaineen ja vähärikkisen polttoaineen eron kasvavan huomattavasti.

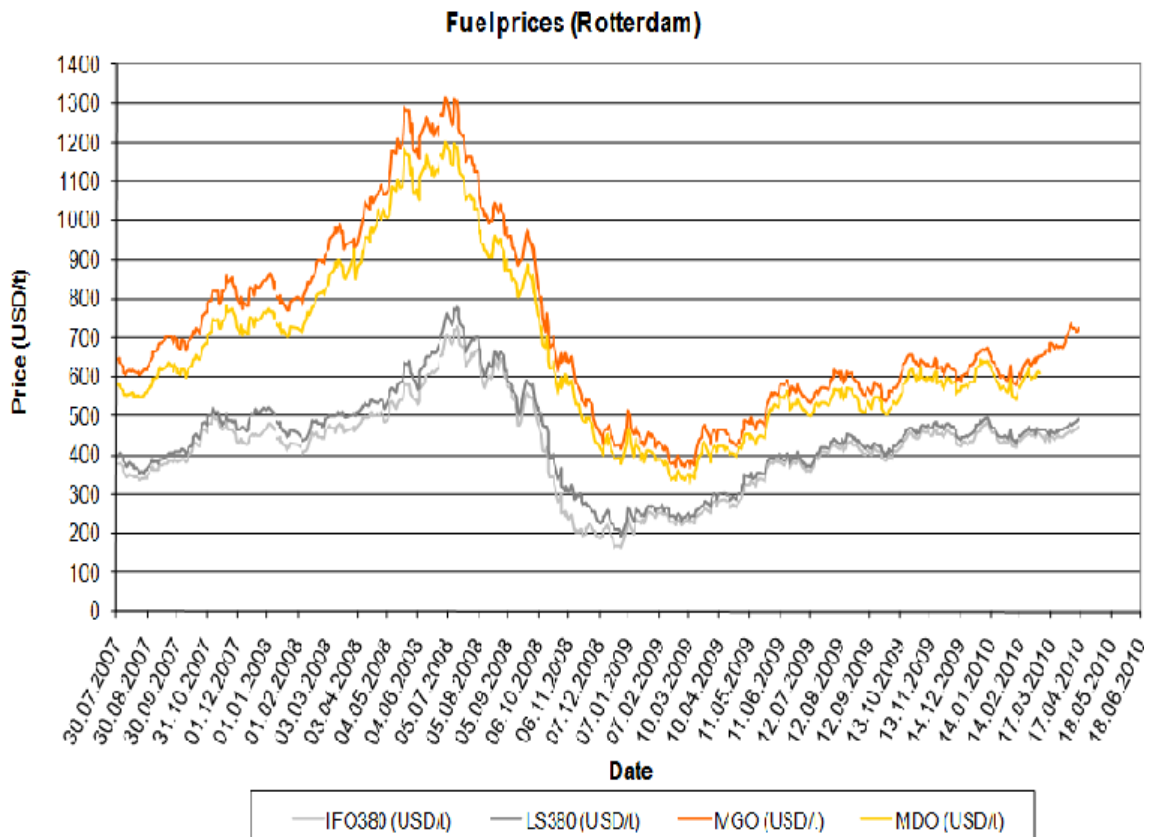
6.2 Polttoaineiden hinnat

Tällä hetkellä (10.10.2010) rahtimarkkinoilla on kova kilpailu rahdista. Rahtihintoja joudutaan laskemaan ja silloin polttoainehinnoilla on suuri merkitys.



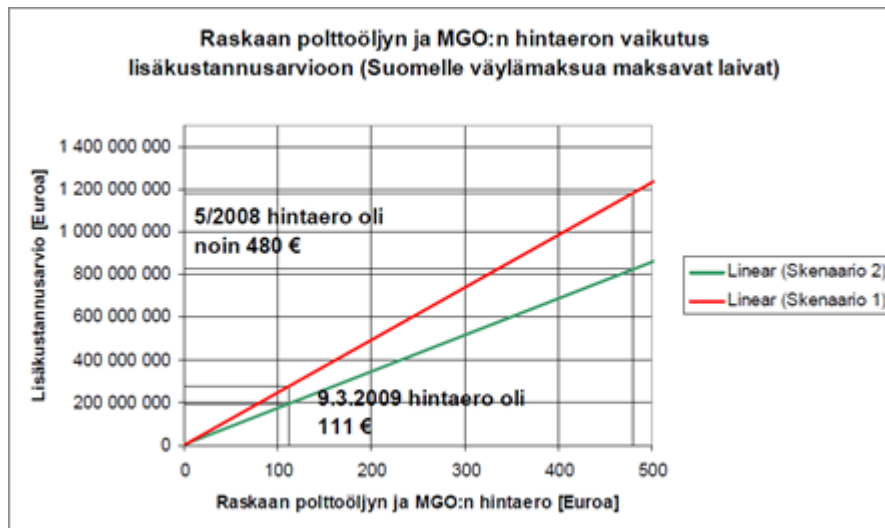
Kuva 33. Käyttökustannukset eri alustyypeittäin. (Laivanpolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

Polttoaineiden hinnat ovat nousseet reilusti ja varsinkin vähemmän rikkiä sisältävät polttoaineet ovat huomattavasti kalliimpia, kuin yleisimmin käytössä olevat polttoaineet, joissa rikkipitoisuus on 1,5 %.



Kuva 34. Polttoaineen hinnankehitys. (SOx- scrubbing of marine exhaust gases 2010)

Polttoaineen hintojen ennustaminen on vaikeaa, mutta tuskinpa hinnat ainakaan laskevat merkittävästi, koska polttoaineen hintaan vaikuttavia tekijöitä on paljon eikä hintaan vaikuta vaan pelkät tosiasiat vaan myös erilaiset odotukset sekä uskomukset tulevista; myös ne vaikuttavat myös polttoainehintoihin. Huomioitavaa on myös, että jos polttoaineen hintataso kohoaa huomattavasti, voi olla että rikkitasoa lasketaan sekoittamalla keskitisleitä raskaaseen polttoaineeseen, ja tämä myös vaikuttaa polttoaineiden hintatasoon. Tulevaisuudessa voi olla, että vain muutamat öljyjalostamot erikoistuvat matalarikkisten polttoaineiden valmistukseen, ja silloin kysyntä voi ylittää tarjonnan ja siitä voi seurata vielä suuremmat hintaerot.



Kuva 35. Raskaan polttoöljyn ja MGO:n hintaeron vaikutus lisäkustannusarvioon (Laivanpolttoaineen rikkiptoisuus vuonna 2015)

Suomeen liikennöivien alusten yhteenlaskettu polttoaineenkulutus on arvioitu vuoden 2007 kulutuksen mukaan kahden skenaarion pohjalta, jossa maksimikulutus on 2,6 miljoonaa tonnia (skenaario 1) ja minimikulutus 1,8 miljoonaa tonnia (skenaario 2). Tältä pohjalta aiheutuisi arvion mukaan Suomelle alusten siirtyessä vuoden 2015 alusta käyttämään raskaan polttoöljyn sijasta kevyttä polttoöljyä, tässä tapauksessa enimmäisrikkipitoisuudeltaan 0,1-prosenttista kaasuöljyä, seuraavat lisäkustannukset polttoainelaatujen hintaeron ollessa:

- 1) 111 euroa tonnilta, maksimi olisi 273 miljoonaa euroa ja minimi 190 miljoonaa euroa
- 2) 480 euroa tonnilta, maksimi olisi 1 182 miljoonaa euroa ja minimi 823 miljoonaa euroa

6.3 Polttoaineiden arvioidun hinnannousun vaikutus kustannuksiin

Polttoainekustannukset nousevat ja niiden osuus aluskustannuksista kasvaa. Huomionarvoista on, että kun siirrytään käyttämään raskaan polttoöljyn sijasta kevyttä polttoöljyä, aiheutuu samalla erittäin merkittävä kustannusten nousu. Kevyen polttoöljyn polttoainekustannukset ovat kaikilla alustyypeillä huomattavasti korkeammat raskaaseen polttoöljyyn verrattuna, jos tässä selvityksessä käytettävät polttoainelaatujen hinta-arviot toteutuvat. Tämä koskee myös globaalia merenkulkua, kun maailmanla-

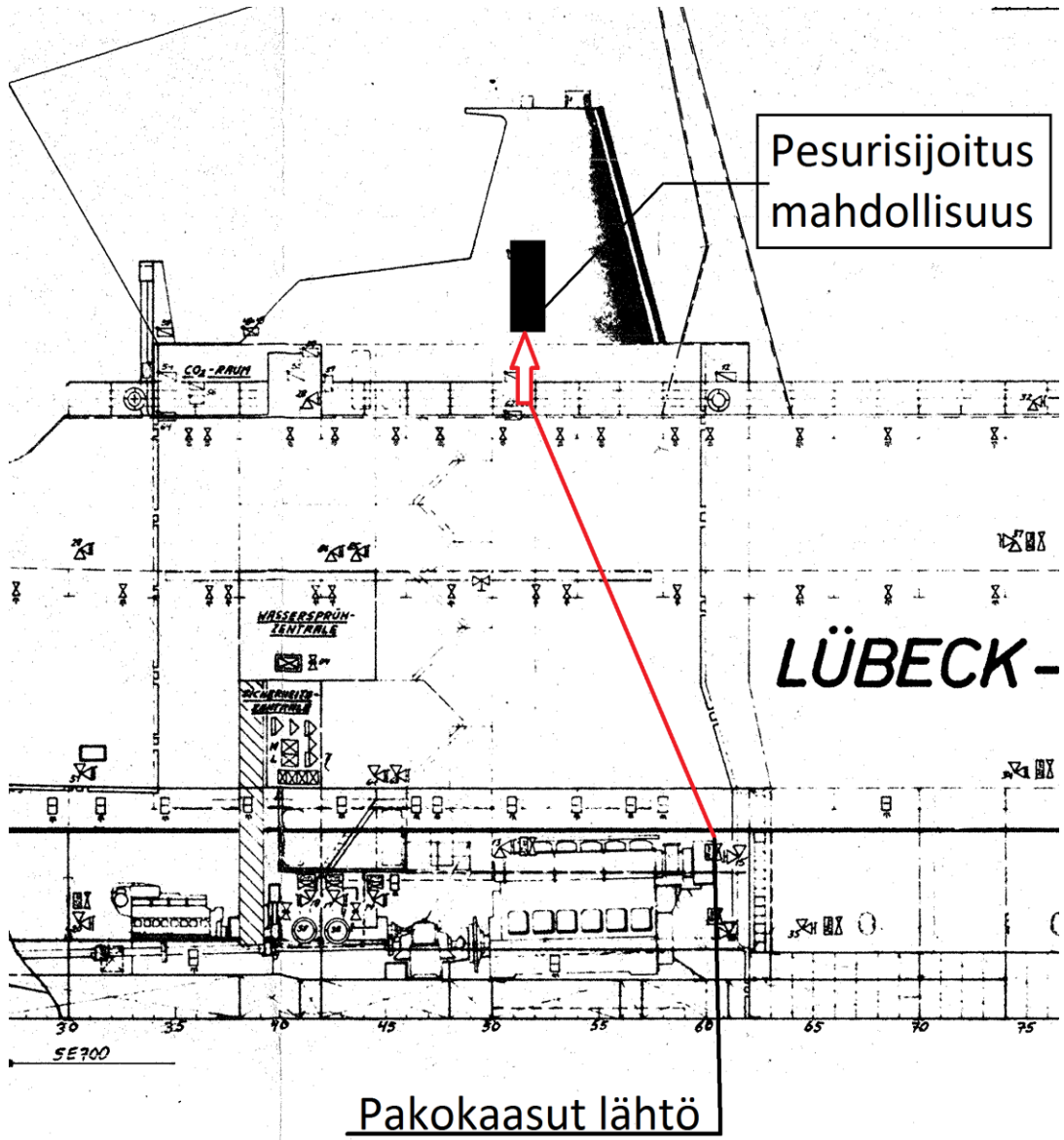
juisesti siirrytään käyttämään rikkipitoisuudeltaan 0,5-prosenttista polttoainetta vuonna 2020 tai viimeistään vuonna 2025. IMO:n selvityksen mukaan (IMO 2008) raskaiden polttoöljylaatujen käytöstä joudutaan pääosin luopumaan, kun polttoaineen rikkipitoisuusraja on alle 1 prosenttia, jolloin on siirryttävä käyttämään kevyitä polttoainelaatuja. Vaihtoehtona on kuitenkin rikkipesureiden käyttö, jolloin polttoaineena voidaan käyttää nykyisiä polttoainelaatuja. (Laivanpolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015)

7 ASENNUSMAHDOLLISUUDET M/S TRANSLANDIALLA

7.1 Rikkipesurien mahdolliset asennuskohteet

Aluksessa on kaksi erillistä korsteenia BB-puolella ja STB-puolella. Kuvassa 36 on piirretty korsteeniin varsinaisen pesurin paikka, molemmin puolin korsteenit ovat samanlaiset. Seuraavasta kuvasta 37 nähdään, että korsteenissa ei ole kovin paljon tilaa laitteille, joten oheislaitteet on sijoitettava alas konehuoneeseen. Kuvassa 38 oleva kylmäkompressori siirretään pois nykyiseltä paikaltaan, joten siihen tulisi hyvää tilaa pesurien vaatimille laitteille. Vanhoissa laivoissa uusien laitteiden asentaminen tuottaa hankaluuksia tilanpuutteen takia. Kuvassa 39 on aluksen pumppuhuone josta saadaan pesureille mahdollinen merivesi riippuen kuitenkin siitä, minkälaisen pesurin yhtiö päättää hankkia kyseiseen alukseen.

Toinen mahdollisuus on sijoittaa kaikki pesureiden vaatimat oheislaitteet aluksessa olevaan alaruumaan. Alaruuma on poistettu lastikäytöstä ja se on näin ollen tyhjänä tilana konehuoneen keulapuolella, ainoastaan aluksen HI-FOG-sammutusjärjestelmän pumppuyksikkö sijaitsee siellä. Tämä sammutusjärjestelmä käyttää makeaa vettä, joten sitä voisi hyödyntää, jos valitaan alukseen rikinpoistopesuri, joka vaatii makeaa vettä.



Kuva 36.. Rikkipesurin laitesijoitus.



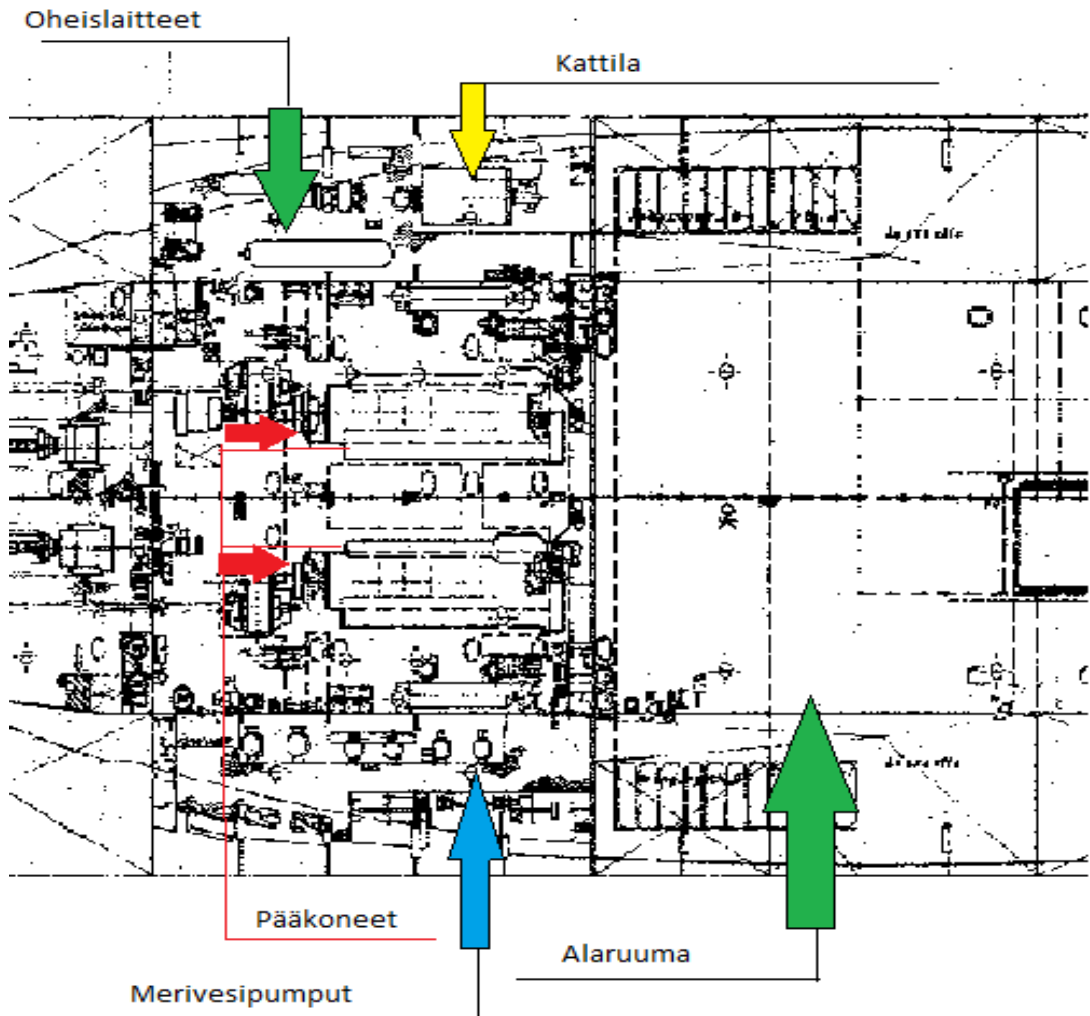
Kuva 37. Korsteeni sisäpuolelta



Kuva 38. Oheislaitteiden sijoituspaikka



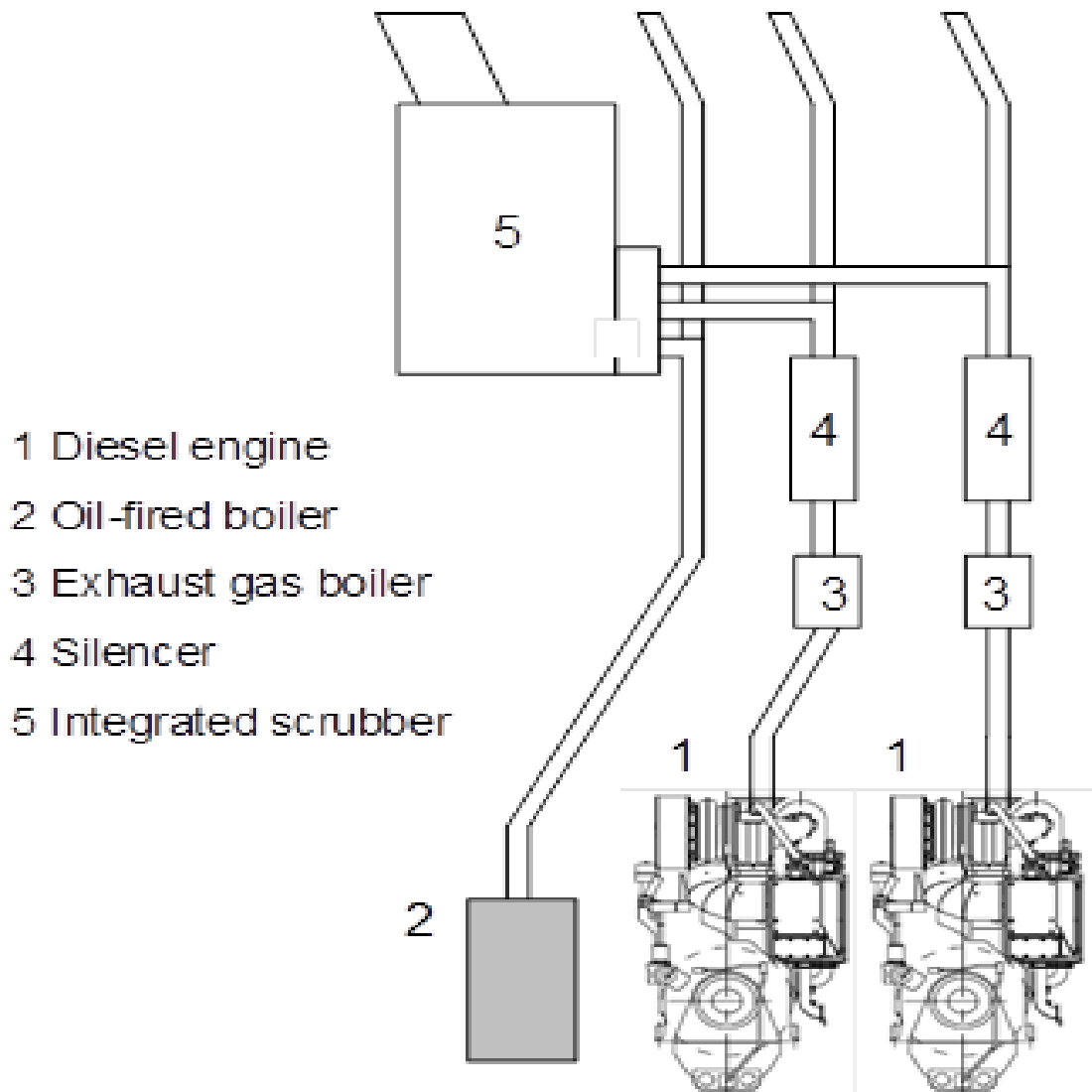
Kuva 39. Merivesipumput



Kuva 40. Alaruuma

8 JOHTOPÄÄTÖS/ SUOSITUS

Tutkielman tarkoituksena oli selvittää pakokaasupäästöjen vähentämistä rikkipesureiden avulla sallittuihin rajoihin Eckerö Linen M/S Translandia-aluksessa. Parhaimpiin säästö- ja päästökustannuksiin päästäisiin kyseisellä aluksella asentamalla siihen kaksi erillistä pesuria, molemmille pääkoneille omansa. Toiseen pääkoneen pesuriin liitettäisiin myös kattilan pakokaasut. Tällä tavalla saataisiin käytettyä myös kattilaa raskaalla rikkipitoisella polttoaineella, ja silloin tämä pesuri tuottaisi huomattavaa säästöä myös polttoainekustannuksiin.

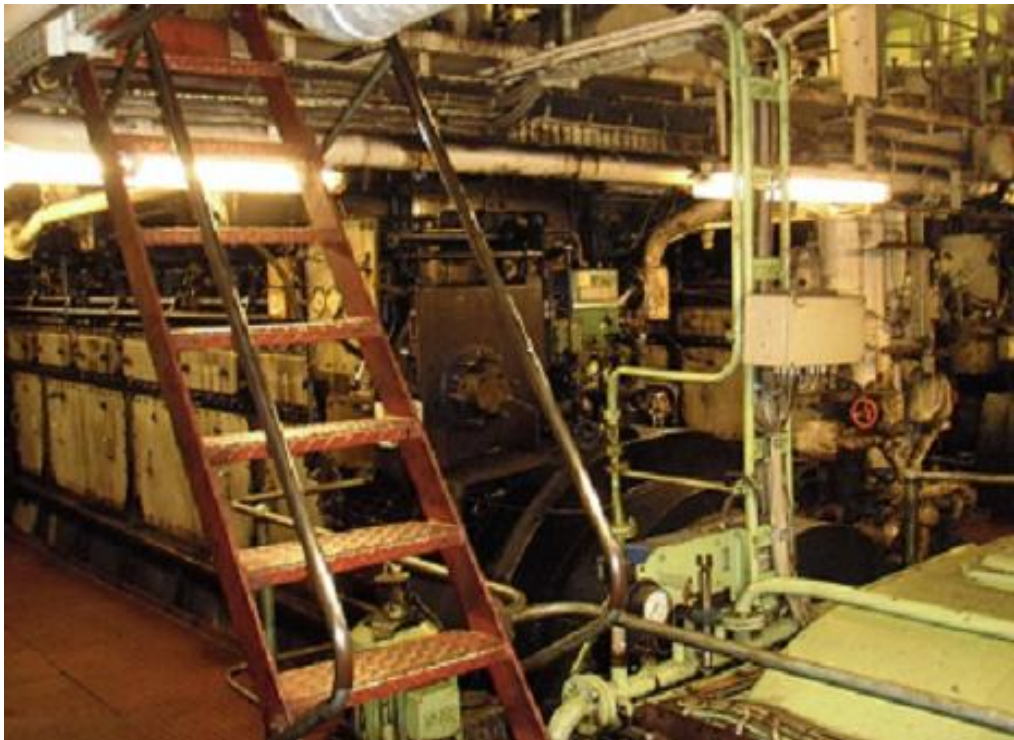


Kuva 41. SO_x- scrubbing of marine exhaust gases 2010, Wärtsilä Oy

Laskelmissa huomioitu MGO:n käyttö onnistuu hyvin kattilan käytössä, kattila toimii varmemmin ja on näin ollen huoltovapaampi, mutta pääkoneiden käytössä MGO:sta voi aiheutua ongelmia. Esimerkiksi jo kulutus tuo suuren ongelman polttoainehintojen takia, ja kyseiset pääkoneet on suunniteltu käymään raskaalla öljyllä.



Kuva 42. Pääkoneet



Kuva 43. Pääkoneet

Kattilan käydessä raskaalla öljyllä joudutaan kattilaan tekemään huomattavasti enemmän huoltotoimia esimerkiksi:

- kattilan nokitus
- kärkien puhdistus
- polttoainesuodattimen puhdistus



Kuva 44. Kattilan poltin

Raskasta polttoainetta käytettäessä kattilassa etuina on hinta, verrattuna kevyeseen polttoöljyyn. Polttoaineen hinnassa säästetään niin paljon että säästö kattaa jo suurimmat huoltotoimenpiteet kattilan käydessä raskaalla öljyllä.

Pesurien hankintaa suunniteltaessa on otettava aluksen ikä huomioon ja silloin on arvioitava kyseisen aluksen käyttöikä: kuinka pitkään sillä vielä voidaan ajaa. Alus on

rakennettu 1976 ja on näin ollen aika vanha, ja laitteen hinta on aika kova hankittaessa sitä mutta hankinta on myös melko välttämätön, jos alus aikoo jatkaa ajamista vuoden 2015 jälkeenkin.

Haastattelimme opinnäytetyötä varten yhtiön teknistä tarkastajaa. Hän kertoi että yhtiö seuraa määräysten muutosta sekä laitevalmistajien tarjontaa, mutta mitään ei ole vielä päätetty tai mikä tulee olemaan ratkaisu kyseisen aluksen rikki-pitoisuuden vähentämiseen pakokaasuista. Yhtiön kanta on hyvin ymmärrettävä tässä tilanteessa, koska alus on jo vanha. Pesureiden hankinta ja asentaminen vaatii suuria muutostöitä sekä pitkän telakoinnin, joka taas on yhtiölle tuottamatonta aikaa ja näin ollen myös suuri kustannuskysymys.

LÄHTEET

Aluksia koskevia EU:n ympäristönsuojelumääräyksiä. Merenkululaitoksen sivusto. www.trafi.fi/merenkulku/ ympäristön suojele / EU:n ympäristönsuojelumääräyksiä (Viitattu 15.9.2010)

Couple System, DryEGCS. Saatavissa www.couple-systems.com (viitattu 8.11.2010)

Eckerö Line OY AB. Saatavissa www.eckeroline.fi (viitattu 8.11.2010)

Exhaust Gas Cleaning System (EGCS), 2009. Det Norske Veritas.

Fakta om Fartyg. Saatavissa www.faktaomfartyg.se (viitattu 8.11.2010)

Feasible SO_x Solutions, 2010. Wärtsilän julkaisu

Grades of crude oil 2008, saatavissa www.fxstreet.com/education/related-markets/oil-basis-grades-of-crude-oil/2008-12-10.html (Viitattu 1.9.2010)

IMO, International Maritime Organization 2009. *Prevention of air pollution from ships. Sulphur Monitoring for 2008*. MEPC 59/4/1

Itämeren haasteet ja Itämeri- politiikka 23/2009, Valtioneuvoston kanslian julkaisu sarja

Kangasmäki J. 2010. Wärtsilä Oy. Sähköpostitiedonanto

Karlsson, Joel 19.10.2010. Eckerö Line. Sähköpostitiedonanto

Lahtinen J. n.d. Rikkipesurit puhdistavat laivojen pakokaasuja

Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015 - IMO:n uusien määräysten arvioidut vaikutukset kuljetuskustannuksiin, 2009. Liikenne- ja viestintäministeriö

MARPOL 73/78-yleissopimus n.d. Merenkululaitoksen sivusto.

www.trafi.fi/merenkulku/ ympäristön suojeleu marpol 73/78-yleissopimus

Merenkulkutoimialan tiedote 9/2010 - 28.5.2010, Merenkululaitoksen sivusto. Saatavissa www.trafi.fi/merenkulku/uutiset/uutinen/247 (Viitattu 15.9.2010)

New, Dry Scrubber Technology Proven in Field Conditions, 2010. MAN diesel & turbo, lehdistöjulkaisu

Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006. Neste Oil Oyj

Rikkipäästöt suomessa, n.d. Ilmatieteenlaitoksen sivusto. http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu/ilakaupu_4.html (Viitattu 8.10.2010)

SOx Scrubber Economical Study For Eckerö Line “M/S Translandia 2010, SOx- scrubbing of marine exhaust gases 2010, Wärtsilä Oy

SOx scrubbing of marine exhaust gases, 2007 http://www.shipgaz.com/magazine-/issues/2007/18/1807_article1.php (Viitattu 20.9.2010)

The Challenge of Emission Control in the Marine And Offshore Industries, 2010. Ecospecin julkaisu



Subject: SOx Scrubber Economical Study
Prepared by: Jarkko Kangasmäki
Date: 12 October 2010
Revision: -

SOx Scrubber Economical Study

For

Eckerö Line "M/S Translandia"

Wärtsilä Finland Oy



Subject: SOx Scrubber Economical Study
 Prepared by: Jarkko Kangasmäki
 Date: 12 October 2010
 Revision: -

1. Introduction

The purpose of this study is to present a preliminary operating and investment cost calculation with exhaust gas scrubber system, also pay back times are indicated. In case more detailed price is requested for the system and installation an onboard survey to the vessel is needed.

2. General

Table 1 presents the basic ship information used in the study for the calculations.

Table 1: Ship data

Name of the vessel:	M/S Translandia	
Main engine power:	9 312	kW
Annual fuel consumption ME's:	4 400	ton
Annual fuel consumption AE's:	0	ton
Annual fuel consumption OFB's:	450	ton

3. Fuel sulphur limits

The following figure presents the future sulphur limits set by IMO and EU. IMO regulations are based on SOx Emission Control Areas with more stringent criteria and global sulphur limits.

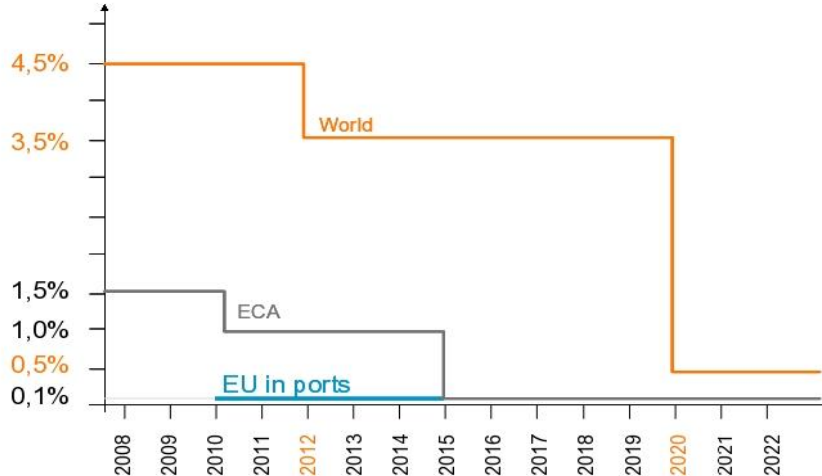


Figure: Fuel sulphur limits

Current maximum fuel sulphur limit in SOx Emission Control Areas is 1.5 %. The future SOx ECA sulphur limit 1st July 2010 until 1st January 2015 will be 1.0 %. The sulphur limit in SOx ECA will be further tightened to 0.1 % after 1st January 2015. In 2010 the fuel sulphur limit in EU ports will be 0.1%.



Subject:	SOx Scrubber Economical Study
Prepared by:	Jarkko Kangasmäki
Date:	12 October 2010
Revision:	-

In this study the consumptions and operating costs are calculated with

- 2.5 % sulphur Heavy Fuel Oil (assumed to be average HFO sulphur content)
- 0.1 % sulphur Marine Gas Oil (in case compliance is reached by low sulphur fuel)

The scrubber dimensioning is based on 3.5 % sulphur fuel, as a standard. Scrubber is designed to clean 3.5% sulphur fuel to correspond equivalent 0.1% sulphur in fuel.

4. Alternatives for comparison

Integrated scrubber

The alternative is based on one integrated scrubber that will clean the exhaust gases from all main and auxiliary engines as well as the oil-fired boilers. The ship will manage with only one fuel, high sulphur HFO, and the exhaust gases are cleaned to comply with the limits.

Main stream scrubber

The alternative is based on main stream scrubber(s) that will clean the exhaust gases from main engine(s) to comply with the limits. Each main engine is equipped with own scrubber. Main engine(s) are operating with high sulphur HFO. Auxiliary engines and oil-fired boilers use MGO to reach compliance.

Compliance by fuel (Running on MGO)

In this alternative the compliance is reached through use of MGO. The alternative does not include any scrubbers.

The scrubber technology is based on closed loop fresh water system with NaOH addition. The scrubber dimensioning is for maximum gas flow from the combustion units.

5. Investment and operating cost

The investment cost is calculated to be based on the following:

- Scrubber system equipment, consisting of all the required equipment for SOx scrubber plant transported in the installation facility as well as necessary documentation for installation, operation and certification of compliance.
- Installation, consisting of existing funnel modification, scrubber equipment installation, tank modifications, materials, piping and cabling, commissioning etc.

Note: the equipment and installation cost can be considered as very preliminary estimate. For more detailed price an onboard inspection and further engineering work is needed, especially to determine the installation cost.

The basis for this study is a continuous operation in SOx Emission Control Areas. The long term perspective is that several regions are becoming sulphur controlled in the future. The annual operating costs consist of:

- Fuel cost
- Fresh water cost
- NaOH cost
- Maintenance cost



Subject: SOx Scrubber Economical Study
 Prepared by: Jarkko Kangasmäki
 Date: 12 October 2010
 Revision: -

Table 2: Annual fuel, NaOH and fresh water consumption

	Integrated scrubber	Main stream scrubber	Running on MGO
HFO [t/year]	4 899	4 444	
MGO [t/year]		427	4 600
Fresh water [m³/year]	4 802	4 356	
NaOH 50% [m³/year]	534	484	

Table 1 shows the informed ship fuel consumption. Table 2 shows the consumptions used in this study for operating cost calculation. NaOH and fresh water consumption have been calculated to match the given fuel consumption. The annual fuel consumption of scrubber alternative is slightly higher due to the additional energy consumption of the scrubber system. The higher heat value of MGO is also taken into account. The scrubber will typically increase the power demand by 0.5 to 1% of the prevailing engine power. In this study a figure of 1% has been applied.

Table 3 presents the prices that have been used in this study to calculate operating costs.

Table 3: Prices and exchange rate applied in the study

Exchange rate:	1,2747	\$/€
Price of HFO:	455,00	\$/ton
Price of MGO:	620,50	\$/ton
Price of 50% NaOH:	250	\$/m ³
Fresh water price:	3	€/m ³
Annual maintenance cost:	20 000	€

The price difference between MGO and HFO is expected to increase heavily in the future.

The price of 50% NaOH varies significantly (between 25 – 350 USD/m³). The actual NaOH price depends also on the contract with the supplier, the delivery method, amount purchased, etc.

The fresh water is assumed to be bunkered from a port. If the fresh water for scrubber is produced onboard by vessel's own fresh water generator, the cost will be lower. However, the fresh water cost is insignificant compared to other costs. Figure 1 shows the annual operating costs for the alternatives.



Subject: SOx Scrubber Economical Study
 Prepared by: Jarkko Kangasmäki
 Date: 12 October 2010
 Revision: -

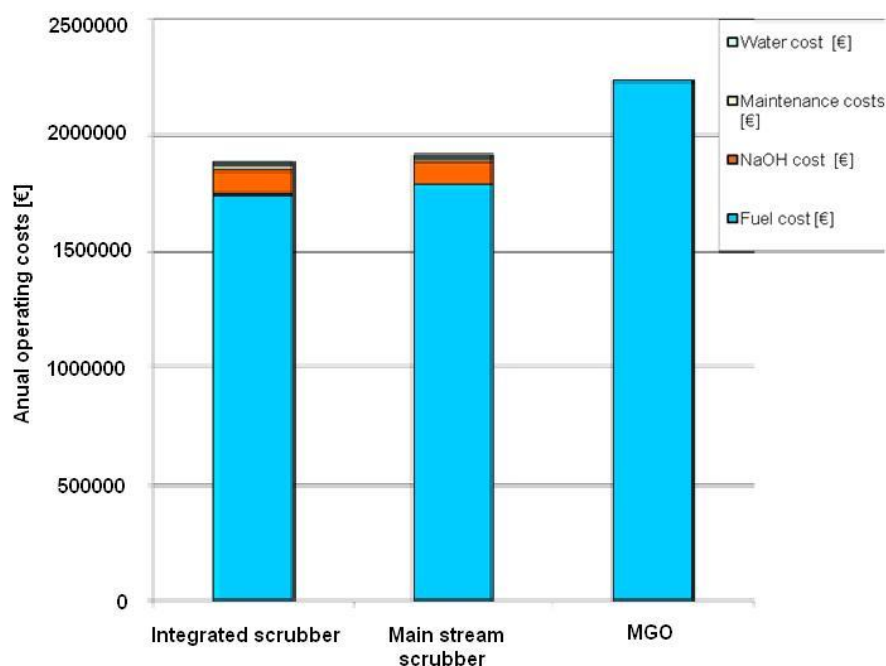


Figure 1: Annual operating cost comparison for the alternatives.

Table 4 summarizes the cost comparison. The investment and operating costs are presented for the alternatives. The payback time is calculated based on the annual saving compared to investment cost.

Table 4: Cost comparison and payback time

	Integrated scrubber	Main stream scrubber	Running on MGO
Investment cost, equipment (€)	1 700 000	2 550 000	
Investment cost, installation (€)	850 000	1 275 000	
Investment cost TOTAL (€)	2 550 000	3 825 000	
Annual operating cost (€)	1 887 541	1 922 029	2 239 251
Saving compared to MGO (€)	351 710	317 221	
Saving compared to MGO (%)	16%	14%	
Payback time, HFO-MGO diff as now (years)	7,3	12,1	
Payback time, HFO-MGO diff 400\$/t (years)	2,1	3,5	
Payback time, HFO-MGO diff 700\$/t (years)	1,1	1,9	

Based on above, considerable annual saving can be achieved with scrubber system when calculating according to today's fuel prices. In the future the saving potential can be remarkably higher as the price difference of the HFO and MGO increases.



Subject: SOx Scrubber Economical Study
 Prepared by: Jarkko Kangasmäki
 Date: 12 October 2010
 Revision: -

7. Sensitivity analysis

Fuel price difference between HFO and MGO is the defining factor in this study. Change in price difference affects directly to the operating costs and payback time. To indicate the effect, Figure 2 shows the annual operating cost savings and the payback time of scrubber installation versus the fuel price difference.

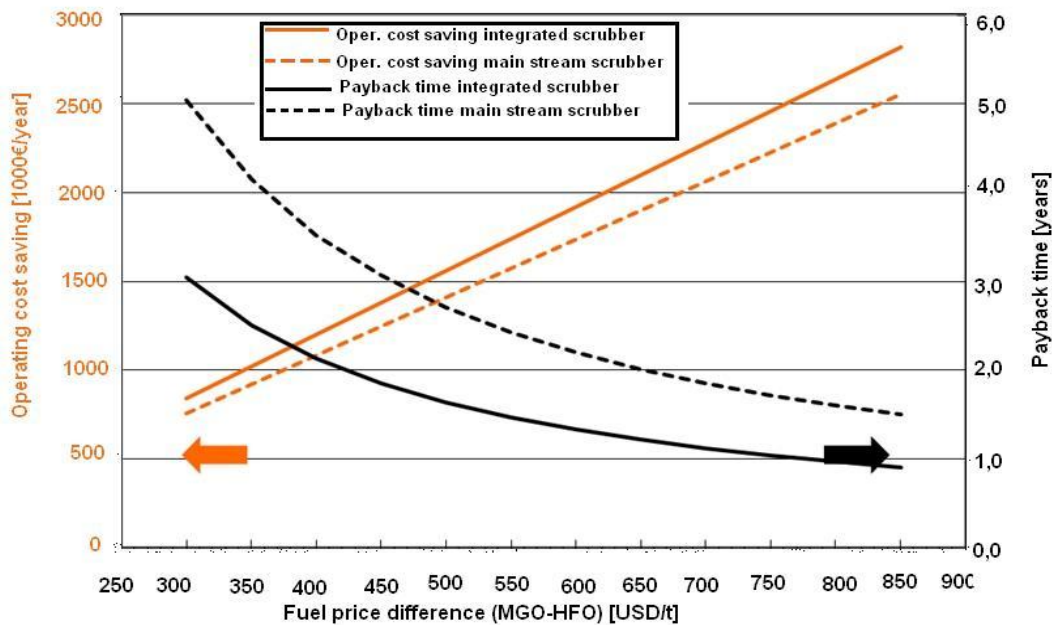


Figure 2: Operating cost savings and the payback time versus the fuel price difference.

NOTE: This document provides only preliminary data and calculations only for information. It should not be considered as an offer for scrubber system. Please contact Wärtsilä for more detailed scrubber system information.