



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kirsi Spoof-Tuomi

LASKENTATYÖKALU LAIVOJEN
RIKKIPESURI-INVESTOINTIEN
KANNATTAVUUDELLE

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kirsi Spoof-Tuomi
Opinnäytetyön nimi	Laskentatyökalu laivojen rikkipesuri-investointien kannattavuudelle
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	63 + 7 liitettä
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Tämä työ tehtiin Wärtsilä Finland Oy Environmental Solutions -yksikön toimeksiannosta. Työn tarkoituksena on toteuttaa laskentatyökalu laivojen rikkipesuri-investoinnin kannattavuuden arviointiin. Aihe nousee ajankohtaiseksi vuoden 2015 alussa voimaan astuvien tiukentuvien meriliikenteen rikkirajoitusten myötä, jolloin polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus laskee rikkipäästöjen erityisvalvontalueilla 0,1 prosenttiin. Globaalilla tasolla tiukentuviin rikkirajoihin siirrytään vuonna 2020 tai 2025, kun maailmanlaajuisesti siirrytään käyttämään rikkipitoisuudeltaan 0,5-prosentista polttoainetta. Kansainvälisen merenkulkujärjestön yleissopimus mahdollistaa kuitenkin myös pakokaasujen jälkikäsittelyn vaihtoehtona vähärikkiselle polttoaineelle. Tällä hetkellä varustamoiden mahdollisuudet vastata tiukentuviin määräyksiin ovatkin käytännössä joko siirtyminen matalarikkisen polttoaineen käyttöön tai investointi pakokaasujen puhdistusteknologiaan, jolla saavutetaan sama päästövähennystaso.

Työn teoreettinen osuus koottiin Kansainvälisen merenkulkujärjestön ajankohtaisista säännöksistä ja Wärtsilän pesuriteknologioita koskevista sisäisistä asiakirjoista. Pesuri-investoinnin kannattavuutta tarkastellaan vertaamalla pesuri-investoinnilla aikaansaattavia säästöjä polttoainekustannuksissa investoinnin vaatimiin taloudellisiin uhrauksiin. Kannattavuusarvion mittareiksi valittiin investointiteorian mukaan tärkeimmät taloudelliset tunnusluvut investoinnin nettohyötyarvo ja takaisinmaksuaika. Nämä tunnusluvut toimivat myös hyvin toisiaan täydentävinä mittareina.

Työn tuloksena syntyi Excel-pohjainen laskentatyökalu pesuri-investoinnin kannattavuuden arviointia varten. Laskentatyökalua hyödynnetään Wärtsilän pesurien jälkiasennusten myynnissä tuottamaan luotettavaa ja havainnollista tietoa asiakkaan investointipäätöksen tueksi.

Avainsanat	merenkulun rikkipäästöt, rikkipesuri, laskentatyökalu, investointi, Wärtsilä
------------	--

ABSTRACT

Author	Kirsi Spoof-Tuomi
Title	Calculation Tool for Profitability Assessment of SO _x Scrubber Investments
Year	2013
Language	Finnish
Pages	63 + 7 Appendices
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

This thesis was commissioned by Wärtsilä Finland Oy Environmental Solutions unit. The aim of the thesis was to make a calculation tool for profitability assessment of SO_x scrubber investments. The subject will become an important issue during the beginning of the year 2015, when maritime sulphur limits are tightened and the maximum sulphur content of the fuel decreases to 0.1 per cent in special emission control areas. At the global level, the tightening limit of 0.5 per cent sulphur in marine fuels will come into effect in the year 2020 or 2025. The International Maritime Organization's Convention, however, allows the exhaust gas after-treatment as an alternative to low sulphur fuel. At the moment there are practically two alternatives for ship operators to react to the tightening regulations: transition to low-sulphur fuel or to invest in exhaust gas cleaning technology that achieves an equivalent level of emission reduction.

The theoretical material of the study was collected from the regulations of the International Maritime Organization and Wärtsilä's internal documents concerning scrubber technologies. The profitability of the scrubber investment was examined by comparing the savings in fuel costs achieved with the help of investment on scrubber and required financial investment. The most important financial indicators, net present value and payback period were chosen for profitability measures. These indicators are useful also as mutual supplementary methods.

As a result of the thesis an Excel-based calculation tool for the evaluation of profitability of scrubber investment was made. The calculation tool is utilized in Wärtsilä's retrofit sales operations to produce reliable and illustrative information to help customers in their investment decision making.

Keywords	Marine sulphur emissions, SO _x scrubber, calculation tool, investment, Wärtsilä
----------	--

Sisältö

1	JOHDANTO	11
2	WÄRTSILÄ FINLAND OY	13
3	MERENKULUN RIKKIPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMINEN	14
	3.1 IMO:n säädökset.....	15
	3.2 EU:n säädökset	19
	3.3 Kansalliset säädökset.....	20
4	MERILIIKENTEEN POLTTOAINEET	21
	4.1 Raskas polttoöljy	21
	4.2 Kevyet polttoöljyt.....	22
	4.3 Nesteytetty maakaasu (LNG)	22
	4.4 Keinot sääntelyn vaatimusten täyttämiseksi.....	23
5	RIKKIPESURIT	25
	5.1 Kuivapesurit	25
	5.2 Märkäpesurit.....	25
	5.2.1 Closed loop	27
	5.2.2 Open loop.....	31
	5.2.3 Hybridipesuri	34
	5.3 Pesurivaihtoehtojen vertailua	36
	5.4 Asennusvaihtoehdot	38
	5.4.1 Laitekohtainen pesuri (main stream scrubber).....	38
	5.4.2 Integroitu pesuri (integrated scrubber)	39
6	PESURI-INVESTOINNIN KANNATTAVUUSLASKELMAT	40
	6.1 Investointilaskelmat.....	40

6.1.1	Nettonykyarvomenetelmä.....	41
6.1.2	Sisäisen korkokannan menetelmä.....	41
6.1.3	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	41
6.2	Laskentatyökalujen toteutus.....	42
6.3	Laskentatyökalun käyttö.....	43
6.3.1	Perustiedot.....	43
6.3.2	Operointiprofiili tai polttoaineen kulutus.....	44
6.3.3	Polttoaineiden hinta.....	45
6.3.4	Pesurijärjestelmän käyttökustannukset.....	46
6.3.5	Asennustapa.....	49
6.3.6	Investointikustannukset.....	50
6.3.7	Investoinnin tuottovaatimus.....	50
6.4	Laskennan tulokset.....	51
6.5	Tulosten esittäminen.....	52
6.6	Tulosten vertailu.....	58
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	60
	LÄHTEET.....	62
	LIITTEET	

LYHENTEET

BOTU	Bleed-off Treatment Unit, poistoveden käsittely-yksikkö
CAPEX	Capital Expenditure, pääomamenot
CEMS	Continuous Emission Monitoring System, jatkuvatoiminen päästöjen valvontajärjestelmä
EMM	Effluent Monitoring Module, käsitellyn pesuriveden valvontayksikkö
HFO	Heavy Fuel Oil, raskas polttoöljy
IFO	Intermediate Fuel Oil, raskas polttoöljy
IMO	International Maritime Organisation, Kansainvälinen merenkulkujärjestö
IRR	Internal Rate of Return, sisäinen korkokanta
LNG	Liquefied Natural Gas, nesteytetty maakaasu
LS	Low Sulphur, matalarikkinen
MARPOL	International Convention for the Prevention on Pollution from Ships, kansainvälinen yleissopimus alusten aiheuttaman meriympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi
MGO	Marine Gas Oil, meriliikenteen kaasuöljy
MDO	Marine Diesel Oil, meriliikenteen dieselöljy
NO _x	Nitrogen Oxides, typpioksidit
NPV	Net Present Value, nettonykyarvo
OPEX	Operational Expenditure, käyttömenot

PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, polisykliset aromaattiset hiilivedyt
SECA	Sulphur Emission Control Area, rikkipäästöjen valvonta-alue
SO _x	Sulphur Oxides, rikkioksidit

KUVALUETTELO

Kuva 1. IMO:n ja EU:n rikkirajat. /26/	18
Kuva 2. Euroopan SECA-alueet. /23/	18
Kuva 3. Pohjois-Amerikan ECA-alueet. /26/	19
Kuva 4. MGO:n ja HFO:n hintaeron kehitys. /26/	24
Kuva 5. Märkäpesurin toimintaperiaate. /26/	26
Kuva 6. Closed loop -pesurijärjestelmä. /25/	28
Kuva 7. Alkalin kulutus suhteessa polttoaineen kulutukseen. /25/	29
Kuva 8. Open loop -pesurijärjestelmä. /25/	32
Kuva 9. Hybridipesurin rakenne ja toiminta. /27/	35
Kuva 10. Meriveden alkaliniteetti Itämeren alueella. /23/	36
Kuva 11. Laitekohtaisen pesurin periaatepiirros. /24/	38
Kuva 12. Integroidun pesurin periaatepiirros. /24/	39
Kuva 13. Polttoaineiden, lipeän ja makeanveden vuosittainen kulutus eri vaihtoehtoilla.	52
Kuva 14. Eri vaihtoehtojen käyttömenojen vertailu.	53
Kuva 15. Vuosittaiset käyttömenot eri vaihtoehtoille.	54
Kuva 16. Takaisinmaksuaika ja käyttökustannusten säästöt MGO-HFO hinnaneron funktiona.	55
Kuva 17. Nettonykyarvo laskentakoron funktiona.	55
Kuva 18. Kumulatiiviset kassavirrat.	56
Kuva 19. Takaisinmaksuaika SECA-alueella liikennöidyn osuuden mukaan.	57

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. MARPOL-yleissopimuksen liitteet. /10/	16
Taulukko 2. Yhteenveto eri pesurityyppien vaatimuksista.....	37
Taulukko 3. Laivamoottoreiden ominaiskulutus maksimiteholla. /8/	44
Taulukko 4. Pesurijärjestelmien käyttömenojen muodostuminen.....	47
Taulukko 5. Aluksen tiedot.....	52
Taulukko 6. Kustannusvertailu, takaisinmaksuaika ja sisäinen korkokanta.....	57
Taulukko 7. Eri pesurityyppien tunnuslukujen vertailu.	58

LIITELUETTELO

LIITE 1. Questionnaire

LIITE 2. Wärtsilä closed loop scrubber calculation tool

LIITE 3. Wärtsilä closed loop scrubber economical study report

LIITE 4. Wärtsilä open loop scrubber calculation tool

LIITE 5. Wärtsilä open loop scrubber economical study report

LIITE 6. Wärtsilä hybrid scrubber calculation tool

LIITE 7. Wärtsilä hybrid scrubber economical study report

1 JOHDANTO

Maailmankaupan määrästä 90 prosenttia kuljetetaan meritse ja merikuljetusten määrän voidaan ennustaa edelleen kasvavan voimakkaasti. Vaikka meriliikenteen rikkipäästöt kuljetettua määrää kohden ovat pienet, on merikuljetusten määrän kasvu lisännyt meriliikenteen rikkipäästöjä merkittävästi ja ilman lisätoimia meriliikenteen rikkikuormitus ylittää Euroopassa vuonna 2020 maalta peräisin olevien lähteiden rikkipäästöt /2/.

Rikkipäästöjen alentaminen on jo pitkään ollut ykköstavoitteena merenkulun aiheuttamien ilmansaastepäästöjen vähennyspyrkimyksissä. Meriliikenteen polttoaineena käytettävä raskas polttoöljy sisältää jopa 2700 kertaa enemmän rikkiä kuin tieliikenteen ajoneuvoissa sallitaan. Merenkulun savukaasupäästöissä ilmaan vapautuva rikkidioksidi ja pienhiukkaset ovat sekä luonnon että terveyden kannalta haitallisia. Euroopan komission arvion mukaan laivaliikenteen rikkipäästöt aiheuttavat vuosittain jopa 50 000 ennen aikaista kuolemantapausta Euroopassa. Lisäksi rikkipäästöjen aiheuttamat haitat luonnossa ovat mittavat. /2/

Merenkulun päästöjen vähentäminen vaatii kansainväliset säännökset. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) hyväksyi vuonna 2008 uudet rajoitukset alusliikenteen rikkidioksidipäästöille merenkulun ympäristönsuojelusopimuksen (MARPOL) uudistetun ilmansuojeluliitteen (Annex VI) yhteydessä. Sopimuksen mukaan polttoaineen rikkipitoisuus valvontalueilla (Sulphur Emission Control Area, SECA-alue) laskee 1.7.2010 alkaen 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin ja laskee edelleen 1.1.2015 alkaen 0,1 prosenttiin. Valvontalueen ulkopuolisilla alueilla korkein sallittu laivapolttoaineen rikkipitoisuus laskee vuoden 2012 alusta 4,5 prosentista 3,5 prosenttiin ja 0,5 prosentin rikkipitoisuuteen siirrytään vuonna 2020. Viimeksi mainitun voimaantuloa voidaan siirtää IMO:n päätöksellä vuoteen 2025, mikäli siihen on perusteita vuonna 2018 tehtävän polttoaineen saatavuustarkastelun perusteella. /12/

Vähärikkiseen polttoaineeseen siirtyminen tuottaa varustamoille merkittävät lisäkustannukset. Kun kustannustehokasta keinoa rikin poistamiseen raskaasta polttoöljystä ei ole, tarkoittaa tämä sitä, että jatkossa laivojen polttoaineena on siirryttä-

vä käyttämään kaasuöljyä (MGO, Marine Gas Oil), joka on valmistustavastaan johtuen huomattavasti kalliimpaa kuin raskaat polttoöljyt. MARPOL-yleissopimus kuitenkin sallii myös sellaisen vaihtoehtoisen teknologian käytön, jolla saavutetaan sama päästövähennystaso kuin matalarikkisen polttoaineen käytöllä. Savukaasujen rikkipesurit mahdollistavat alusten operoinnin edullisemmalla korkearikkisellä polttoaineella myös tiukentuvien rajoitusten voimaan astumisen jälkeen. Mitä suurempi hintaero raskaan polttoöljyn ja MGO:n välillä on, sitä suuremman taloudellisen hyödyn rikkipesuriin investoinut varustamo saa. /13, 9/

Wärtsilä Oy:llä on runsaasti kokemusta savukaasupesureiden toimituksista maavoimaloihin ja yhtiö tarjoaa nyt vastaavia ratkaisuja myös laivoihin. Wärtsilällä on markkinoiden laajin rikkipesurivalikoima, joka käsittää niin suljetulla kierrolla ja avoimella kierrolla toimivat pesurit kuin molempien yhdistelmällä toimivat hybridilaitteistotkin. Savukaasupesureiden tekniset ratkaisut esitellään tämän työn kappaleessa 5.

Tämän työn tarkoituksena on kehittää laskentatyökalu rikkipesuri-investoinnin taloudellisen kannattavuuden arvioimiseksi. Investointiteorian mukaan suositteluvimmat menetelmät kannattavuuden mittaamiseen ovat nettonykyarvomenetelmä ja sisäisen korkokannan menetelmä ja nämä menetelmät valittiin laskentamallin perustaksi. Investoinnin rahoitusvaikutusta taas kuvaa parhaiten investoinnin odotettu takaisinmaksuaika, joka myös sisällytettiin laskentaohjelmaan. Laskentatyökalut on tarkoitettu myynnin tueksi Wärtsilä Finland Oy:n Environmental Solutions -yksikön käyttöön. Ohjelmien tuottama data havainnollistetaan tämän työn liitteissä esimerkkilaskelmien avulla.

2 WÄRTSILÄ FINLAND OY

Wärtsilä Finland Oy on Wärtsilä-konsernin tytäryhtiö Suomessa. Wärtsilä työllistää Suomessa noin 3800 ammattilaista Vaasassa, Turussa, Helsingissä ja Vuosaaressa.

Wärtsilän kolme liiketoiminta-alueita ovat voimalaratkaisut, meriratkaisut sekä huolto ja palvelut. Power Plants (voimalat) tarjoaa ratkaisuja perusvoimatuotantoon, sähköverkon vakaaseen toimintaan, teollisuuden omaan energiantuotantoon sekä öljy- ja kaasuteollisuuden tarpeisiin. Wärtsilä Ship Powerin (meriratkaisut) tarjonta kattaa merenkulun kaikki tarpeet, kuten laivasuunnittelun, laivakoneet, aggregaatit, propulsiolaitteet, automaatio- ja voimansiirtojärjestelmät, kaasun säilytys- ja käsittelyjärjestelmät sekä ratkaisut päästöjen hallintaan ja pienentämiseen. Services & Support (huolto ja palvelut) tarjoaa kattavaa tuotteen koko elinkaaren aikaista tukea sekä Ship Power- että Power Plants -liiketoimintojen laitteistoille. /27/

Tämän opinnäytetyön tilaajana on Wärtsilä Finland Oy:n Environmental Solutions (ympäristöratkaisut), joka toimii osana Ship Power -liiketoimintaa. Vuoden 2012 alussa toteutuneen maailmanlaajuisesti merenkulun käyttöön ympäristöratkaisuja toimittavan Hamworthyn yritysoston myötä Wärtsilä laajensi tarjontaansa kattavien kokonaisratkaisujen tarjoajana merenkulku- ja off-shore-alalle.

Wärtsilän Environmental Solutions -yksikön tarjoamat merenkulun ympäristöratkaisut käsittävät /27, 26/:

- pakokaasujen puhdistusjärjestelmät
- painolastivesijärjestelmät
- suojakaasujärjestelmät
- vedentuotantojärjestelmät
- vedenpuhdistusjärjestelmät

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan Wärtsilän tarjoamien meriliikenteen rikkipesureiden taloudellista soveltuvuutta alusliikenteelle.

3 MERENKULUN RIKKIPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMINEN

Rikkipäästöillä tarkoitetaan ilmaan vapautuvia rikkiä sisältäviä happamia yhdisteitä, rikin oksideja (SO_x). Näistä tärkein on rikkidioksidi (SO_2), jota syntyy rikkipitoisten polttoaineiden palamisreaktioissa. Osa rikkidioksidista hapettuu ilmassa edelleen rikkitrioksidiksi (SO_3). Näillä happamilla kaasuilla on vakavia haitallisia vaikutuksia ihmisten terveydelle ja ekosysteemeille. Rikkidioksidikaasu ärsyttää silmiä ja hengitysteitä aiheuttaen silmien kirvelyä, kyynelvuotoa, yskää ja suurissa pitoisuuksissa hengitysvaikeuksia. Pitkäaikainen altistuminen rikkidioksidille voi altistaa kroonisille hengitystiesairauksille sekä pahentaa sydän- ja verisuonisairauksia.

Rikin palaminen ja rikkidioksidin hapettuminen rikkitrioksidiksi voidaan esittää reaktioyhtälöin seuraavasti:



Savukaasujen mukana ympäristöön kulkeutuvat rikkioksidikaasut reagoivat edelleen ilman tai maaperän veden kanssa muodostaen ympäristöä happamoittavaa rikkihapoketta (H_2SO_3) tai rikkihappoa (H_2SO_4).



Rikkidioksidin ja veden reagoidessa syntyvän rikkihapokkeen vaikutus happamoitumiseen on suhteellisen vähäinen, suuremman ongelman muodostaa rikkitrioksidin ja veden reaktiotuotteena syntyvä rikkihappo. Rikkihappoa liukenee pilvien sisältämiin vesipisaroihin, jotka satavat alas maaperää ja vesistöjä happamoittavana ja materiaaleja syövyttävänä happamana sateena. Happamoitumisen seurauksena maaperästä liukenee kasveille ja eliöille vahingollisia alumiini- ja raskasmetalli-ioneja, jotka huuhtoutuvat vesistöihin ja vahingoittavat vesieliöitä. Samalla tärkeitä ravinteita puolestaan huuhtoutuu pois ja kasvien ravinnonotto kärsii. Happan laskeuma voi myös syövyttää suoraan puiden neulasia ja liottaa niistä tärkeitä aineita kuten magnesiumia ja kalsiumia. /5/

Rikkipäästöjen synnyttämät happosateet aiheuttivat 1970- ja 80-luvuilla Euroopassa laajoja metsävaurioita. Ongelman tunnistaminen johti nopeisiin toimiin ilmansuojelun kehittämiseksi ja teollisuus- ja energiantuotantolaitosten rikkipäästöjen rajoittamiseen ryhdyttiin laajassa kansainvälisessä yhteistyössä, tieliikenteessäkin on siirrytty lähes rikittämiin polttoaineisiin. Sen sijaan meriliikenteen päästöjen rajoittamiseen on herätty kunnolla vasta nyt ja meriliikenteen päästöt ovatkin ehtineet kasvaa merkittäviksi. Ilman toimenpiteitä meriliikenteen rikkidioksidipäästöt kasvavat tällä vuosikymmenellä suuremmiksi kuin voimalaitosten, tehtaiden ja liikenteen rikkipäästöt maalla yhteensä.

Merenkulku on maailmanlaajuista toimintaa ja myös sen sääntely tapahtuu globaalilla tasolla Kansainvälisessä merenkulkujärjestössä (International Maritime Organization). EU:ssa voidaan lisäksi säätää merenkulun päästöistä alueellisesti. Tämä sääntely ei voi olla ristiriidassa Kansainvälisen merenkulkujärjestön sääntelyn kanssa eikä sitä lievempää. Lisäksi merenkulkua Suomessa ohjaa kansallinen lainsäädäntö.

3.1 IMO:n säädökset

International Maritime Organization (IMO) on YK:n alainen kansainvälinen merenkulun turvallisuusasioita hallinnoiva järjestö. Järjestö perustettiin 17. maaliskuuta 1948 ja nimettiin aluksi IMCO:ksi – Inter Governmental Maritime Consultative Organization, mutta vuonna 1982 järjestö sai nykyisen nimensä IMO – International Maritime Organization. Tällä hetkellä jäsenvaltioita IMO:lla on 170. /9/

IMO:n tarkoituksena on parantaa, kehittää ja ratkaista merenkulkuun liittyviä turvallisuusongelmia, ehkäistä merien saastumista ja olla mukana myös oikeudellisissa asioissa mm. vastuu- ja korvauskysymyksissä sekä helpottaa kansainvälistä meriliikennettä. /9/

Keskeinen IMO:n merien ympäristönsuojelua koskeva yleissopimus on MARPOL 73/78 (International Convention for the Prevention on Pollution from Ships). Sopimus sisältää säännöksiä, joiden tavoitteena on estää tai hallita merenkulun ympäristöhaittoja. Sopimus kattaa niin onnettomuuksien aiheuttamat päästöt kuin

normaalikäytön aiheuttamat päästöt. MARPOL 73/78 -yleissopimukseen sisältyvät 6 liitettä esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. MARPOL-yleissopimuksen liitteet. /10/

Annex I	Regulations for the Prevention of Pollution by Oil Säännökset öljyn aiheuttaman saastumisen ehkäisemiseksi
Annex II	Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk Säännökset haitallisten nesteiden aiheuttaman saasteen hallitsemiseksi
Annex III	Prevention of Pollution by Harmful Substances Carried by Sea in Packaged Form Merellä pakattuna kuljetettavien haitallisten aineiden aiheuttaman saastumisen estäminen
Annex IV	Prevention of Pollution by Sewage from Ships Alusteen käymälävesien aiheuttaman saastumisen estäminen
Annex V	Prevention of Pollution by Garbage from Ships Alusten kiinteiden jätteiden aiheuttaman saastumisen estäminen
Annex VI	Prevention of Air Pollution from Ships Alusten aiheuttaman ilmansaastumisen estäminen

Yleissopimuksen VI liitteen eli ns. ilmansuojeluliitteen IMO hyväksyi vuonna 1997. Ilmansuojeluliitettä uudistettiin lokakuussa 2008 päätetyillä muutoksilla. Uusilla säännöillä rajoitetaan entistä tiukemmin alusliikenteen tavanomaisia ty-
penoksidi- (NO_x) ja rikkioksidipäästöjä (SO_x) ilmakehään ja niiden laskeumia mereen. IMO:n tavoitteena on, että raskaiden polttoöljyjen sijaan siirryttäisiin käyttämään kevyitä polttoöljyjä. Polttoaineiden rikkipitoisuutta alentamalla pyritään myös alentamaan laivaliikenteestä aiheutuvia hiukkaspäästöjä. Säännöksillä vähennetään päästöjen haitallisia vaikutuksia ihmisen terveydelle ja meriympäristölle ja lisätään merenkulun turvallisuutta. /21, 10/

Uudistettu ilmansuojeluliite tuli kansainvälisesti voimaan 1.7.2010. Globaalilla tasolla polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus laski 4,5 prosentista 3,5 prosenttiin vuoden 2012 alusta ja vuonna 2020 rajaa lasketaan edelleen 0,5 prosenttiin. Jälkimmäistä voimaantuloa voidaan liitteeseen sisältyvän tarkistuslausekkeen mu-

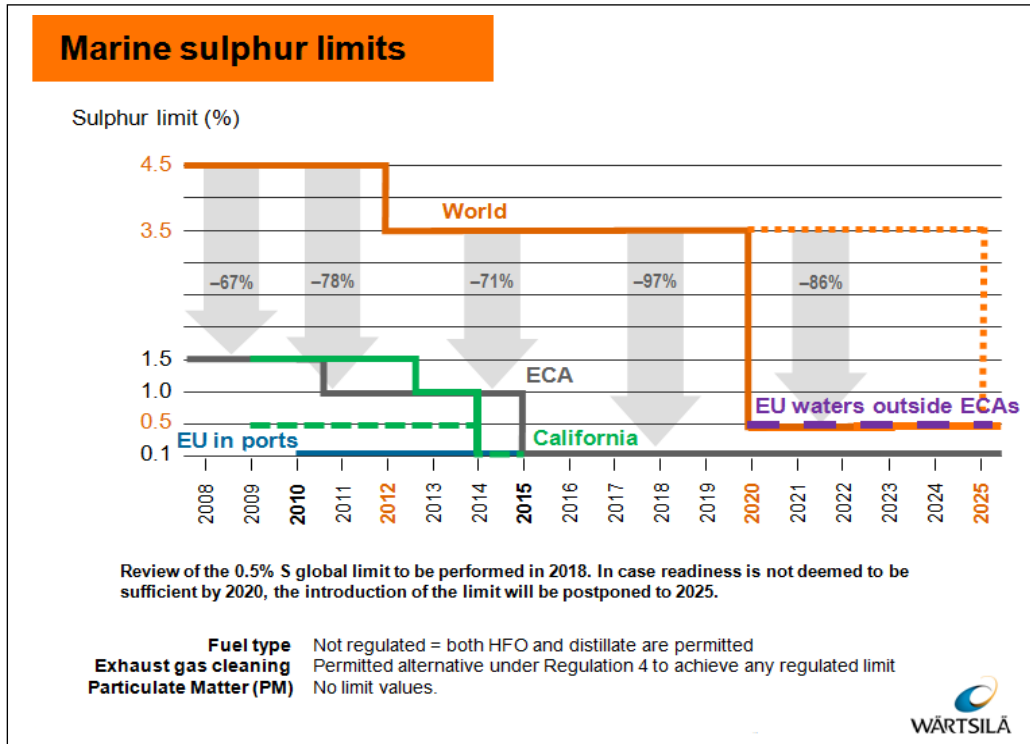
kaan siirtää IMO:n päätöksellä vuoteen 2025, mikäli siihen on perusteita vuonna 2018 tehtävän polttoaineen saatavuustarkastelun perusteella. /21, 10/

Erityisillä valvonta-alueilla, SECA-alueilla (SECA, Sulphur Emission Control Area) laivapolttoaineiden enimmäisrikkipitoisuus laskee 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin ilmansuojeluliitteen tullessa voimaan ja laskee edelleen 0,1 prosenttiin 1.1.2015 alkaen. SECA-alueisiin Euroopassa lukeutuvat Itämeri sekä Pohjanmeri ja Englannin kanaali /21, 10/. Samalla vahvistettiin IMO:n NO_x-päästöjä koskevat ns. kolmen vaatavuustason ohjelman päästörajoitukset (Tier 1–3). Typenoksidipäästörajoituksiin ei tässä työssä tarkemmin perehdytä.

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. /13, 5/

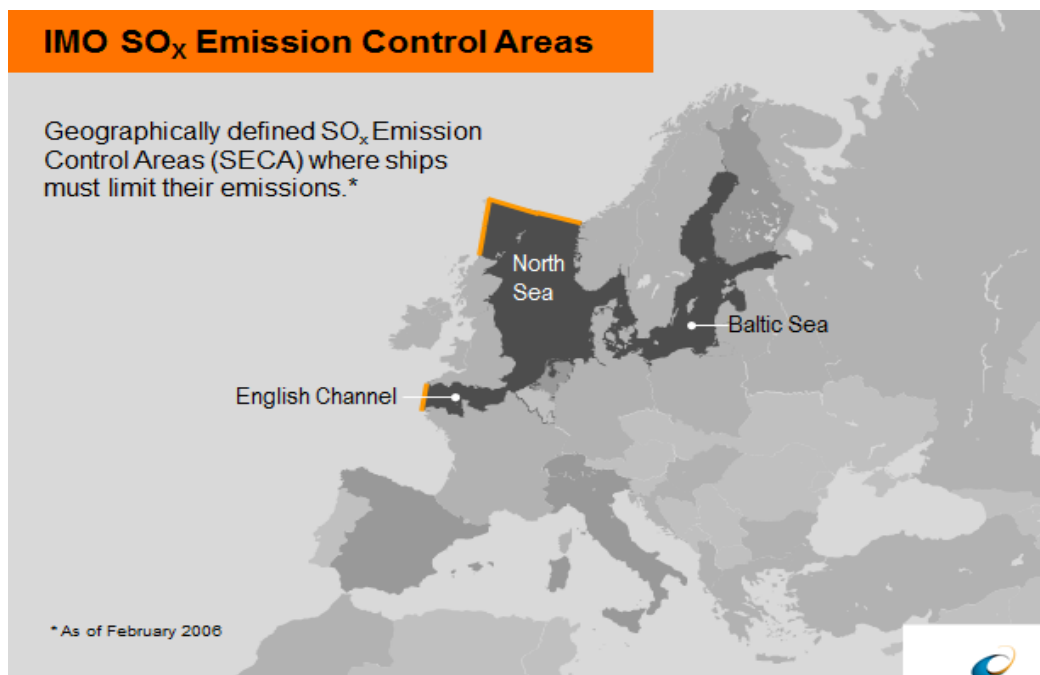
IMO hyväksyi 26.3.2010 myös USA:n ja Kanadan rannikoiden ulkopuolelle 200 merimailiin (370 km) saakka ulottuvan typpi- ja rikkipäästöjen erityisalueen (North American Emission Control Area). Alue kattaa lisäksi Havaijin 8 pääsaarta. Pohjois-Amerikan ECA-alueella 1,0 prosentin rikkiraja astui voimaan 1.8.2012 ja laskee edelleen 0,1 prosenttiin 1.1.2015 alkaen. /11/

Uudistetun ilmansuojeluliitteen suurimmat sallitut polttoaineen rikkipitoisuudet alueittain havainnollistetaan kuvassa 1.



Kuva 1. IMO:n ja EU:n rikkirajat. /26/

Euroopassa rikkipäästöjen erityisvalvonta-alueisiin kuuluvat Itämeri, Pohjanmeri ja Englannin kanaali esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Euroopan SECA-alueet. /23/

Pohjois-Amerikan voimassa olevat rikkipäästöjen valvonta-alueet esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Pohjois-Amerikan ECA-alueet. /26/

Neljäs erityisalue tulee olemaan USA:n Karibianmeren ECA 1. tammikuuta 2014 alkaen. Tämä alue käsittää tietyt Puerto Ricon ja Yhdysvaltain Neitsytsaarien rannikkoalueet. /11/

IMO:n uudistettu ilmansuojeluliite mahdollistaa kuitenkin myös sellaisten pakokaasupäästöjen puhdistusteknologioiden käytön, joilla saavutetaan vähärikkisen polttoaineen käyttöä vastaava rikkipäästöjen vähennystehokkuus. Tällöin voidaan edelleen käyttää raskaampia polttoainelaatuja. /13, 2/

3.2 EU:n säädökset

Nykyinen ns. EU:n rikkidirektiivi (1999/32/EY muutoksineen) sisältää MARPOL-yleissopimuksen alkuperäisen vuoden 1997 ilmansuojeluliitteen määräykset laivapolttoaineen rikkipitoisuudesta. Toimivalta laivapolttoaineen rikkipitoisuusasioissa on direktiivistä johtuen EU:lla. Euroopan komissio antoi heinäkuussa 2011 ehdotuksen EU:n rikkidirektiivin muuttamiseksi niin, että MARPOL-yleissopimuksen uudistetun VI-liitteen määräykset otettaisiin osaksi EU-

lainsäädäntöä. Euroopan parlamentti ja neuvosto pääsivät sopuun direktiiviehdotuksesta toukokuussa 2012. EU:n parlamentti vahvisti ratkaisun 11.9.2012 ja neuvosto 29.10.2012. Muutosdirektiivi 2012/33/EU annettiin 21.11.2012 ja jäsenvaltioiden tulee saattaa kansallinen lainsäädäntönsä sen mukaiseksi 18.6.2014 mennessä. SECA-alueita koskevat määräykset tulevat osaksi EU-lainsäädäntöä IMO-sopimuksen mukaisena, minkä lisäksi direktiivin mukaan EU:n aluevesillä, talousvyöhykkeillä ja epäpuhtauksien valvontavyöhykkeiden alueilla siirtyminen 0,5 prosenttiin tapahtuu vuonna 2020 riippumatta IMO:ssa vuonna 2018 tehtävästä polttoaineen saatavuustarkastelusta. /21, 11/

Alusten vaihtoehdot 0,1 prosentin rajan astuessa voimaan ovat matalarikkisen polttoaineen (MGO), nesteytetyn maakaasun (LNG), biopolttoaineiden tai pako kaasupäästöjen puhdistusteknologioiden käyttö.

3.3 Kansalliset säädökset

Suomessa meriliikenteen ympäristönsuojelusta säädetään merenkulun ympäristönsuojelulaisissa (1672/2009) ja sen nojalla annetussa merenkulun ympäristönsuojeluasetuksessa (76/2010). MARPOL-sopimuksen polttoaineiden laatuvaatimuksesta säädetään merenkulun ympäristönsuojeluasetuksen 6 luvun 2 §:ssä. /16; 22/

Nykyisessä lainsäädännössä Suomen aluevesillä ja talousvyöhykkeillä sovelletaan vuoden 1997 alkuperäisiä säännöksiä. Tämä on voimassa siihen saakka, kunnes MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen muutos on saatettu Suomessa voimaan, jolloin määräykset tulevat Suomea sitovaksi kansainvälisellä tasolla. /21, 13/

Suomi ilmoitti 15.12.2009 IMO:lle nootilla MARPOL-yleissopimuksen sallimalla tavalla, että uudistettu ilmansuojeluliite edellyttää kansallisen lainsäädännön muutosta ja että uudet määräykset eivät voi tulla Suomen osalta voimaan ennen kuin ne on nimenomaisesti hyväksytty. Uudistetun ilmansuojeluliitteen määräykset tulevat IMO-nootista huolimatta sitomaan Suomea EU:n rikkidirektiivin kautta, sillä Suomen tulee saattaa kansallinen lainsäädäntönsä direktiivin mukaiseksi 18.6.2014 mennessä. /21, 13/

4 MERILIIKENTEEN POLTTOAINEET

Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi laivaliikenteen polttoainevaihtoehtoja ja eri polttoaineiden ominaisuuksia sekä polttoaineiden hintakehitystä. Edullisuusvertailussa on polttoaineen hinnan lisäksi syytä kiinnittää huomiota mm. laitteistovaatimukseen ja huoltokustannuksiin. Kustannuserot luovat pohjan kannattavuusvertailulle ja ovat siten olennainen osa tämän työn yhteydessä tehtäviä rikkipesureiden investointilaskelmia.

4.1 Raskas polttoöljy

Valtaosa meriliikenteessä olevista aluksista käyttää voimanlähteenään dieselmootoreita. Nämä suuritehoiset koneet käyttävät polttoaineena pääsääntöisesti raskasta polttoöljyä (HFO/IFO). Raskaat polttoöljyt ovat kevyitä öljyjä halvempia, mutta polttoaineen epäpuhtauksien vuoksi raskasöljykäytössä olevat koneet tarvitsevat enemmän asiantuntevaa huoltoa.

Raskaita polttoöljyjä on saatavana rikkipitoisuudeltaan ja viskositeetiltaan erilaisina. Edullisimpia ovat korkean rikkipitoisuuden ja korkean viskositeetin omaavat öljyt. Meriliikenteen raskaat polttoöljyt on standardisoitu kansainvälisessä ISO 8217 -standardissa.

Tämän työn sivulla 24 kuvatussa laivapolttoaineiden hintavertailussa (kuva 4) tarkastellaan raskaista polttoöljyistä IFO380:a, joka sisältää rikkiä suurimman sallitun pitoisuuden 3,5 % ja on raskaista polttoöljyistä hinnaltaan halvin.

Kauppanimessä mainitut numerot 380 kuvaavat öljyn viskositeettia eli juoksevuutta, joka on öljyn käsittelyn ja polton kannalta öljyn tärkein ominaisuus. Mitä korkeampi viskositeetti, sitä jäykempää öljy on. Öljyn viskositeetti laskee lämpötilan noustessa ja raskaiden polttoöljyjen juoksevuus onkin varmistettava riittävän korkeilla öljynkäsittelylämpötiloilla, lämmityksellä ja kiertojärjestelmällä. /7, 11/

Raskaan polttoöljyn lämpöarvo on noin 40–41 MJ/kg. Öljyn lämpöarvo osoittaa, miten paljon energiaa öljystä poltettaessa on mahdollista saada palamisen ollessa täydellistä. /7, 14–15/

4.2 Kevyet polttoöljyt

Yleisimmin laivoilla käytössä olevat kevytöljytisleet ovat meriliikenteen kaasuöljy (MGO) ja meridiesel (MDO). Kevyiden polttoöljyjen etuna on puhtaus, ne sisältävät luonnostaan vähän rikkiä (0,1 %) ja sopivat sellaisenaan käytettäväksi myös vuonna 2015 tiukentuvien rikkirajoitusten jälkeen. Puhtaamman polttoaineen käytöllä myös moottoreiden huollon tarve pienenee. Kevytöljytisleiden etuna on lisäksi huomattavasti raskasöljyä alempi viskositeetti, joten ne eivät laivoaloissa tarvitse esilämmitystä. Kevyiden polttoöljyjen energiasisältö (lämpöarvo) on myös hieman raskaita öljyjä suurempi 42,7 MJ/kg. Näiden tislattujen polttoainesten hinta on kuitenkin huomattavasti korkeampi kuin raskaan polttoöljyn. /14, 10/

EU:n rikkidirektiivin mukaan EU:n yli kaksi tuntia kestävässä satamakäynneissä alukset ovat velvoitettuja käyttämään korkeintaan 0,1 % rikkiä sisältävää polttoainetta. Kevyitä polttoöljyjä käytetäänkin aluksilla lähinnä satamassa oloaikoina, jolloin alusten sähköä ja ilmastointia tuottavat apukoneet sekä raskasöljytankkien lämmityskattilat käyvät MGO:lla, ellei aluksella ole käytössä savukaasujen puhdistusteknologiaa.

4.3 Nesteytetty maakaasu (LNG)

Nesteytetty maakaasu (LNG, liquefied natural gas) on jäädyttämällä nesteeksi muutettua maakaasua. Polttoaineena sillä on samat ominaisuudet kuin maakaasulla. LNG ei sisällä käytännössä lainkaan rikkiä ja täyttää siten IMO:n tiukimmatkin rikkirajoitukset.

LNG:n käyttö soveltuu lähinnä uudistuotantoon, yleensä vanhojen alusten muuttaminen LNG-aluksiksi ei ole joko teknisesti tai taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi mm. Itämeren alueella LNG:n jakeluinfrastruktuuri on vasta kehittymässä. Nesteytetty maakaasu ja siihen liittyvät tekniset ratkaisut ovat kuitenkin tulevaisuuden teknologiaa ja kiinnostuksen LNG:n käyttöön odotetaan kasvavan. /21/

4.4 Keinot sääntelyn vaatimusten täyttämiseksi

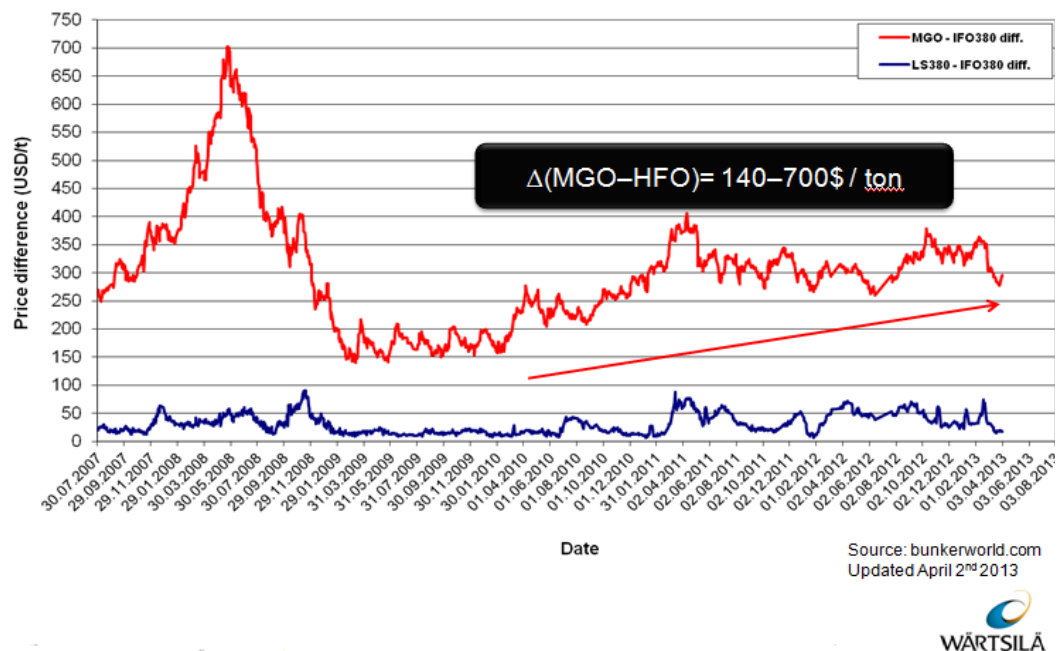
Marpol-yleissopimuksen ja EU:n rikkidirektiivin ensisijainen velvoite on matalarikkisen polttoaineen käyttö. Sääntely kuitenkin sallii myös sellaisen vaihtoehdoisen teknologian käytön, jolla tavoitetaan sama päästövähennystaso kuin matalarikkisen polttoaineen käytöllä. 0,1 prosentin rajan astuessa voimaan SECA-alueilla vuonna 2015 alusten vaihtoehdot ovat käytännössä seuraavat:

1. Matalarikkisen (<0,1 % Sulphur) polttoaineen (MGO) käyttö. Tämä vaihtoehto on nopeasti käytössä ilman laitteistomuutoksia, mutta kalliiseen hintaan. Matalarikkisen polttoaineen hinnan ennustetaan edelleen nousevan, kun kevyen polttoöljyn kysyntä kasvaa /13, 18/.
2. Raskaan polttoöljyn käyttö yhdistettynä pakokaasuteknologiaan. Rikkipesuri mahdollistaa laivojen operoinnin halvemmallalla polttoaineella myös tiukentuvien rajoitusten voimaanastumisen jälkeen.
3. Nesteytetyn maakaasun käyttö (LNG). Vaihtoehto täyttää sellaisenaan päästörajoitukset, mutta soveltuu pääosin vain uuteen kalustoon.

Vaihtoehtojen sopivuus riippuu aluksen liikennöintialueesta ja liikennöintimääristä sekä aluksen teknisistä edellytyksistä. Tulevaisuudessa myös kevyiden polttoaineiden saatavuus voi vaikuttaa valintaan. Arvioiden mukaan ongelmia ei aiheudu vielä SECA-alueiden vaatimusten vuoksi, mutta siinä vaiheessa kun kevyitä polttoaineita (0,5 % S) aletaan käyttää maailmanlaajuisesti vuonna 2020 tai 2025, tulee öljyteollisuuden lisätä huomattavasti jalostuskapasiteettiaan kevyiden polttoainelaatujen kasvaneen kysynnän tyydyttämiseksi /13, 16/. Lisääntyneen kysynnän tarpeen tyydyttämiseksi jalostamoilta vaadittavat miljardi-investoinnit ennustavat myös voimakasta matalarikkisen polttoaineen hinnannousua.

Laivapolttoaineiden markkinahintoja voi seurata esimerkiksi osoitteesta www.bunkerworld.com. Kuvassa 4 esitetään MGO 0,1 % S ja korkearikkisen raskaan polttoöljyn IFO380 (intermediate fuel oil) välisen hintaeron kehitys vuosina 2007–2013. Elokuussa 2013 hintojen erotus oli noin 300 USD/tonni.

Fuel price differences (Rotterdam)



Kuva 4. MGO:n ja HFO:n hintaeron kehitys. /26/

Rikkipesurit ovat vaihtoehto, joka mahdollistaa alusten liikennöinnin edullisella korkearikkisellä raskaalla polttoöljyllä myös tulevaisuudessa. Rikin pesu laivojen pakokaasusta on vaihtoehto, jonka mielekkyys ja taloudellisuus kasvavat korkearikkisen ja matalarikkisen polttoaineiden hintaeron kasvaessa. /13, 18/.

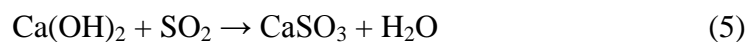
Rikkipesureiden kehityksen eturintamassa on suomalainen Wärtsilä Oy. Kappaleessa 5 esitellään Wärtsilän tarjoamat pesurivaihtoehdot ja arvioidaan niiden teknistä soveltuvuutta aluksiin. Taloudellista soveltuvuutta eli laiteinvestoinnin kannattavuutta mittaavat laskelmat esitellään kappaleessa 6.

5 RIKKIPESURIT

Rikin pesuun laivojen pakokaasuista on useita vaihtoehtoja. Pesurit voidaan jaotella kuivapesureihin, jotka käyttävät kuivia kemikaaleja, ja märkäpesureihin, jotka käyttävät makeaa vettä tai merivettä rikinoksidien pesemiseen aluksen savukaasuista. Eri pesuritekniikoiden ymmärtäminen luo pohjan myös vaihtoehtojen tuotekohtaiselle kustannuslaskennalle ja kannattavuusvertailulle.

5.1 Kuivapesurit

Kuivapesumenetelmässä savukaasujen happamat rikkiyhdisteet sidotaan kemiallisesti. Tässä kemisorptioksi kutsutussa adsorptiopsosessissa rikkiyhdisteiden sitominen tapahtuu kalsiumhydroksin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) avulla. Kuivapesuprosessissa aluksen savukaasut johdetaan kalsiumhydroksidirakeita sisältävään reaktoriin, jossa rikin oksidit sitoutuvat rakeiden pinnalle muodostaen lopulta kipsijauhetta (CaSO_4) /3/:



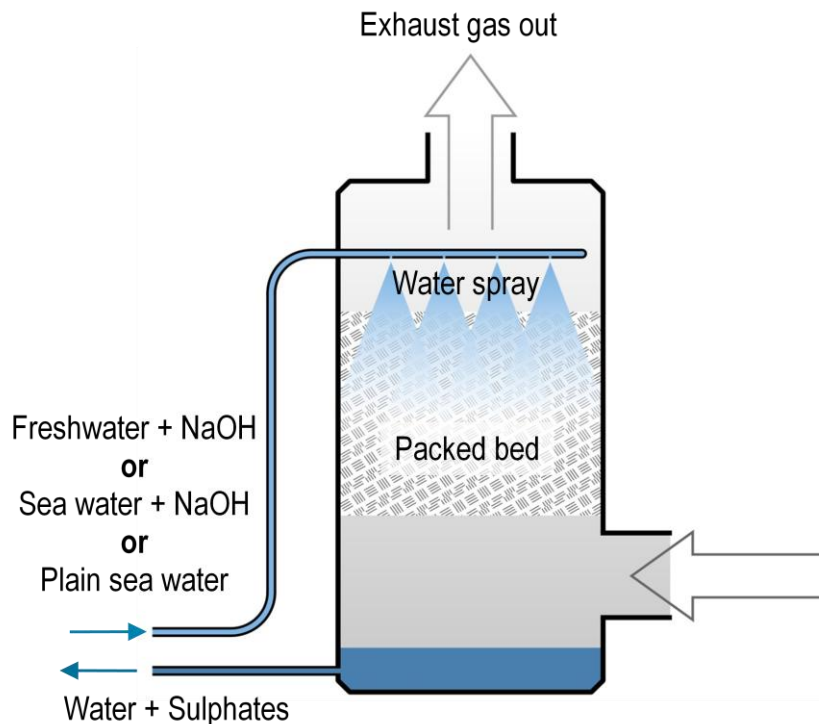
Kipsi varastoidaan aluksella, josta se puretaan satamassa jatkokäsittelyä varten. Kuivapesuritekniikka on tehokas menetelmä rikki päästöjen hallintaan, sillä kuivapesureilla voidaan EGCSA:n (Exhaust Gas Cleaning Systems Association) mukaan saavuttaa jopa 99 prosentin erotusaste rikin osalta. /4/

Kuivapesurimenetelmä on maapuolella paljon käytetty menetelmä, mutta meripuolella ongelmia aiheuttaa muun muassa laitteiston koko ja massa. Kuivapesureita markkinoi esimerkiksi saksalainen Couple System.

5.2 Märkäpesurit

Märkäpesutekniikassa savukaasut pestään nimensä mukaisesti nesteen avulla. Aluksen pakokaasut johdetaan pesuriin, jossa savukaasujen rikkioksidit tarttuvat

nestepisaroihin ja jäävät nesteeseen. Märkäpesurin periaatepiirros esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Märkäpesurin toimintaperiaate. /26/

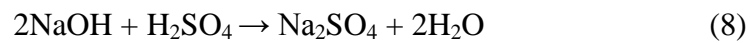
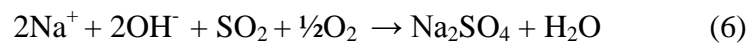
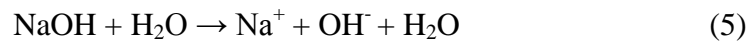
Märkäpesurit voidaan jakaa kolmeen pesurityyppiin:

1. closed loop eli suljetun kierron järjestelmät, joiden pesutekniikka perustuu makean veden ja alkalien tai meriveden ja alkalien käyttöön
2. open loop eli avoimen kierron järjestelmät, joissa pesunesteinä käytetään merivettä ja
3. hybridipesurit, jotka toimivat sekä closed loop- että open loop -periaatteella.

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan Wärtsilä Finland Oy:n tarjoamien rikkipesureiden taloudellista soveltuvuutta laivoille. Wärtsilän rikkipesurivalikoima käsittää niin suljetulla kuin avoimella kierrolla toimivat pesurit sekä molempien yhdistelmällä toimivat hybridilaitteistot.

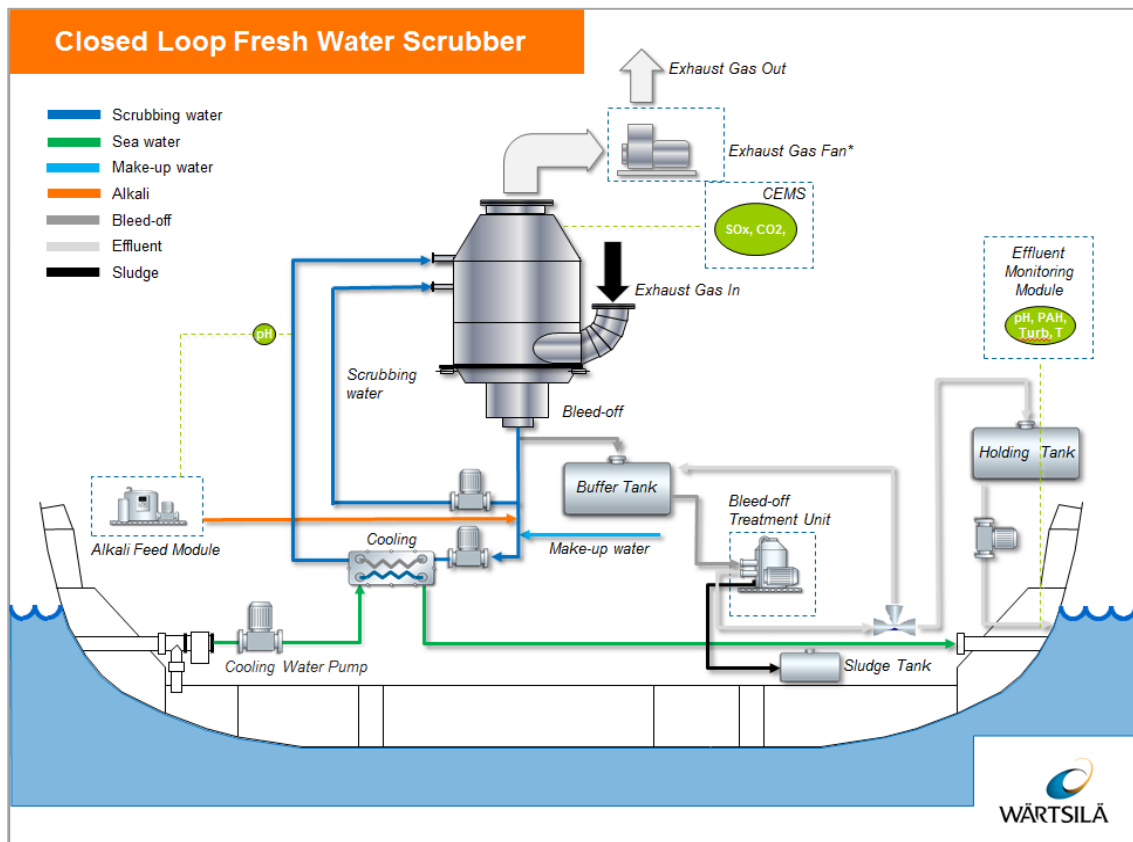
5.2.1 Closed loop

Makeavesipesurin puhdistus- ja rikkioksidien neutralointikyky perustuu pesuveden pH:n ylläpitoon natriumhydroksidiliuoksen (NaOH) avulla. Suljetussa kierrossa olevan pesuveden pH pidetään koko prosessin ajan lähellä neutraalia. Rikin oksidit neutraloidaan prosessissa vaarattomaan muotoon natriumsulfaateiksi (Na_2SO_4), jotka voidaan laskea mereen. Neutralointiprosessin reaktioyhtälöt ovat:



Closed loop -järjestelmän (kuva 6) pääkomponentit ovat:

- savukaasujen puhdistusyksikkö eli pesuri (scrubber)
- vedenkäsittely-yksikkö (bleed-off treatment unit)
- alkalin syöttöyksikkö (alkali feed module)
- jäähdytysyksikkö (cooling)
- valvontajärjestelmä (monitoring)

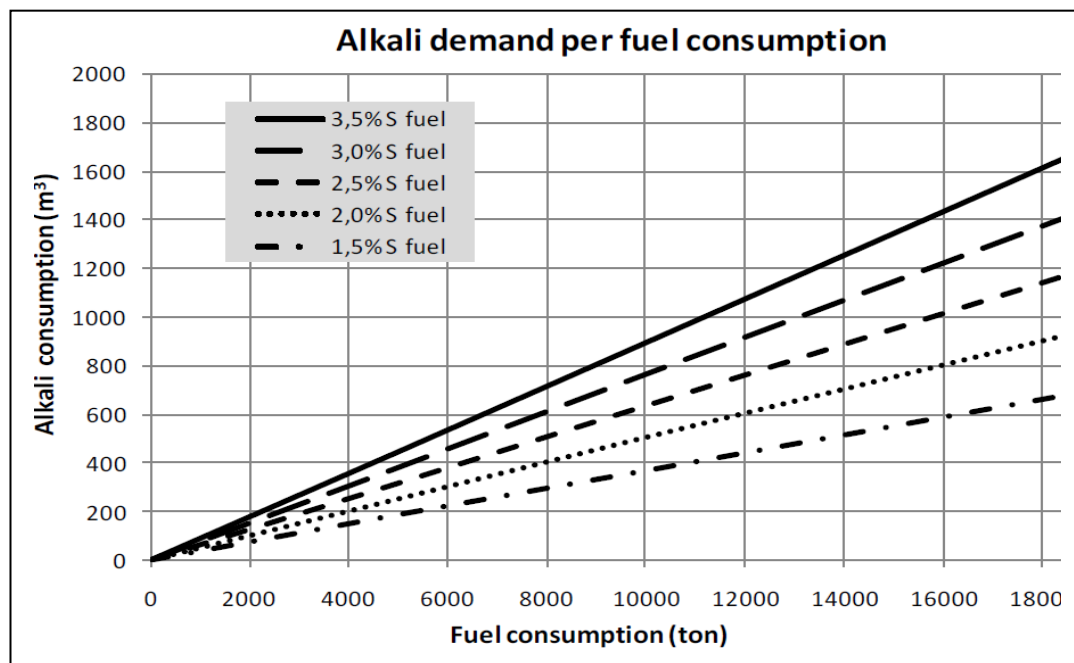


Kuva 6. Closed loop -pesurijärjestelmä. /25/

Wärtsilän closed loop -järjestelmässä pesuvettä kierrätetään kahden suljetun pumppupiirin avulla pesurissa. Kuvan 6 mukaisesti näistä piireistä suurempi (kuvassa alempana) kierrätetään merivesijäähdyttimen kautta. Jäähdytystä tarvitaan, koska pakokaasuista sitoutuu pesuveteen huomattavia määriä lämpöä. Jäähdyttämisen tarkoitus on minimoida veden kulutus sekä ilmaan vapautuvien puhdistettujen pakokaasujen vesipitoisuus. Jäähdytysjärjestelmässä käytettävä jäähdytysvesi pumpataan suoraan merestä.

Pakokaasut ajetaan pesuriin sivusta alhaalta pystysuoraan ylöspäin ja pesuvesi ruiskutetaan kahdessa pedissä päinvastaiseen suuntaan ylhäältä alaspäin pesusuuttimien kautta. Vastavirtaoperointi pidentää vesipisaroiden ja rikinoksidien kontaktiaikaa ja parantaa näin puhdistustehoa. Puhdistetut pakokaasut poistuvat pesurin yläosasta ja edelleen ulos korsteenista. Pesuveden kierrätysmäärä riippuu pakokaasulähteen tehosta ja on tyypillisesti luokkaa $20 \text{ m}^3/\text{MWh}$ /25, 37/.

Suljetusta kierrosta johtuen pesuveden happamuus kohoaa ja pesuveden pH:ta joudutaan säätämään syöttämällä veteen alkalia (NaOH). Wärtsilän closed loop -pesureissa alkalin säännöstely on automaattisesti säädetty vastaamaan mitattua pesuliuksen pH:ta mahdollisten polttoaineen rikkipitoisuuden vaihteluiden kompensoimiseksi. Alkalin kulutus riippuu moottoreiden kuormituksesta, polttoaineen kulutuksesta ja polttoaineen rikkipitoisuudesta sekä halutusta rikkioksidien vähennystehokkuudesta eli reduktioasteesta. Tavoitellessa päästövähennystasoa 3,5 prosentista 0,1 prosenttiin on 50-prosenttisen NaOH:n kulutus noin 9 prosenttia polttoaineen kulutuksesta. Kuva 7 kuvaa alkalin kulutusta suhteessa polttoaineen kulutukseen. /25, 37-42/



Kuva 7. Alkalin kulutus suhteessa polttoaineen kulutukseen. /25/

Pesuveden väkevöitymisen estämiseksi prosessin kuluessa osa vedestä joudutaan poistamaan (bleed-off). Samoin pieni määrä pesuvettä poistuu pakokaasujen mukana vesihöyrynä. Näitä korvaamaan kiertoon lisätään puhdasta vettä makeanveden säiliöstä. Järjestelmästä poistettu pesuvesi pumpataan mereen erillisen puhdistuslaitoksen läpi (BOTU, bleed-off treatment unit), jossa vedestä erotetaan öljy ja muita epäpuhtauksia. Erotusprosessi tapahtuu kemiallisesti koaguloimalla ja flokkaamalla epäpuhtaudet pesuvedestä. Prosessin tuloksena saatu liete (sludge) siir-

retään varastointitankkiin (sludge tank), josta se voidaan jättää satamaan. Syntyvän lietteen määrä riippuu polttoaineen laadusta. Mereen laskettavan puhdistetun pesuveden pH on neutraali eikä näin juurikaan poikkea meriveden pH:sta. Closed loop -järjestelmä mahdollistaa kuitenkin myös ns. zero effluent discharge -tilan (nollapäästötila). Tällöin puhdistettu pesuvesi kerätään varastointitankkiin ja sieltä maihin jatkokäsittelyä varten. Päästöttömyys merivesiin joutuvien pesuvesien osalta saattaa olla tarpeen satama-alueilla sekä erityisen herkällä merialueilla. /25/

Valvontajärjestelmä kattaa pakokaasupäästöjen mittauksen (CEMS, Continuous Emission Monitoring system) ja mereen laskettavan puhdistetun veden seurannan (EMM, Effluent monitoring module). Ilmapäästöistä seurataan mm. pakokaasujen rikkidioksidi- ja hiilidioksidi (CO₂) -pitoisuuksia pesurin jälkeen, mereen lasketavista vesistä seurataan IMO:n vaatimusten mukaisesti pH-arvoa, tiettyjä PAH-pitoisuuksia (polycyclic aromatic hydrocarbon phenanthrene concentration, PAHphe), sameutta ja lämpötilaa. /25, 63/

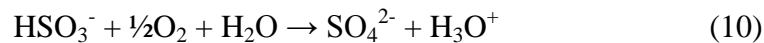
Wärtsilän closed loop -pesuri täyttää näin kaikki IMO:n laatu- ja valvontavaatimukset ja sen ovat sertifioineet mm. Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd ja Bureau Veritas.

Pesurijärjestelmä on lähtökohtaisesti mitoitettu polttoaineen rikkipitoisuudelle 3,5 prosenttia. Wärtsilä ilmoittaa pesurilla saavutettavan vähintään 97,15 prosentin puhdistusasteen rikin oksideille, joten pesurilla saavutetaan sama päästövähennystehokkuus kuin polttoaineen rikkipitoisuuden pienentämisellä 3,5 prosentista 0,1 prosenttiin.

Closed loop -järjestelmä sopii kaikkiin moottoreihin, niin 2-tahti- ja 4-tahtimoottoreihin kuin öljykattiloihin. Pesuri voidaan asentaa sekä uusiin laivoihin että jo olemassa oleviin laivoihin, varsinaisia teknisiä esteitä ei ole /25, 4/. Olemassa olevien alusten osalta haasteita saattaa tulla esimerkiksi tilan puutteen tai laivan vakauden kanssa, tällöin laivakohtaisen suunnittelun tarve lisääntyy.

5.2.2 Open loop

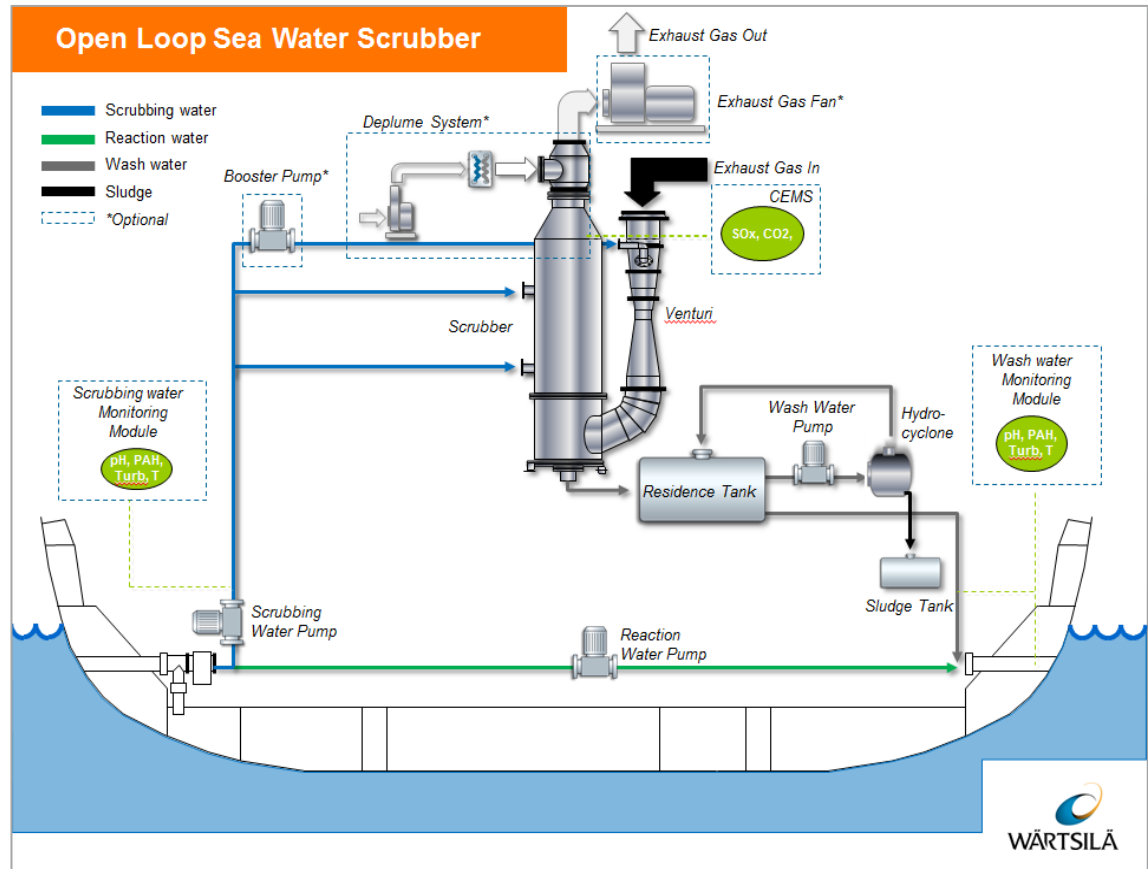
Wärtsilän open loop -järjestelmässä pesuprosessiin käytetään merivettä, jolloin makeaa vettä ja kemikaaleja ei tarvita. Pesuprosessissa pakokaasut ohjataan meriveden läpi, joka absorboi rikkiyhdisteet. Meriveden pesutehokkuus perustuu sen alkaliniteettiin eli meriveden kykyyn vastustaa pH:n muutosta /25, 58/. Mitä korkeampi alkaliniteetti, sitä tehokkaampaan pesutulokseen päästään. Puskuri- materiaaleina toimivat pääasiassa meriveden bikarbonaatit (HCO_3^-) ja karbonaatit (CO_3^{2-}), joka neutraloivat happamia rikkiyhdisteitä /23, 10/. Neutralointiprosessin reaktioyhtälöt ovat:



Sulfaatit (SO_4^{2-}) voidaan laskea pesuveden mukana mereen, jossa poistovesi laimenee nopeasti meren oman sulfaattipitoisuuden tasolle.

Laitteistoltaan merivesipesuri on makeavesipesuria yksinkertaisempi. Kuvassa 8 esitetyn merivesipesurilaitteiston pääkomponentit ovat:

- pesuri (scrubber)
- pumput
- poistovesijärjestelmä (sisältää vedenkäsittelyn)
- valvontajärjestelmä



Kuva 8. Open loop -pesurijärjestelmä. /25/

Wärtsilän open loop -järjestelmässä aluksen pakokaasut johdetaan venturiputken kautta pesuriin. Venturiputken kavennuksen kohdalla pakokaasuvirtaa jäädytetään ja kostutetaan merivesisuihkutuksella. Veden jakautuessa sumuksi saadaan hyvä kosketus pakokaasujen ja meriveden välille. /24, 7/

Venturiputken jälkeen pakokaasuvirtaus kääntyy ylöspäin itse pesuriin, jossa se johdetaan kahden suodatinkerroksen läpi, joille myös syötetään merivettä. Vastavirtaoperointi varmistaa tehokkaan pakokaasujen ja meriveden kosketuksen – vesipisarat tiivistyvät pakokaasuhiukkasten pinnalle ja rikin oksidit absorboituvat. Vesipisaroihin törmänneet hiukkaset ja veden kanssa reagoineet rikinoksidit puotuvat painovoiman vaikutuksesta pesurin pohjalle, josta tämä kiintoainepitoinen vesi pumpataan puhdistettavaksi vedenkäsittelyjärjestelmään. Puhdistetut savukaasut poistuvat pesurin yläosasta edelleen korsteeniin. /25/

Pesurin läpi pumpattavan meriveden määrä riippuu meriveden alkaliniteetista, moottoreiden kuormasta ja käytetyn polttoaineen rikkipitoisuudesta sekä tavoitellusta rikinoksidien vähennystehokkuudesta. Tavallinen pesuveden kulutus on noin $45 \text{ m}^3/\text{MWh}$ eli se on noin kaksinkertainen makeavesipesurin vedenkulutukseen verrattuna. Alueilla, joissa meriveden alkaliniteetti on matala, voidaan pesuvettä joutua ajamaan pesurin läpi tätäkin suurempia määriä. Suurten virtausmäärien vuoksi open loop -järjestelmä vaatii tehokkaat pumput. /25/

Pumppujärjestelmä käsittää meriveden syöttöpumput, paluupumput ja reaktiopumput. Pesuveden syöttöpumput ovat tehokkaita merivesipumppuja, joilla on hyvä imu- ja nostokorkeus. Syöttöpumput pumppaavat pesuveden merestä pesurille. Paluupumppuja tarvitaan nostamaan pesurilta lähtevän poistolinjan painetta, ellei gravitaatio (korkeusero) riitä aikaansaamaan tarvittavaa painetta /25/. Paluupumppujen tarve on siis laivakohtainen. Reaktiopumppuja puolestaan tarvitaan satamaolosuhteissa pumppaamaan merivettä poistoveden sekaan, jotta poistoveden pH pysyy lähellä neutraalia tasoa (pH yli 6,5). Laivan ollessa liikkeellä reaktiopumppuja ei yleensä tarvita, koska poistovesi sekoittuu tällöin tehokkaasti mereen ilman pumppuakin.

Pesuveden vedenkäsittelyyn Wärtsilän open loop -järjestelmässä käytetään hydro sykklonia. Puhdistettava pesuvesi johdetaan pesurin pohjalta hydro sykklonille, jossa pesuveden kiinteät partikkelit ja öljyinen liete erotetaan vedestä. Näin syntyvä liete siirretään lietetankkiin, josta se pumpataan aikanaan maihin. Lietettä muodostuu $0,1\text{--}0,4 \text{ g/kWh}$. Puhdistettu pesuvesi pumpataan takaisin mereen. /25, 59/

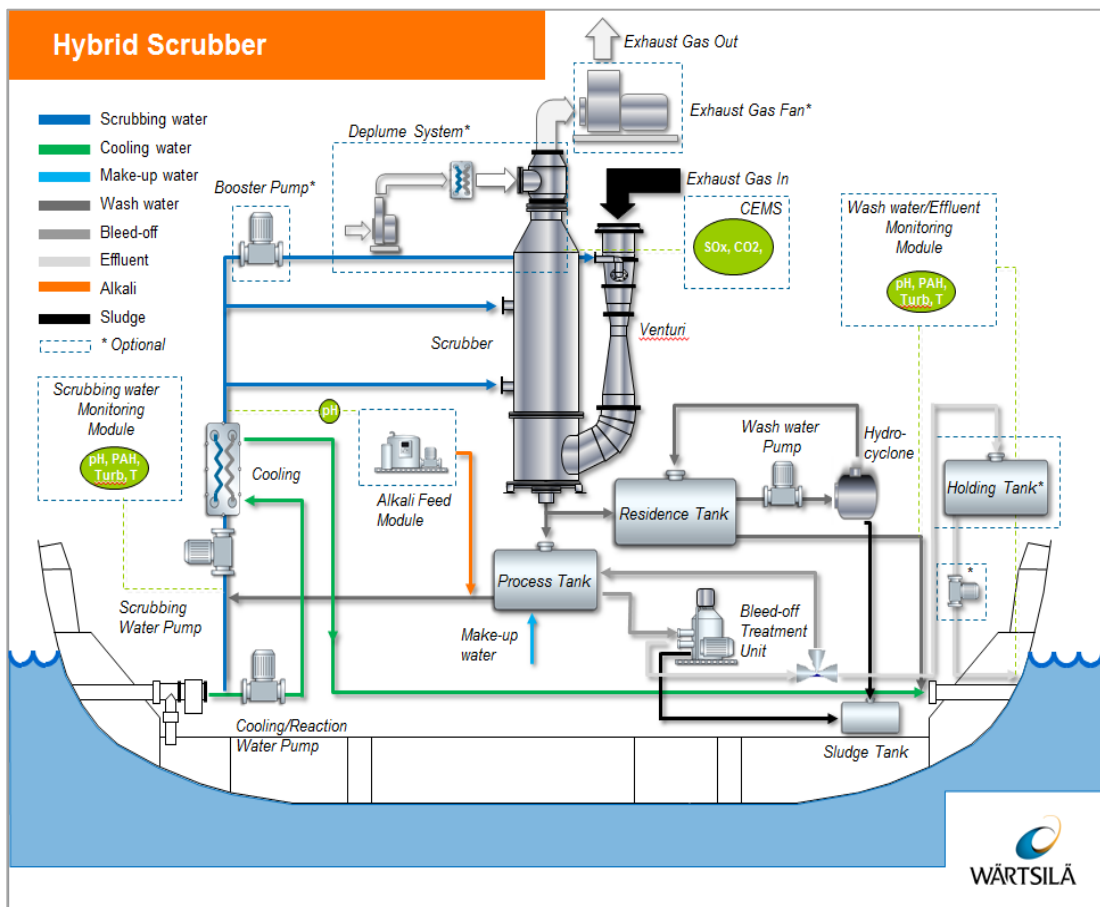
Puhdistetut pesuvedet lasketaan mereen koneiden jäähdytysvesien mukana. Poistoveden pH-arvoa mitataan sekä poistovesivirtauksesta että aluksen jäähdytysvesiin sekoittamisen jälkeen. Jos mittauksissa saadut pH-arvot eivät ole riittävän suuria (pH < 6,5), voidaan pH:ta kohottaa sekoittamalla poistoveteen lisää merivettä. Ennen edellä mainittua sekoitusta pH:n lisäksi seurattavia parametreja ovat PAH-pitoisuus, veden sameus sekä veden lämpötila. Open loop -järjestelmässä seuranta tehdään sekä sisään otetun meriveden että takaisin mereen laskettavan

poistoveden osalta. Valvontajärjestelmä kattaa myös pakokaasujen CEMS-seurannan. /25, 71-79/

Kuten makeanveden pesuri myös merivesipesuri sopii kaikkiin moottoreihin, niin 2-tahti- ja 4-tahtimoottoreihin kuin öljykattiloihin. Pesuri voidaan asentaa sekä uusiin laivoihin että jo olemassa oleviin laivoihin (retrofit). Merivesipesurilla päästään jopa 99 prosentin erotusasteeseen rikinoksidien osalta, samalla se puhdistaa tehokkaasti partikkelipäästöjä. Matalan alkaliniteetin merialueilla suuri pesuveden määrä lisää energian kulutusta ja hankaloittaa pesuveden puhdistamista, mutta erityisesti mannerten välisessä liikenteessä ja valtamerillä operoiville aluksille merivesipesuri on hyvin sopiva ratkaisu.

5.2.3 Hybridipesuri

Yhdistelmäpesureita eli hybridipesureita voidaan käyttää sekä closed loop- että open loop -periaatteella. Hybridijärjestelmän vahvuutena onkin sen käytön joustavuus. Aluksen operoidessa merellä voidaan käyttää alhaisilla käyttökustannuksilla toimivaa merivesipesuria ja satamissa ja matalan alkaliniteetin alueilla tai muutoin herkillä merialueilla voidaan pesuria käyttää suljetun kierron periaatteella. Wärtsilän tarjoaman hybridijärjestelmän rakenne ja toiminta esitetään kuvassa 9.

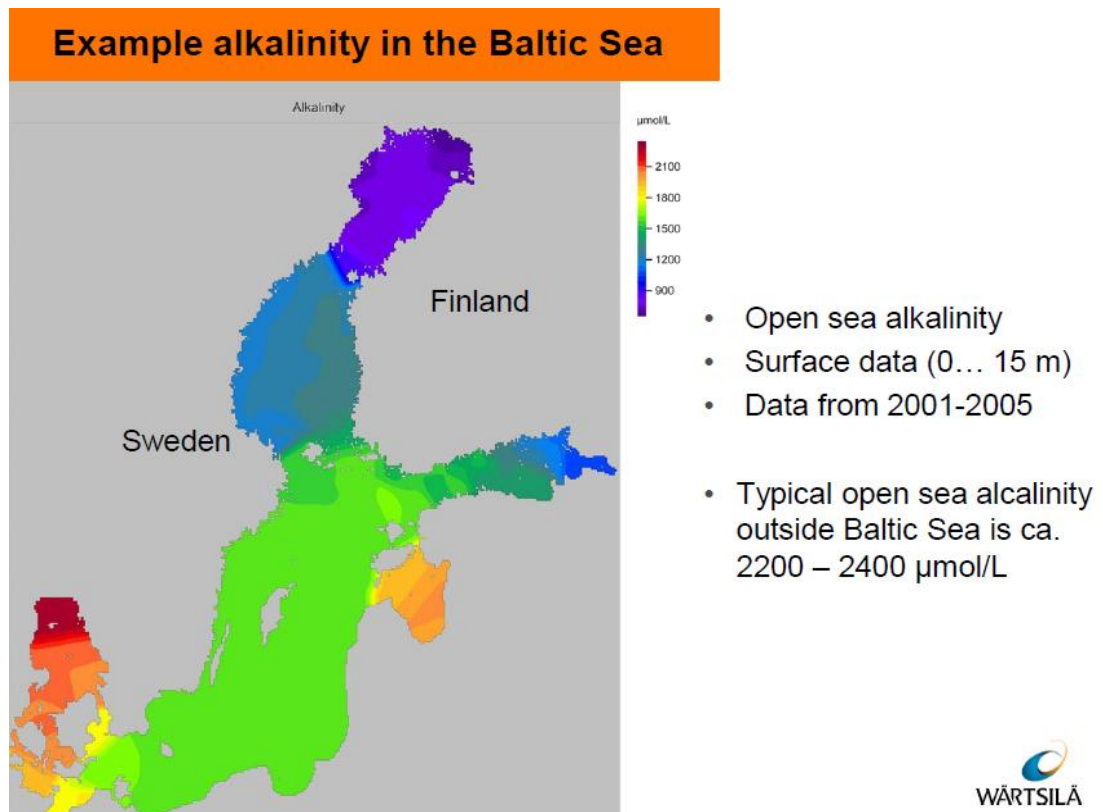


Kuva 9. Hybridipesurin rakenne ja toiminta. /27/

Wärtsilän perinteisestä makeavedenpesurista poiketen hybridijärjestelmässä myös closed loop -kierto toimii merivedellä. Suljetussa kierrossa meriveteen lisätään natriumhydroksidia (NaOH) pesuveden happamoitumisen estämiseksi ja veden puhdistustehon säilyttämiseksi.

Hybridijärjestelmä vaatii muita pesuryyppettä enemmän tilaa alukselta. Molemmat piirit vaativat mm. oman pesuveden käsittely-yksikkönsä. Hybridijärjestelmässä suljetun piirin pesuveden puhdistus toimii separaattorin avulla. Pesuvesi saatetaan separaattorissa voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen, jolloin painavimmat aineosat (epäpuhtaudet) kertyvät keskipakovoiman vaikutuksesta mahdollisimman etäälle pyörimisakselista ja voidaan näin erottaa. Makeavesipesurin closed loop -järjestelmästä poiketen hybridin suljetun kierron järjestelmä ei siis vaadi kemikaalien käyttöä pesuveden käsittelyssä. Avoimen puolen vedenkäsittely tapahtuu hydrosyklonin avulla kuten merivesipesurin open loop -järjestelmässä.

Wärtsilän hybridipesuri on optimaalinen ratkaisu aluksille, jotka operoivat lähinnä korkean alkaliniteetin merialueilla, mutta tarvitsevat ajoittain lyhyitä aikoja alkaliiin perustuvaa puskuritehoa operoidessaan esimerkiksi merenlahdissa, sisävesillä tai satamissa. Kuva 10 esittää merenveden alkaliniteettipitoisuudet Itämeren alueella /23, 12/.



Kuva 10. Meriveden alkaliniteetti Itämeren alueella. /23/

5.3 Pesurivaihtoehtojen vertailua

Pesurityypin valinnassa merkitsevin seikka on aluksen toiminta-alue. Myös pesurin asentamisen kustannukset, järjestelmän käyttökustannukset, pesurin viemä tila ja mahdolliset tekniset rajoitteet vaikuttavat valintaan. /21, 30/

Taulukossa 2 esitetään lyhyt yhteenveto eri pesurityyppien ominaisuuksista ja laitteistojen vaatimuksista.

Taulukko 2. Yhteenveto eri pesurityyppien vaatimuksista.

Closed loop	Open loop	Hybridi
Ei ole riippuvainen meren alkaliniteetista	Riippuvainen meriveden alkaliniteetista (esim. tietyissä osissa Itämeren alhainen)	Mahdollisuus operoida meriveden alkaliniteetista riippumatta
Mahdollistaa nollapäästö-tason mereen laskettavien päästöjen osalta	Ei mahdollista nollapäästö-tasoa	Mahdollistaa nollapäästö-tason rajoitetun ajan
Alkalin tarve ja BOTU-kemikaalien tarve	Ei alkalin ja kemikaalien tarvetta	Alkalin tarve closed loop -operoinnin aikana, ei BOTU-kemikaalien tarvetta
Pieni energian kulutus (0,5–1,0 % aluksen kone-tehosta)	Korkeampi energian kulutus (1–2 % aluksen kone-tehosta)	Korkeampi energian kulutus (1–2 % aluksen kone-tehosta)
Jossain määrin monimutkainen järjestelmä	Yksinkertainen järjestelmä	Jossain määrin monimutkainen järjestelmä
Ei vaatimuksia meriveden imu- ja poistoaukoille (merivesikaivoille)	Vaatimukset meriveden imu- ja poistoaukkojen (merivesikaivojen) kapasiteetille	Vaatimukset meriveden imu- ja poistoaukkojen (merivesikaivojen) kapasiteetille
Säiliövaatimukset alkalille, makeavedelle, pesuveden varastointiin, liete-tankki	Vähäinen tankkitilan tarve (vain vedenkäsittely ja liete-tankki)	Tilantarve: säiliövaatimukset alkalille, 2 x vedenkäsittely, pesuveden varastointi-tankki (valinnainen) ja liete-tankki

Järjestelmien erilaiset laitteistovaatimukset aiheuttavat eroja niin laitteistojen investointikustannuksiin kuin asennuskustannuksiinkin. Eri järjestelmät poikkeavat toisistaan myös käyttökustannuksiltaan. Kustannusrakennetta käsitellään tarkemmin tämän työn luvussa 6. Myös asennustapa vaikuttaa kustannuksiin.

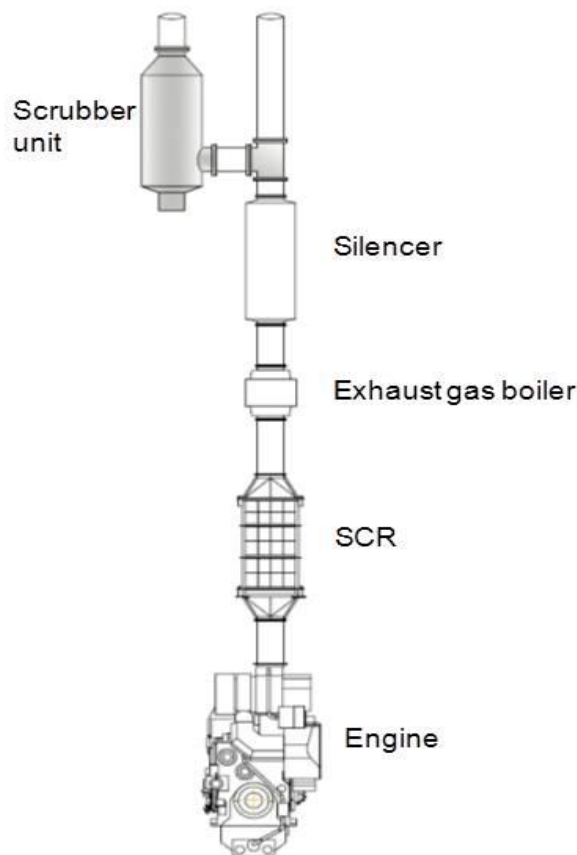
5.4 Asennusvaihtoehdot

Pesurijärjestelmä voidaan asentaa joko laitekohtaisesti tai integroituna, jolloin useiden koneiden ja kattiloiden pakokaasut johdetaan yhden pesurin läpi.

5.4.1 Laitekohtainen pesuri (main stream scrubber)

Main stream -vaihtoehdossa pesuriyksikköön johdetaan vain yhden koneen, tyypillisesti pääkoneen, pakokaasut. Jos koneita on useampia, tulee jokainen varustaa omalla pesurilla. Tässä vaihtoehdossa pesuriin liitetty kone operoi raskaalla polttoöljyllä ja sen päästörajat saavutetaan puhdistusteknologian avulla. Muut pakokaasulähteet, tyypillisesti apukoneet ja kattilat, käyvät tällöin 0,1 % S MGO:lla. /24, 2/

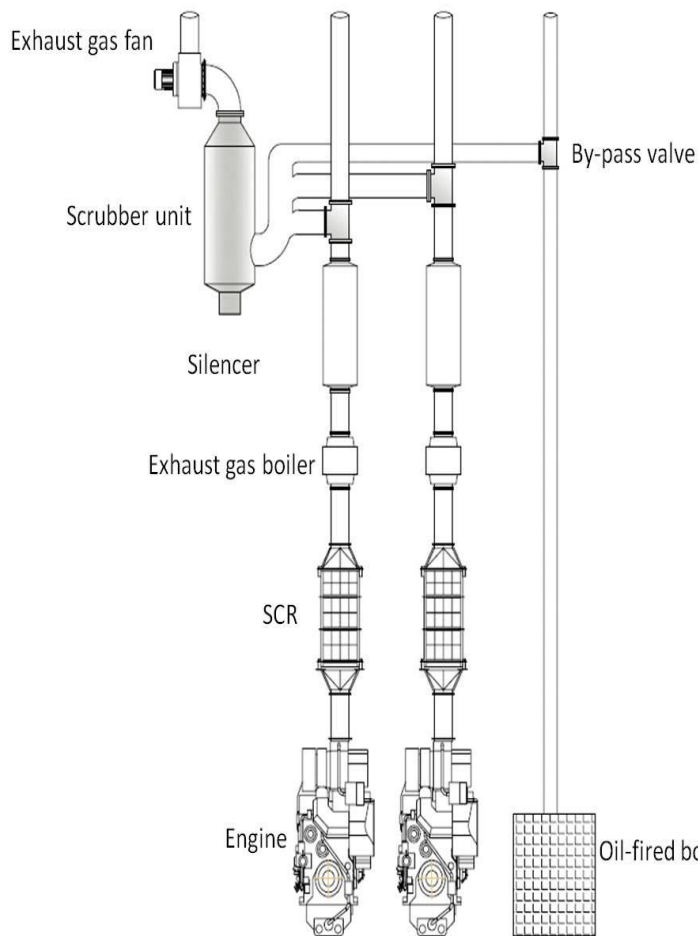
Tämä vaihtoehto sopii erityisesti aluksiin, joissa on kaksi tai useampia pääkoneita ja kaksi erillistä korsteenia. Main stream -pesurin periaatepiirros esitetään kuvassa 11.



Kuva 11. Laitekohtaisen pesurin periaatepiirros. /24/

5.4.2 Integroitu pesuri (integrated scrubber)

Integroidussa pesurissa aluksen useiden koneiden, niin pääkoneen, apukoneiden kuin kattiloiden pakokaasut menevät yhden ja saman rikkipesurin lävitse /24, 5/. Tällöin alus voi liikennöidä kaikkien koneiden osalta yhdellä polttoaineella, edullisemmalla korkearikkisellä HFO:lla. Kuva 12 havainnollistaa integroidun pesurin rakennetta.



Kuva 12. Integroidun pesurin periaatepiirros. /24/

6 PESURI-INVESTOINNIN KANNATTAVUUSLASKELMAT

Tässä kappaleessa esitellään Wärtsilä Finland Oy:n Environmental Solutions - yksikön käyttöön tarkoitetut pesuri-investointien kannattavuuslaskentatyökalut. Yhtiön kaikille kolmelle pesurivaihtoehdolle kehitettiin oma laskentatyökalunsa, joka tuottaa asiakkaalle juuri kyseisen pesurin investointipäätöksen tekemistä tukevaa tietoa.

Aluksi on kuitenkin syytä käydä lyhyesti läpi investointilaskelmien teoriaa.

6.1 Investointilaskelmat

Investointilaskelmien tarkoitus on tehdä päätelmiä investoinnin kannattavuudesta vertaamalla investoinnin suuruutta sen aikaansaamiin kassavirtoihin. Laskelmat perustuvat investoinnin aiheuttamasta kustannuksista ja tuotoista sekä pääomatarpeesta hankittuihin tai arvioituihin tietoihin. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät /19, 307/:

- investoinnin hankintameno
- investoinnin vuotuiset kassatuotot
- investoinnin pitoaika
- laskentakorko eli sijoitetun pääoman tuottovaatimus
- investoinnin jäännösarvo

Investointilaskelmamenetelmät voidaan jakaa modernin investointiteorian suosittelemiin kehittyneisiin menetelmiin ja toisaalta perinteisiin ”peukalosääntömenetelmiin”. Ensin mainittuja ovat nettonykyarvomenetelmä (net present value method, NPV) ja sisäisen korkokannan menetelmä (internal rate of return, IRR) muunnelmineen. Jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat yleisimpinä investoinnin takaisinmaksuajan menetelmä (payback method) ja investoinnin tuotto prosenttime-
netelmä (return of investment, ROI) /19, 307/. Tämän työn yhteydessä kehitettyihin laskentatyökaluihin laskentamenetelmiksi valittiin nettonykyarvomenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä, jotka toimivat hyvin toisiaan täydentävinä laskentamenetelminä.

6.1.1 Nettonykyarvomenetelmä

Nettonykyarvomenetelmässä kaikki investoinnista johtuvat tuotot ja kustannukset diskontataan valitulla laskentakorkokannalla (discount rate) nykyhetkeen, jolloin eri aikoina tapahtuvat suoritukset, tämän työn tapauksessa pesuri-investoinnista aiheutuvat säästöt käyttömenoissa, saatetaan keskenään vertailukelpoisiksi. Näin saadusta nettokassavirtojen nykyarvosta vähennetään investoinnin hankintameno. Tätä erotusta kutsutaan nettonykyarvoksi. Jos investoinnilla sen pitoajan päätyttyä on jotain arvoa, voidaan myös tämä jäännösarvo ottaa laskennassa huomioon. Nettonykyarvomenetelmän mukaan investointi kannattaa suorittaa, jos nettonykyarvo on positiivinen, toisin sanoen investoinnin tuotot muodostuvat hankintakustannusta suuremmiksi /19, 308/. Jatkossa tässä työssä nettonykyarvosta käytetään sen kansainvälistä lyhennettä NPV (net present value).

6.1.2 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäinen korkokanta (internal rate of return, IRR) on se korkokanta, jonka mukaan laskettuna investoinnin nettonykyarvo on nolla. Toisin sanoen sisäistä laskentakorkokantaa käyttäen investoinnista kertyvien nettotuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin investoinnin perushankintameno. /18, 221/

Sisäinen korkokanta tiivistää investoinnin ominaisuudet helposti ymmärrettäväksi prosenttiluvuksi, jota voidaan verrata yrityksen käyttämään laskentakorkoon. Investointia voidaan pitää kannattavana, jos sen sisäinen korkokanta on vähintään tavoitteeksi asetetun pääoman tuotto-%:n suuruinen /18, 221/. Sisäisen korkokannan menetelmä soveltuu erityisesti omalla pääomalla rahoitettavien investointien kannattavuuden laskentaan, koska sisäinen korkokanta riippuu pelkästään investointiprojektin omista kassavirroista, eikä esimerkiksi markkinoilla vallitseva korkotaso vaikuta sen laskemiseen /19, 311/.

6.1.3 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä selvitetään, minkä ajan kuluessa investoinnin yhteenlasketut nettotuotot ylittävät perushankintakustannuksen. Mikäli laskenta-

korkea ei oteta huomioon ja vuotuinen nettotuotto on vakio, takaisinmaksuaika on hankintameno per vuotuinen nettotuotto. /18, 223/

Menetelmä on laskennallisen helppoutensa ansiosta yleisesti käytössä. Puutteena on koron jättäminen laskelmista pois. Korke voidaan kuitenkin tarpeen vaatiessa ottaa huomioon diskonttaustekijää käyttämällä. Tällöin vuotuiset nettotuotot diskontataan investointiajankohtaan ja takaisinmaksuaika ilmoittaa, monenko vuoden diskontatut vuosituotot tarvitaan hankintamenon määrän kerryttämiseksi (discounted payback period). /18, 223/

Takaisinmaksuajan menetelmä ei niinkään osoita investoinnin kannattavuus- vaan rahoitusvaikutusta, koska se ei ota huomioon tapahtumia takaisinmaksuajan jälkeen. Sitä voidaan kuitenkin hyvin käyttää yhtenä valintakriteerinä tukemaan muiden menetelmien, esimerkiksi NPV-laskennan tuloksia, ja osoittamaan juuri investoinnin rahoitusvaikutusta /18, 223/.

6.2 Laskentatyökalujen toteutus

Opinnäytetyönä laadittavat merenkulun savukaasupesureiden kannattavuuslaskentatyökalut toteutetaan Microsoftin Excel-laskentaohjelmaa käyttäen. Laadittujen laskentatyökalujen avulla määritellään pesuri-investoinnin takaisinmaksuaika sekä investoinnin nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta. Laskentatyökalut on tarkoitettu myynnin tueksi Wärtsilän käyttöön.

Toimeksiantajan tavoitteet laskentatyökaluille olivat laskennan todenmukaisuus ja käyttäjäystävällisyys. Laskennan todenmukaisuus varmistetaan eri vaihtoehtoista muodostuvien käyttökustannusten tarkalla analysoinnilla sekä rahan arvon investointiteorian mukaisella diskonttaamisella tämän päivän rahanarvoon. Jokaiselle pesurityypille laadittiin oma laskentatyökalunsa.

Käyttäjäystävällisyys tarkoittaa tässä tapauksessa helppoa käytettävyyttä ja selkeitä ohjeistuksia ohjelman käyttäjälle. Käyttöohjeet sisältävät mm. laskurin täyttöohjeet, ohjeet Excel-ohjelman käyttämien makrojen päivittämiseen sekä ohjeet laskennan perusteella saatavien dokumenttien tallentamisesta ja tulostamisesta.

Myös tämän opinnäytetyön kappaletta 6 voidaan kokonaisuudessaan käyttää pehdytysoppaana laskentatyökalujen käyttöön.

Laskentatyökalut laadittiin siten, että laskennan perustietoina voidaan käyttää Wärtsilässä käytössä olevaa asiakkaan täyttämää kyselykaavaketta (questionnaire). Kyselykaavake on tarkoitettu lähinnä aluksen teknisten tietojen kartoittamiseen ja niiden perusteella tapahtuvaan savukaasujen puhdistuslaitteiston mitoitukseen ja tekniseen suunnitteluun, mutta kysely antaa riittävät tiedot myös investoinnin kustannuslaskentaan. Aluksen teknisten tietojen lisäksi varustamoasiakkaat ilmoittavat kyselyssä myös joko vuotuisen polttoaineen kulutuksen tai opeointiprofiiliin perustuvan toiminnan kuvauksen, jotka soveltuvat kannattavuuslaskennan lähtötiedoiksi. Kyselykaavake on tämän työn liitteenä 1.

6.3 Laskentatyökalun käyttö

Tässä kappaleessa käydään läpi laskentatyökalun käyttöä sekä kuvataan laskennan perusteet.

6.3.1 Perustiedot

Kaikki laskentaa varten tarvittava tieto syötetään INPUT-lehdelle (ks. liitteet 2, 4 ja 6). Kaikki lomakkeen harmaat alueet tulee täyttää.

Perustietoina ohjelmaan syötetään aluksen tiedot sekä rikkipesurin mitoitustiedot. Pesuri voidaan mitoitaa myös aluksen maksimitehoa alemmalle pakokaasuvirtaukselle. Tämä on tavallista esimerkiksi risteilijöiden kohdalla, joiden yleensä ei tarvitse ottaa koneista kaikkea tehoa käyttöön. Pesurin mitoitus vaikuttaa suoraan investointi- ja käyttökustannuksiin.

Aluksen teknisistä tiedoista ohjelmaan tulee syöttää pääkoneiden ja apukoneiden tehot sekä kattilan kapasiteetti (kW). Kattilan kapasiteetti voidaan ilmoittaa myös yleisemmin käytössä olevalla yksiköllä ton/h. Ohjelma muuntaa tällöin kattilan kapasiteetin yksikköön kW. Lisäksi tarvitaan kunkin konetyypin lukumäärä, joiden perusteella lasketaan kokonaistehot konetyypeittäin.

Syötettäviin tietoihin sisältyy vielä kunkin konetyypin ominaiskulutus (SFOC, specific fuel oil consumption), jonka yleinen yksikkö on g/kWh. Taulukossa 3 esitetään eri moottorityyppien keskimääräisiä SFOC-arvoja. Taulukon moottorit ovat luokkansa tyypillisiä edustajia, joita löytyy useilta valmistajilta /8, 43/.

Taulukko 3. Laivamoottoreiden ominaiskulutus maksimiteholla. /8/

Merkki, malli, sylinteriluvut	Teho kW/ sylinteri	SFOC g/kWh
MTU 4000M71, 8, 12, 16V	206	209
Wärtsilä 20, 4-9 rivi	200	196
Wärtsilä 32, rivi 6-9, 12,16,18V	500	182
Wärtsilä 46, 6,8,9 rivi, 12,16,18V	1155	176
B&W 26MC, 4-12 rivi	400	181
Wärtsilä RT-flex60C , 5-8 rivi	2420	170
Wärtsilä RT-flex84T, 5-9 rivi	3880	170
B&W K98MC-C, 6-14 rivi	5720	177

Kattilan polttoaineen kulutuksen esimerkkinä mainittakoon Mitsubishi Heavy Industries Ltd:n MAC-B kattila, jonka polttoaineen kulutus 1,57 MPa paineessa on noin 76 kg tunnissa tuotettua höyrytonnia kohti /17/. U.S. Department of Energy'n laskuria käyttäen polttoaineen kulutukseksi kyseiselle kattilatyypille saadaan 163 g/kWh. Mainittu laskuri on käytettävissä Internetissä osoitteessa www4.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/amo_steam_tool/equipB_oiler.

6.3.2 Operointiprofiili tai polttoaineen kulutus

Seuraavaksi käyttäjä valitsee, käytetäänkö laskennan perusteena aluksen operointiprofiilia vai vuosittaista polttoaineen kulutusta asiakkaan ilmoittamien lähtötietojen mukaan. Tässä vaiheessa käyttäjän tulee sallia ohjelman makrojen käyttö, jotta valinta voidaan suorittaa.

Operointiprofiilin mukaisissa lähtötiedoissa varustamot ilmoittavat vuosittaiset käyttötunnit eri operointimoodeissa (sea going, manoeuvring eli ohjailu, in port),

pääkoneiden, apukoneiden ja kattiloiden tehot, lukumäärän ja kuormituksen sekä erittelevät aluksen käyttötunnit eri moodeissa SECA-valvonta-alueilla ja valvonta-alueiden ulkopuolella. Näiden tietojen perusteella aluksen vuosittainen polttoaineen kulutus voidaan laskea varsin tarkasti. Tämä laskentatapa sopii hyvin esimerkiksi uudistuotantoon, kun vuosittainen polttoaineen kulutus ei vielä ole tiedossa.

Olemassa olevien laivojen osalta varustamot ilmoittavat varsin usein suoraan aluksen vuosittaisen polttoaineen kulutuksen. Polttoaineen kulutuksen lisäksi laskennan perustaksi tarvitaan moottoreiden tehot ja lukumäärä sekä kattilakapasiteetti, koneiden ominaiskulutusarvot sekä SECA-alueella operoinnin prosentuaalinen osuus.

Vuosittainen polttoaineen kulutus muodostaa merkittävän osan aluksen käyttökustannuksista. Mitä suurempi polttoaineen kulutus ja mitä suurempi hintaero raskaan polttoöljyn ja MGO:n välillä vallitsee, sitä suuremmat säästöt pesuriin investoinut varustamo saa. Säästöt muodostuvat SECA-alueella liikennöidyn määrän perusteella.

6.3.3 Polttoaineiden hinta

Seuraavaksi käyttäjä syöttää ohjelmaan polttoaineiden hinnat. INPUT-sivulta on linkitys Bunkerworldin verkkosivulle, josta käyttäjä siirtää päivitettyt polttoaineiden hinnat laskennan perustaksi. Bunkkereiden (laivan omaan käyttöön tarkoitettu polttoaine) hinnat ilmoitetaan maailmanlaajuisesti Yhdysvaltain dollareina (USD). Ohjelma muuntaa syötetyt USD-hinnat euroiksi päivän kurssin mukaan. Päivitetyt valuuttakurssit ohjelma hakee automaattisesti Microsoftin MSN MoneyCentral Investor -valuuttakurssit sivulta. Hintavertailun pohjana käytetään korkearikkisen IFO380 ja MGO:n hintatietoja. Käyttäjä syöttää ohjelmaan mainittujen polttoainelaatujen Rotterdamin päivän hinnat tai hintojen keskiarvot haluamaltaan aikaväliltä.

Karkeasti ajatellen takaisinmaksuaika muodostuu säästöistä, jotka muodostuvat raskaan polttoöljyn ja MGO:n välisestä hintaerosta. Polttoainekustannukset eivät

kuitenkaan ole koko totuus, vaan laskennassa on otettava huomioon myös pesurijärjestelmästä aiheutuvat käyttökustannukset.

6.3.4 Pesurijärjestelmän käyttökustannukset

Käyttökustannusten (OPEX, operational expenditure) laskennan perusteena käytetään aluksen vuosittaista MWh-määrää. Ohjelma määrittää vuosittaiset megawattitunnit polttoaineen kulutuksen ja koneiden ominaiskulutuksen perusteella.

Pesurijärjestelmän käyttömenot muodostuvat seuraavista kulueroista:

- pesurilaitteiston tehon tarve
- NaOH:n kulutus
- makeanveden kulutus
- vedenpuhdistuskemikaalien kulutus
- lietteen muodostus ja lietteen käsittelyn kustannukset
- pesurilaitteiston huoltokustannukset
- työvoiman tarve
- HFO:n käytöstä johtuvat lisääntyneet moottoreiden huoltokustannukset
- HFO:n käytöstä johtuva lisääntynyt voiteluöljyn kulutus
- mahdollinen rahti- tai matkustajakapasiteetin menetys EGS-laitteiston viemän tilan takia.

Mahdolliset ympäristökannusteet otetaan huomioon käyttökustannuksia pienentävinä erinä.

Käyttökustannusten laskennan perusteet kuvataan taulukossa 4. Varsinaiset kulutusmäärät ja hinnat on syötetty laskentatyökaluun eikä niitä esitellä tässä yhteydessä. Taulukossa on mainittu myös laskentatyökalussa käytetyt termien englanninkieliset vastineet.

Taulukko 4. Pesurijärjestelmien käyttömenojen muodostuminen.

	Closed loop	Open loop	Hybridi
savukaasupuhdistusjärjestelmän tehon tarve (power demand of EGCS)	kW/moottoriteho kW (engine kW)	kW/moottoriteho kW (engine kW)	kW/moottoriteho kW (engine kW)
NaOH:n kulutus (NaOH consumption)	l/MWh/S-reduktio%		l/MWh/S-reduktio%
NaOH:n hinta (NaOH price)	€/tonni (ton)		€/tonni (ton)
makeanveden kulutus (freshwater consumption)	m ³ /MWh		
BOTU-kemikaalien kulutus (BOTU-chemicals consumption) <ul style="list-style-type: none"> - koagulantti (coagulant) - flokkulantti (flocculant) 	l/m ³ bleed-off l/m ³ bleed-off		
lietteen muodostus (sludge production)	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh
lietteen käsittelyn hinta (sludge treatment price)	€/tonni (ton)	€/tonni (ton)	€/tonni (ton)
savukaasupuhdistusjärjestelmän huoltokustannukset (maintenance costs of EGCS)	% pesurijärjestelmän investointikustannuksesta (laitteisto) €/vuosi	% pesurijärjestelmän investointikustannuksesta (laitteisto) €/vuosi	% pesurijärjestelmän investointikustannuksesta (laitteisto) €/vuosi
HFO:n käytöstä johtuvat moottorin lisähuoltokustannukset (additional engine maintenance costs when operating with HFO)	€/MWh	€/MWh	€/MWh
HFO:n käytöstä johtuva voiteluöljyn lisäkustannus (additional lube oil cost)	g/kWh	g/kWh	g/kWh
kapasiteetin vähennys (loss in cargo space)	laivakohtainen, perustuu asiakkaan ilmoittamaan arvoon	laivakohtainen, perustuu asiakkaan ilmoittamaan arvoon	laivakohtainen, perustuu asiakkaan ilmoittamaan arvoon
ympäristökannusteet (environmental incentives)	laivakohtainen, perustuu asiakkaan ilmoittamaan arvoon	laivakohtainen, perustuu asiakkaan ilmoittamaan arvoon	laivakohtainen, perustuu asiakkaan ilmoittamaan arvoon

Ohjelma poimii kulutusmäärät ja hinnat erillisen tiedot-lehden (data-sheet) kautta, jolloin niitä ei laskennassa tarvitse syöttää erikseen. Tarvittaessa tiedot päivitetään helposti data-sheet -lehdelle.

Savukaasupuhdistuslaitteiston tehon tarve huomioidaan laskennassa lisäämällä tehon tarvetta vastaava polttoaineen kulutus aluksen vuosittaiseen polttoaineen kulutukseen. Open loop -pesurin suurempi tehon tarve perustuu closed loopia suurempiin pesuveden virtausmääriin. Laskelmissa käytetyt laitteistojen tehon kulutukset perustuvat Wärtsilässä aikaisemmin tehtyihin laskelmiin.

NaOH:n kulutus riippuu tavoitellusta reduktioasteesta. Laskennassa kertoimena käytetään käytetyn polttoaineen rikki-pitoisuuden ja tavoitellun rikki-pitoisuuden erotusta. Esimerkiksi käytettäessä korkearikkistä IFO380 (3,5 % S) polttoainetta tavoitetason ollessa 0,1 prosenttia, on NaOH:n kulutus:

$$5 \text{ l/MWh/S-reduktio\%} * (3,5 \% - 0,1 \%) * \text{MWh/a} = n \text{ l/a}$$

Open loop -pesurissa NaOH:n käyttö ei ole tarpeen pesutehon perustuessa meriveden alkaliniteettiin.

Makeanveden kustannuksia syntyy vain perinteisessä Wärtsilän closed loop -pesurissa, hybridin suljetussa kierrossa pesuvedenä käytetään merivettä. Laskennan perusteena käytetään oletusta, että makea vesi bunkrataan satamassa. Jos pesurin käyttämä makea vesi tuotetaan laivalla, ovat kustannukset alhaisemmat. Myös BOTU-kemikaalikustannuksia (koagulantti ja flokkulantti) syntyy vain closed loop -pesurijärjestelmässä, hybridin suljetun kierron pesuveden käsittely toimii separaattorin avulla.

Savukaasupesureiden pesuvesien käsittelyssä syntyvä liete on ongelmajätettä, joka tulee kuljettaa maalla asianmukaisesti käsiteltäväksi. Muodostuvan lietteen määrässä ja tästä johtuen lietteen käsittelykustannuksissa on eroja pesurityypistä riippuen.

Pesurilaitteiston huoltokustannuksiksi laskennassa arvioidaan tietty prosentuaalinen osuus pesurilaitteiston hankintakustannuksesta. Tämä perustuu Wärtsilästä

saatuun tietoon. Laitteiston huoltokustannukset sisältävät mm. pumppujen, lämmönvaihtimen ja tankkien huollon. Mahdolliset työvoimakustannukset huomioidaan laskennassa erikseen.

Raskaan polttoöljyn mukanaan tuomat epäpuhtaudet voivat lisätä moottoreiden huollon tarvetta. Raskasöljykäytössä huolto ja varaosat maksavat 3–4 € /kWh, joten raskasöljykäyttö synnyttää lisäkustannuksia 3000–4000 €/MW vuodessa /8, 60/. Myös polttoaineen käsittelylaitteiston huoltotarve voi olla raskasöljykäytössä suurempi kuin kevytöljyllä (MGO) operoitaessa. Laskennassa raskasöljykäytön aiheuttamat lisäkustannukset huomioidaan Wärtsilästä saadun arvion mukaan.

Raskasöljykäyttö lisää myös voiteluöljyn kulutusta. Voiteluöljyn tehtävänä laivakoneissa on muun muassa tiettyjen koneenosien jäähditys sekä kitkan pienentäminen laakereissa ja sylintereiden ja männänrenkaiden välillä /15, 168/. Laskennan perusteena käytetään Wärtsilästä saatua arviota raskasöljykäytön aiheuttamasta voiteluöljyn lisäkulutuksesta ja -kustannuksesta.

Tietyissä tapauksissa savukaasujen puhdistusjärjestelmän tilantarve aiheuttaa menetyksen aluksen rahti- tai matkustajakapasiteettiin. Tämä lisäkustannus huomioidaan laskennassa asiakkaan ilmoituksen perusteella. Mahdolliset ympäristökannusteet huomioidaan laivakohtaisesti OPEX-kuluja pienentävinä suorituksina. Ympäristökannusteita ovat esimerkiksi alennukset satamamaksuissa pakokaasujen puhdistusteknologiaan investoineelle alukselle. Tietoa kannusteista on saatavissa verkosta esimerkiksi Environmental Ship Indexin (ESI) sivuilta /6/.

6.3.5 Asennustapa

Käyttäjä valitsee vielä laitteiston asennustavan. Integroidun järjestelmän tapauksessa oletetaan useiden aluksen koneiden käyvän raskaalla polttoöljyllä. Main stream -asennuksessa vain pesuriin liitetty kone/koneet käyvät HFO:lla muiden pakokaasulähteiden, tyypillisesti apukoneiden ja kattiloiden, operoidessa MGO:lla. Integroidun järjestelmän tehon tarve on laitekohtaista asennusta suurempi, koska integroidun järjestelmän vaatimat puhaltimet (fans) lisäävät EGCS:n tehon tarvetta.

6.3.6 Investointikustannukset

Pesurihankinnan investointikustannukset (CAPEX, capital expenditure) muodostuvat laitteistosta ja asennuksesta. Laitteiston investointikustannukset sisältävät kaikki pesurijärjestelmän laitteet kuljetettuna asennuspaikalle sekä tarvittavat asiakirjat asennusta ja käyttöä varten. Asennustyöt sisältävät mm. vaadittavat korsteenin muutostyöt, itse pesurilaitteiston asennuksen, tankkien muutostyöt ja materiaalit, putkitukset ja kaapeloinnit sekä käyttöönoton.

Lisäksi investointikustannuksiksi lasketaan asennuksen aikainen telakointiaika, joka on varustamolle tuottamatonta aikaa (revenue loss due to installation time). Pesurijärjestelmän asennus pyritään kuitenkin aina mahdollisuuksien mukaan tekemään aluksen muun vuosihuollon yhteydessä, jolloin asennustyöt eivät vie laivaa erikseen pois liikenteestä. Osa asennustyöistä voidaan myös suorittaa laivan ollessa normaalissa liikenteessä. Tieto telakointiajan tulojen menetyksestä pesuriasennuksen osalta tulee saada asiakkaalta.

MGO-puolelle investointikustannuksia voi syntyä mahdollisista moottoreiden ja kattiloiden muutostöistä aluksen ryhtyessä operoimaan MGO:lla, ellei aluksen koneita ole suunniteltu käymään kevyellä polttoöljyllä. MGO-konversio (MGO conversion) tulee kyseeseen, kun tällainen alus siirtyy käyttämään polttoaineena yksinomaan MGO:ta. Jos taas alus aikoo käyttää valvonta-alueilla MGO:ta ja valvonta-alueiden ulkopuolella HFO:ta, tulee kyseeseen polttoaineen vaihdon (fuel switch capability) vaatimat muutostyöt.

6.3.7 Investoinnin tuottovaatimus

NPV-laskentaa varten ohjelmaan syötetään vielä aluksen odotettavissa oleva jäljellä oleva käyttöaika. Lähtökohtana laskennalle on, että pesurijärjestelmä kestää aluksen jäljellä olevan käyttöiän, jolloin investointiaika on sama kuin aluksen jäljellä oleva käyttöaika. Laskentatyökalussa ei huomioida mahdollista laitteiston jäännösarvoa investointiajan jälkeen.

Lopuksi ohjelmaan syötetään asiakkaan määrittämä laskentakorko eli varustamon asettama tuottovaatimus sijoittamalleen pääomalle. Yritykset voivat käyttää pää-

oman tuottovaatimuksenaan esimerkiksi pääoman keskimääräistä kustannusta WACC:ia (weighted average cost of capital) eli oman ja vieraan pääoman tuottovaatimusten painotettua keskiarvoa. Jotta investointipäätös voidaan hyväksyä, tulisi sen kannattavuuden olla vähintään yhtä suuri kuin mitä siihen asetetun pääoman tuottovaatimus on.

6.4 Laskennan tulokset

Laskennan tuloksena saadaan:

- yhteenveto kulutuksesta polttoaineen, makeanveden ja NaOH:n osalta
- pesurijärjestelmän käyttömenot eriteltyinä
- eri vaihtoehtojen kustannusvertailu (pesuri + HFO vs. MGO)
- pesuri-investoinnin takaisinmaksuaika
- takaisinmaksuaika diskontatulla rahan arvolla
- investointiajan käyttökustannusten rahavirrat eri vaihtoehdoilla
- investoinnin nettonykyarvo valitulla korkokannalla
- kumulatiiviset rahavirrat diskontatuilla arvoilla
- investoinnin sisäinen korkokanta

Laskennan tulokset siirtyvät asiakkaalle menevään PDF-dokumenttiin Excel-laskentatyökaluun tehdyn linkityksen kautta. Dokumentti sisältää laskentatulosten lisäksi lyhyen savukaasupesurin teknisen kuvauksen, rikkirajoja koskevat säännökset sekä asennusvaihtoehtojen kuvauksen.

Koska HFO:n ja MGO:n hinnanneron ennustetaan tulevaisuudessa kasvavan, sisältää dokumentti myös laskennan perusteella tehdyn ennusteen takaisinmaksuajasta eri polttoaineen hinnaneroilla. Odotettavissa on lisäksi valvonta-alueiden laajeneminen yhä uusille merialueille ja tämän vuoksi ohjelman tuottamaan dataan sisällytettiin vielä ennuste takaisinmaksuajasta muuttuvan SECA-alueella liikennöidyn osuuden mukaan. Mainitut dokumentit laadittiin osana tätä opinnäytetyötä.

6.5 Tulosten esittäminen

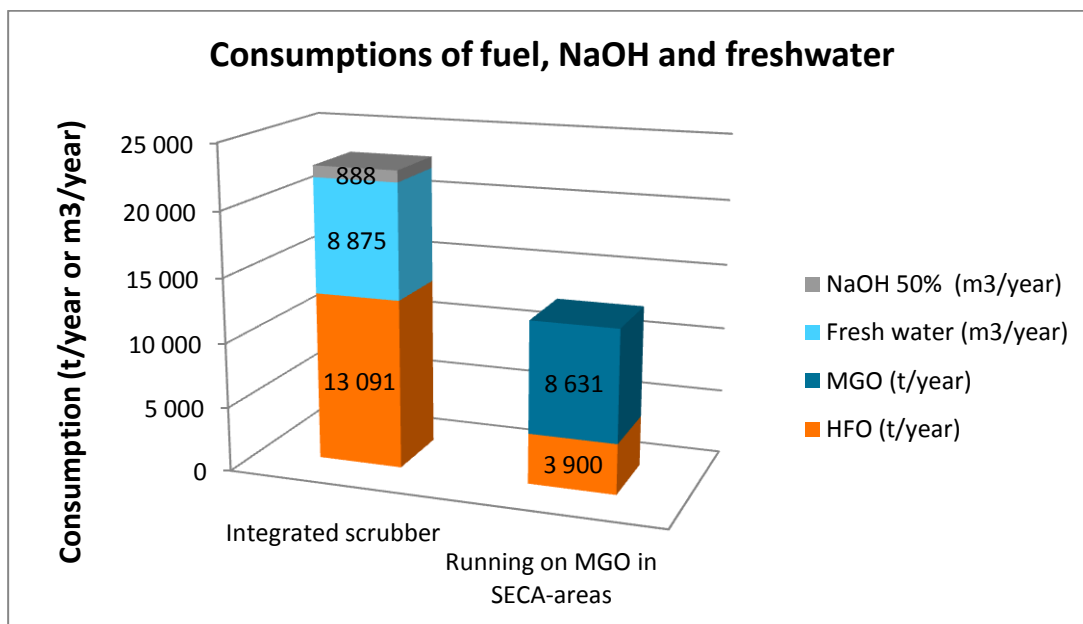
Tässä kappaleessa havainnollistetaan laskennan tulosten esitystapaa. Varsinaiset esimerkkidokumentit ovat tämän työn liitteenä (liitteet 3, 5 ja 7). Esimerkkitapauksena käytetään alusta, jonka koneisto käsittää 10 000 kW:n pääkoneen, kaksi 1 000 kW:n apukonetta sekä kattilan kapasiteetiltaan 10 tonnia/h. Laskennan perusteena käytetään taulukon 5 mukaista vuosittaista polttoaineen kulutusta.

Taulukko 5. Aluksen tiedot.

Name of the vessel:	Vessel name	
Total main engine power:	10 000	kW
Annual fuel consumption Main Engines:	10 000	ton
Annual fuel consumption Auxiliary Engines:	1 000	ton
Annual fuel consumption Oil Fired Boilers:	2 000	ton

Alus operoi SECA-alueella 70 prosenttia liikennöintimäärästään. Esimerkkilasennassa tutkitaan Wärtsilän closed loop -tyyppisen pesuri-investoinnin kannattavuutta. Asennustapana on integroitu pesuri.

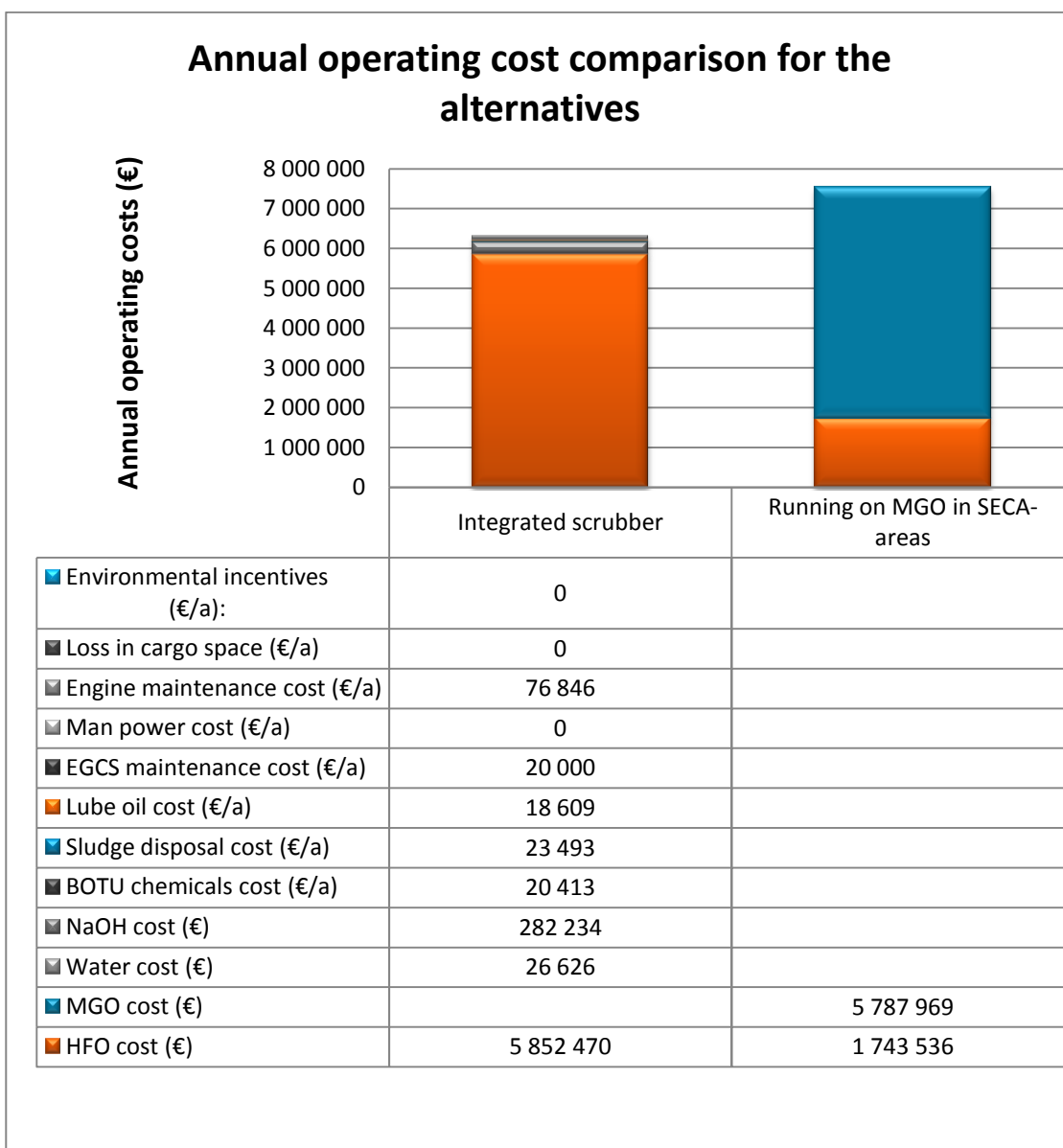
Polttoaineen, NaOH:n ja makeanveden vuosittainen kulutus havainnollistetaan pylväsdiagrammina eri vaihtoehdoille.



Kuva 13. Polttoaineiden, lipeän ja makeanveden vuosittainen kulutus eri vaihtoehdoilla.

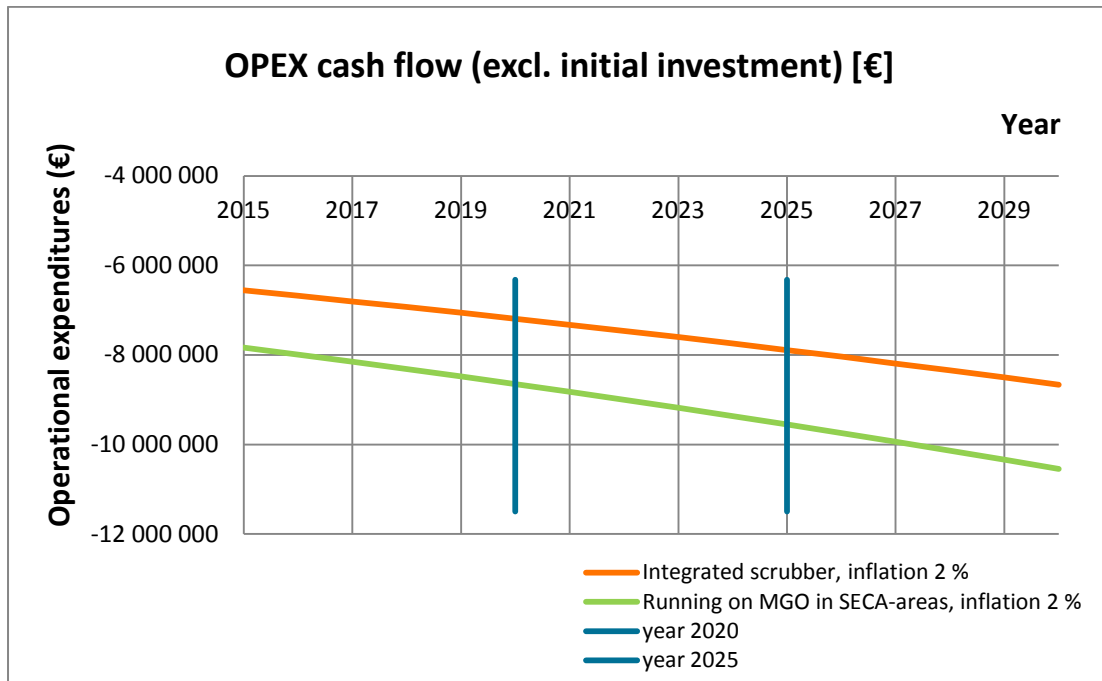
Pesurivaihtoehdossa polttoaineen kulutuksessa on huomioitu pesurin vaatima teho. Myös MGO:n korkeampi lämpöarvo on otettu kulutusmäärien laskennassa huomioon.

Eri vaihtoehtojen eritellyt käyttömenot esitetään sekä pylväsdiagrammina että numeerisesti.



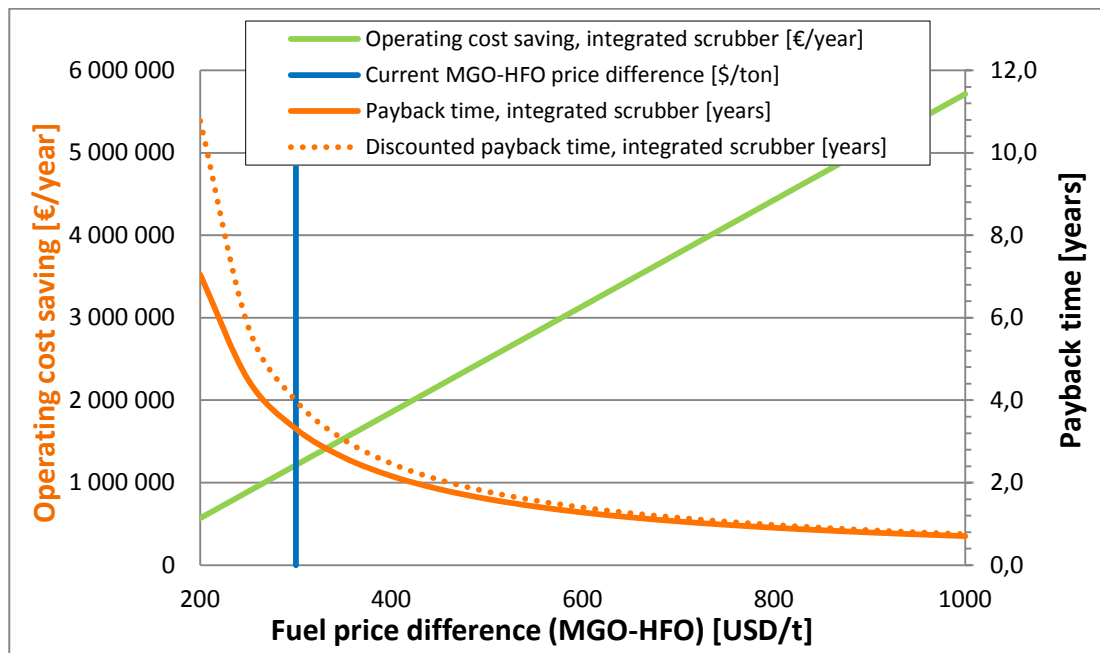
Kuva 14. Eri vaihtoehtojen käyttömenojen vertailu.

Eri vaihtoehtojen vuosittaiset käyttömenot esitetään vertailun helpottamiseksi myös graafisessa muodossa (kuva 15). Polttoaineiden hinnoissa on huomioitu 2 prosentin vuosittainen inflaatiokorotus. Arvio perustuu Eurostatin pitkäaikaiseen keskimääräiseen inflaatioprosenttiin euro-alueella. Työkalu sisältää linkin Eurostatin web-sivulle, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/inflation_dashboard/, josta inflaatioprosentin voi tarvittaessa tarkistaa ja muuttaa ohjelmaan.



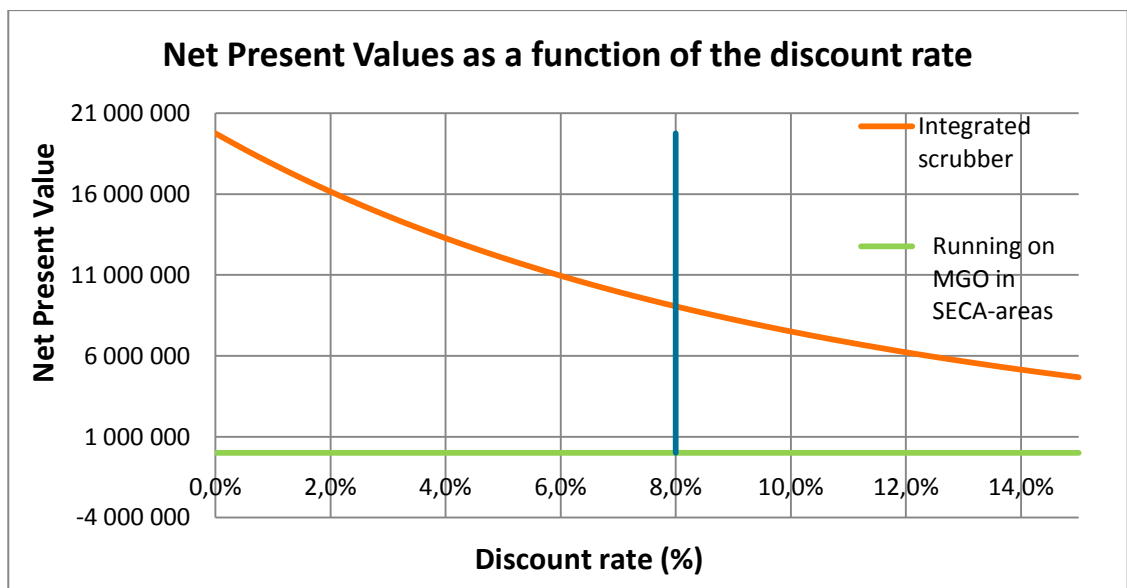
Kuva 15. Vuosittaiset käyttömenot eri vaihtoehdoille.

Takaisinmaksuaika nykyisellä polttoaineiden hintaerolla sekä ennuste takaisinmaksuajasta muuttuvilla polttoaineen hinnaneroilla kuvataan graafisesti kuvan 16 mukaisesti. Esitys kuvaa myös käyttömenojen säästöt eri polttoaineen hinnaneroilla. Hinnaneron kasvaessa säästöt luonnollisesti kasvavat ja takaisinmaksuaika lyhenee. Investointi ajatellaan tehtäväksi täydellisenä turnkey (avaimet käteen) -toimituksena. Esimerkissä laitteiston hinnaksi arvioidaan 2 M€ ja asennuksen hinnaksi 2 M€.



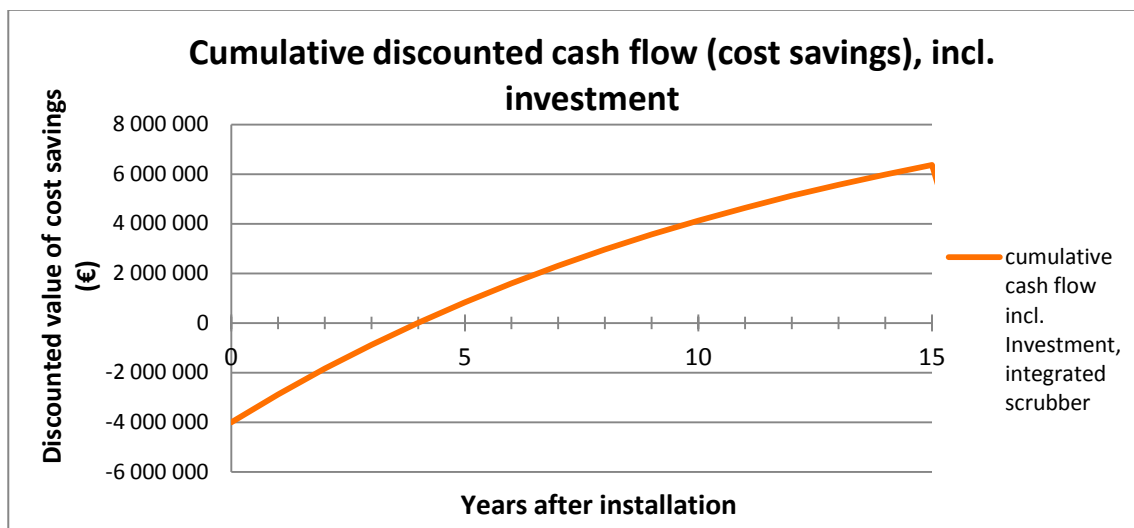
Kuva 16. Takaisinmaksuaika ja käyttökustannusten säästöt MGO-HFO hinnaneron funktiona.

NPV-käyrä havainnollistaa tulovirran (säästöt) ja menovirran (investointihinta) nykyarvot. Nettonykyarvon ollessa positiivinen voidaan investointia pitää kannattavana.



Kuva 17. Nettonykyarvo laskentakoron funktiona.

Diskontattujen kumulatiivisten kustannussäästöjen graafinen esitys kuvaa hyvin investoinnin kannattavuutta (kuva 18). Investointiaika on aluksen odotettavissa oleva jäljellä oleva käyttöaika ja diskonttauskorkona käytetään asiakkaan investoinnille asettamaa tuottovaatimusta. Esimerkissä investointiaikana käytetään 15 vuotta ja laskentakorkona 8 prosenttia. Investointihetken kassavirta on negatiivinen (investointikustannus), jonka jälkeen vuosittaiset säästöt kasvattavat kassavirtaa. Takaisinmaksuaika sijaitsee pisteessä, jossa käyrä leikkaa x-akselin.



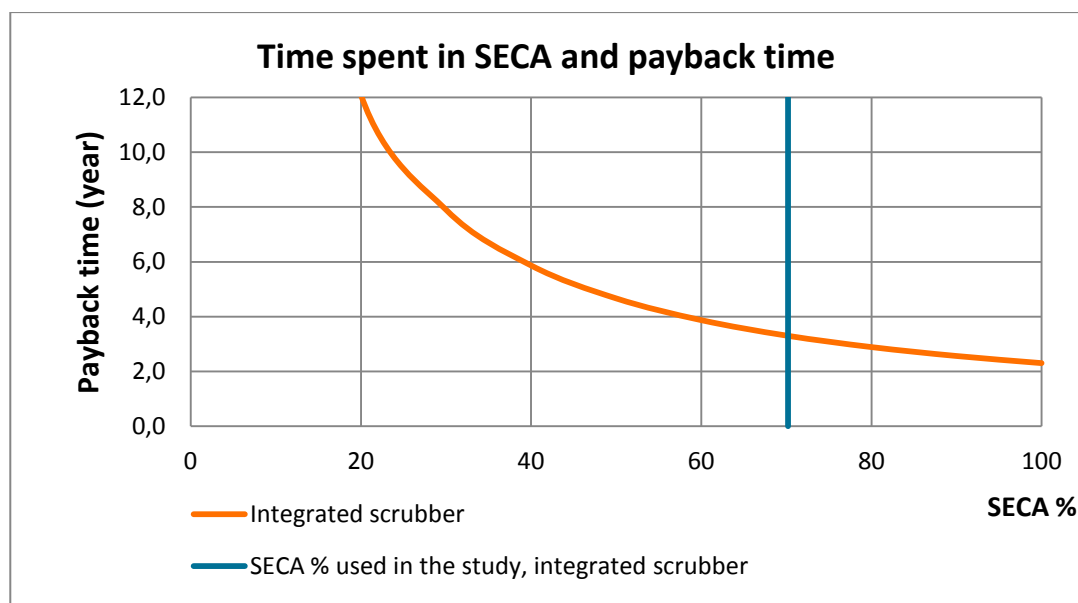
Kuva 18. Kumulatiiviset kassavirrat.

Eri vaihtoehtojen kustannusvertailu, takaisinmaksuaika nykyisellä polttoaineiden hintaerolla, takaisinmaksuajan ennuste 500 USD:n hintaerolla sekä diskontattu takaisinmaksuaika kootaan yhteenvetotaulukossa. Myös investoinnin tuottoa kuvaava sisäinen korkokanta ilmenee yhteenvetotaulukosta.

Taulukko 6. Kustannusvertailu, takaisinmaksuaika ja sisäinen korkokanta.

	Integrated scrubber	Running on MGO in SECA-areas
Investment cost lower end / equipment (€)	2 000 000	
Investment cost, installation (€)	2 000 000	
Revenue loss due to installation time (€)	0	
Investment cost higher end (€)	4 000 000	
Investment cost of MGO conversion/fuel switch capability (€)		0
Annual operating cost (€)	6 320 691	7 531 505
Saving compared to MGO (€)	1 210 814	
Saving compared to MGO (%)	16%	
Payback time, HFO-MGO diff as now (years)	3,3	
Payback time, HFO-MGO diff 500\$/t (years)	1,6	
Discount rate %	8	
Discounted payback time diff as now (years)	4,0	
Discounted payback time diff 500 \$/t (years)	1,8	
Investment time (years)	15	
Internal rate of return, IRR (%)	30%	

Lopuksi kuvataan vielä takaisinmaksuajan riippuvuus SECA-alueella liikennöidystä määrästä (kuva 18). SECA-osuuden kasvaessa pesuriin investoiteen aluksen käyttökustannukset pienenevät verrattuna MGO:lla operointiin ja takaisinmaksuaika lyhenee.

**Kuva 19.** Takaisinmaksuaika SECA-alueella liikennöidyn osuuden mukaan.

Laaditut laskentatyökalut ja Word-dokumentit esitellään tämän työn liitteinä. Liitteissä 2 ja 3 kuvataan Wärtsilän closed loop -pesurin investointilaskelmat. Laskennan perustana käytetään vuosittaista polttoaineen kulutusta ja asennustavaksi valittiin integroitu järjestelmä. Open loop -pesurin investointilaskelmat ja economical study esitellään liitteissä 4 ja 5. Myös tässä esimerkissä laskennan perusteena käytetään aluksen vuosittaista polttoaineen kulutusta. Dokumentille tulostetaan sekä integroidun että main stream -asennuksen laskentatulokset. Esimerkki operointiprofiilin mukaisesta laskennasta kuvataan hybridipesurin investointilaskelmissa liitteissä 6 ja 7.

6.6 Tulosten vertailu

Edellä on kuvattu varsin laajasti erot eri pesurityyppien käyttökustannusten muodostumisessa, samalla luonnollisesti pesuri-investoinnilla saavutettavat säästöt käyttömenoissa vaihtelevat. Taulukossa 7 vertaillaan käyttömenojen säästöt, takaisinmaksuaika sekä sisäinen korkokanta eri pesurityypeille kulutuksen ollessa jokaisen pesurin tapauksessa sama. Vertailua tehdään 5000 ja 15000 tonnin vuosittaisella SECA-alueen polttoaineen kulutuksella. Hybridin osalta laskennan perusteena käytetään open loop -operointia 85 prosenttia ja closed loop -operointia 15 prosenttia ajasta.

Taulukko 7. Eri pesurityyppien kannattavuuslukujen vertailu.

	Open loop		Closed loop		Hybridi	
asennusvuosi	2015		2015		2015	
laskentakorko	8 %		8 %		8 %	
investointiaika	15 vuotta		15 vuotta		15 vuotta	
kokonaisteho	12 MW		12 MW		12 MW	
polttoaineen kulutus SECA-alueella /tonnia	5000	15000	5000	15000	5000	15000
säästöt käyttökustannuksissa (MGO-HFO 300 \$) 1000 €/vuosi	814	2483	661	2025	791	2415
investointikustannus, laitteisto + asennus	4 M€	4 M€	4 M€	4 M€	4 M€	4 M€
takaisinmaksuaika 300 \$ hintaerolla	6,5 v.	1,8 v.	8,6 v.	2,2 v.	6,7 v.	1,8 v.
sisäinen korkokanta	19 %	62 %	14 %	51 %	18 %	58 %

Mainittakoon, että investointikustannuksiin ei tässä vertailussa otettu tarkemmin kantaa. Vertailun tarkoituksena on havainnollistaa eri pesurityyppien käyttömenojen eroja ja tämän vuoksi investointikustannus asetettiin kaikille pesurityypeille samaksi. Investointikustannus on aina laivakohtainen ja riippuu pesurimallista, tarvittavista muutostöistä laivalla ja asennuksen laajuudesta. Tulosten mukaan suurimmat kustannussäästöt ja lyhyin takaisinmaksuaika saavutetaan open loop -pesurilla. Pisin takaisinmaksuaika puolestaan on closed loop -pesurilla. Hybridin käyttökustannukset muodostuvat open loop- ja closed loop -käyttöasteen mukaan. Pesurityypin valinnassa kustannusrakennetta tärkeämpi valintaperuste on kuitenkin aluksen liikennöintialue.

Laskennallisesti pesuri-investointia voidaan pitää kannattavana investointina myös vanhoihin laivoihin, jos takaisinmaksuaika on jäljellä olevaa aluksen elinikää lyhyempi. Esimerkissä jo 5000 tonnin vuosikulutuksella päästään investoinnin osalta 6-8 vuoden takaisinmaksuaikoihin. Kulutusmäärän kasvaessa takaisinmaksuaika lyhenee ja pesuri-investointi maksaa itsensä takaisin hyvinkin nopeasti, 15000 tonnin vuosikulutuksella esimerkin mukainen pesuri-investointi maksaa itsensä takaisin jopa alle 2 vuodessa.

Rikkipesurin jälkiasentamista on tutkittu mm. vuonna 2011 USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa (Reynolds). Sen perusteella laivoihin, joiden polttoaineen kulutus SECA-alueella on yli 4000 tonnia, kannattaa harkita rikkipesurin asentamista. /19/

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Meriliikenteen kaasuöljyn hinta on ja tulee olemaan korkeampi kuin nykyisessä käytössä olevan raskaan polttoöljyn hinta. MARPOL 73/78 -yleissopimuksen uudistetun ilmansuojeluliitteen astuessa voimaan vuonna 2015 lisääntyvän kevyen polttoöljyn kysynnän kasvun odotetaan heijastuvan hintoihin kasvattaen hintaeroa entisestään. SECA-valvonta-alueilla liikennöiville aluksille kevyen polttoöljyn käyttöönotto tulee aiheuttamaan merkittävän kustannusten nousun. Tämä koskee myös globaalia merenkulkua 0,5 prosentin rikkirajan astuessa voimaan vuonna 2020 tai 2025.

MARPOL 73/78 -yleissopimuksen VI liite kuitenkin mahdollistaa myös pakokaasujen jälkikäsitellyn vaihtoehtona matalarikkiselle polttoaineelle. Rikin pesu pakokaasuista onkin vaihtoehto, jonka mielekkyys kasvaa korkearikkisen ja matalarikkisen polttoaineen hintaeron kasvaessa.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä kehitetyt kannattavuuslaskentatyökalut ovat väline pesuri-investointien taloudellisen kannattavuuden arvioimiseen. Kannattavuuden arvioinnissa avaintekijöitä ovat aluksen polttoaineenkulutus rikkipäästöjen valvonta-alueilla sekä korkearikkisen ja matalarikkisen polttoaineen hintaero. Kannattavuutta arvioitaessa on laitteistokustannusten lisäksi kiinnitettävä huomiota asennuskustannuksiin, pesurijärjestelmän käyttökustannuksiin ja pesurin vieämään lastitilaan. Välillisten kustannusten arvioiminen, kuten menetetyt ansiot asennuksen aikana, voi olla vaikeaa ja on aina laivakohtaista. Myös laivan odotettavissa oleva jäljellä oleva elinikä vaikuttaa investoinnin mielekkyyteen. Laskennallisesti pesuri-investointia voidaan kuitenkin pitää kannattavana investointina myös vanhoihin laivoihin, jos takaisinmaksuaika on jäljellä olevaa aluksen elinikää lyhyempi.

Laskentatyökalujen yhdeksi päätavoitteeksi asetettiin investoinnin takaisinmaksuajan laskeminen. Muut tärkeät laskennan tuloksena saatavat mittarit ovat investoinnin nettonykyarvo ja investoinnin sisäinen korkokanta. Näin laskentaohjelma tuottaa nopeasti todenmukaista, rahan aika-arvon huomioivaa tietoa asiak-

kaan investointipäätöksen tekemisen tueksi. Laskennan tulosten esittämiseen kiinnitettiin erityistä huomiota – selkeät kaaviot tulkintaohjeineen havainnollistavat tulokset helposti ymmärrettäviksi. Lisäksi asiakkaalle toimitettavissa dokumenteissa kuvataan laskennan perusteet. Ohjelma tulostaa myös ennusteet takaisinmaksuajoista eri polttoaineen hintaeroilla ja SECA-alueella liikennöidyn osuuden muuttuessa – alushan voi pesuri-investoinnin jälkeen mahdollisesti saavuttaa aiivan uudenlaisen aseman markkinoilla parantuneen kilpailukyvyn myötä.

Mainittakoon vielä, että suomalaisten varustamoiden on mahdollista saada tukea alusten ympäristönsuojelua parantaville investointihankkeille. Investointituki laajeni 1.4.2013 kattamaan myös jo käytössä olevat alukset, joiden on mahdollista saada tukea teknisiin ratkaisuihin, joilla vähennetään polttoaineiden päästöjä. EU:n hyväksymän tukiohjelman puitteissa rikkipesureiden jälkiasennuksia voidaan tukea siten, että valtion tukiosuus on maksimissaan 50 prosenttia. Vuoden 2013 valtion budjetissa tähän on varattu 30 miljoonaa euroa. Tuen myöntää liikenne- ja viestintäministeriö /1/. Vastaavia kansallisia tukijärjestelmiä löytynee myös Suomen rajojen ulkopuolelta. Jatkotutkimuksena tälle työlle voitaisiin selvittää kansallisten ympäristöinvestointitukien saatavuutta ja myöntämisperusteita sekä tuen vaikutusta varustamoiden pesuri-investointien kannattavuuteen.

LÄHTEET

- /1/ Alusten investointituesta helpotusta rikkipäästörajoihin sopeutumiseen. 2013. Liikenne- ja viestintäministeriö. Tiedotteet. Viitattu 27.10.2013. <http://www.lvm.fi/tiedote/4142361/alusten-investointituesta-helpotusta-rikkipaastorajoihin-sopeutumiseen>
- /2/ Aulio, K. 2012. Laivojen rikkipäästöjen kiristysmääräykset läpi EU:n päättävissä elimissä. Viitattu 2.9.2013. <http://tiedebasaari.wordpress.com/2012/06/03/laivojen-rikkipaastojen-kiristysmaaraykset-lapi-eun-paattavissa-elimissa/>
- /3/ Couple Systems. 2010. DryEGCS® Process. Viitattu 28.9.2013. <http://www.egcsa.com/pdfs/Couple-Systems-EGCS-SMM-Workshop-2010.pdf>
- /4/ EGCSA. 2012. A practical guide to exhaust gas cleaning systems for maritime industry. Exhaust Gas Cleaning Systems Association.
- /5/ Energiateollisuus ry. Happamoituminen. Viitattu 5.10.2013 <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/happamoituminen>
- /6/ Environmental Ship Index ESI. Viitattu 12.10.2013. <http://esi.wpci.nl/Public/Home/>
- /7/ Huhtinen, M. 2006. Raskaan polttoöljyn käyttöopas. Neste Oil Oyj. Espoo. Savion Kirjapaino Oy.
- /8/ Häkkinen, P. 2010. Kuljetusvälineiden voimalaitteet. Luentomateriaali Aalto-yliopiston Noppa-portaali. Kuljetusvälineiden voimalaitteet. Viitattu 12.10.2013. <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.3000/luennot>
- /9/ International Maritime organization. Brief history of IMO. Viitattu 5.9.2013. Saatavissa: <http://www.imo.org/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>
- /10/ International Maritime organization. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). Viitattu 5.9.2013. [http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- /11/ International Maritime organization. North American emission control area comes into effect on 1 August 2012. Viitattu 10.9.2013. <http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/Pages/28-eca.aspx>

- /12/ International Maritime Organization. Prevention of Air Pollution from Ships. Viitattu 5.9.2013.
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>
- /13/ Kalli, J. 2012. Päivitys: Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015. Selvitys IMO:n uusien määräysten vaikutuksesta kuljetuskustannuksiin. Liikenne- ja viestintäministeriö 18.12.2012. Viitattu 8.9.2013. http://www.lvm.fi/docs/fi/1986559_DLFE-18565.pdf
- /14/ Kalli, J., Karvonen, T. & Makkonen, T. 2009. Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015 – Selvitys IMO:n uusien määräysten vaikutuksesta kuljetuskustannuksiin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 20/2009. Viitattu 8.9.2013.
http://www.lvm.fi/docs/fi/339549_DLFE-7317.pdf
- /15/ Koneiston apujärjestelmät. Luentomateriaali Aalto-yliopiston Noppa-portaali. Laivan konejärjestelmät. Viitattu 12.10.2013.
<https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.4410/materiaali>
- /16/ L 29.12.2009/1672. Merenkulun ympäristönsuojelulaki. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 9.9.2013.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091672>
- /17/ Mitsubishi Auxiliary Boiler: MAC-B. 2007. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Viitattu 13.10.2013.
http://www.mhi.co.jp/en/products/pdf/pr_aux%20boiler.pdf
- /18/ Neilimo Kari, Uusi-Rauva Erkki. 2010. Johdon laskentatoimi. Helsinki. Edita.
- /19/ Niskanen Jyrki, Niskanen Mervi. 2013. Yritysrahoitus. Helsinki. Edita.
- /20/ Reynolds, K.J. (2011). Exhaust gas cleaning systems selection guide. Ship operations cooperative programs. The Glosten Associates. 22.2.2011. USA.
http://www.marad.dot.gov/documents/Exhaust_Gas_Cleaning_Systems_Guide.PDF
- /21/ TEM raportteja 14/2013. Rikkisäätelyyn sopeutuminen -työryhmän mietintö 5.3.2013 Helsinki. Viitattu 11.9.2013.
http://www.tem.fi/files/36067/TEMrap_14_2013.pdf
- /22/ VNA 28.1.2010/76. Valtioneuvoston asetus merenkulun ympäristönsuojelusta. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 9.9.2013. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20100076>

- /23/ Wärtsilä. 2013. Wärtsilä Exhaust Cleaning System. Letnes M., Power Point –esitys 18.6.2013.
- /24/ Wärtsilä Finland Oy. 2011. Wärtsilä Scrubber Installation Guide. Revision B 28.12.2011.
- /25/ Wärtsilä Finland Oy. 2013. Wärtsilä Scrubber Product Guide. Revision C 20.9.2013.
- /26/ Wärtsilä SO_x scrubbers. Power Point –esitys 12.11.2012.
- /27/ Wärtsilä flowdiagrams. Power Point –esitys April 2013.
- /28/ Wärtsilä 2013. Wärtsilä Oyj Abp vuosikertomus 2012. Viitattu 20.9.2013. <https://wartsila-re-ports.studio.crasman.fi/file/dl/i/UjR6nQ/QsqEprb0aUJQm7paENyzzg/Wartsilavuosikertomus2012.pdf>



Wärtsilä Scrubber Questionnaire

Open/Closed/Hybrid

Red cells indicate the minimum required data. The more data, the less iterations will be needed to produce the proposal.
Yellow cells indicate preferred data, if available.

Basic data

Customer name	
Project type	
Related operator / owner	
Vessel type	
Vessel size	
IMO no. / vessel name	
Vessel class / flag state	
Ship operating area and route	

Commercial Details

Number of vessels			
First delivery of equipment / schedule		/	Months

Operating modes (sea, port...) <i>Example: at sea (full speed)</i>	Annual running hours <i>e.g. 2500 h</i>	ME <i>e.g. 1 x 90%</i>	AE <i>e.g. 2 x 70%</i>	OFB
1. Sea going				
2. Manoeuvring				
3. In port				
4. Other				

Additional Ship Information

Funnel deck height (scrubber position) from keel (m)	
Approximate operating draft (m)	
Number of funnels (one funnel can include several exhaust gas pipes) (pcs)	
Freshwater production capacity (m ³ /day)	
Freshwater chloride content (bunkered/produced onboard) (ppm)	
Preferred NaOH bunkering interval (e.g. similar to fuel bunkering) (weeks)	
Sea chest capacity (m ³ /h)	
Intended docking schedule	

Machinery data		
Main Engine(s)		
Make and type		Exhaust Gas Boiler(s) <input type="checkbox"/>
2-stroke or 4-stroke		Variable speed <input type="checkbox"/> Constant speed <input type="checkbox"/>
Number of engines		
Power (kW)		
Shaft generator power, if applicable (kW)		
Fuel type and sulphur content		
Total ME fuel consumption (ton/year)		
Engine load (%)	100	
Exhaust Gas (EG) flow (kg/s)		
EG temperature after EG boiler, if applicable (°C)		
Measured EG back pressure (bar)		
Auxiliary engine		
Make and type		Exhaust Gas Boiler(s)
Number of engines		
Power (kW)		
Fuel type and sulphur content		
Total AE fuel consumption (ton/year)		
Engine load (%)	100	
Exhaust Gas (EG) flow (kg/s)		
EG temperature after EG boiler, if applicable (°C)		
Measured EG back pressure (bar)		
Oil-Fired Boiler(s)		
Make and type		
Number of boilers		
Capacity (kW or ton/h)		
Fuel type and sulphur content		
Total OFB fuel consumption (ton/year)		
Boiler load (%)	100	
Exhaust Gas (EG) flow (kg/s)		
Measured EG back pressure (bar)		
Dimensioning exhaust gas mass flow to scrubber (kg/s)		

CLOSED LOOP

Basic data	
Date:	8.11.2013
Prepared by:	Your name
Name of the vessel:	Vessel name
Ship owner:	Owner name

Scrubber details		
Fan(s) required	select (yes or no)	Yes
Main engine(s)	scrubber dimensioning, % of engine power	100
Auxiliary engine(s)	scrubber dimensioning, % of engine power	100
Oil fired boiler(s)	scrubber dimensioning, % of engine power	100

ENGINE DETAILS / OPERATIONAL PROFILE					
MAIN ENGINE(S)		AUXILIARY ENGINE(S)		OIL FIRED BOILERS	
SFOC (g/kWh)	190	SFOC (g/kWh)	220	Fuel oil consumption (g/kWh)	120
Engine power (kW)	10000	Engine power (kW)	1000	Boiler capacity	10
Number of engines	1	Number of engines	2	Number of boilers	1
Total power (kW)	10000	Total power (kW)	2000	Total capacity (kW)	4074
BASIS OF CALCULATION	Annual fuel oil consumption based calculation		←Select		
Annual fuel consumption (ton)	10000	Annual fuel consumption (ton)	1000	Annual fuel consumption (ton)	2000
In SECA (%)	70	In SECA (%)	70	In SECA (%)	70
Annual fuel consumption without EGCS	10000	Annual fuel consumption without EGCS	1000	Annual fuel consumption without EGCS	2000
SECA (ton)	7000	SECA (ton)	700	SECA (ton)	1400
non-SECA (ton)	3000	non-SECA (ton)	300	non-SECA (ton)	600
Annual fuel consumption with EGCS	10070	Annual fuel consumption with EGCS	1007	Annual fuel consumption with EGCS	2014
SECA (ton)	7070	SECA (ton)	707	SECA (ton)	1414
non-SECA (ton)	3000	non-SECA (ton)	300	non-SECA (ton)	600

FUEL					
Price of HFO (\$/ton):	600	← Update e.g. from:	www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/	-	
Price of HFO (€/ton):	447				
Price of MGO (\$/ton):	900	← Update e.g. from:	www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/	-	
Price of MGO (€/ton):	671				
Price difference (MGO-HFO) (\$/ton):	300				
Heat value of HFO (kJ/kg):	40500				
Heat value of MGO (kJ/kg):	42700				
HFO sulphur content (%):	3,5	default 3,5			
Exchange rate USD/EUR:	1,34	Automatically updated			
EGCS Operational expenditure (OPEX)					
MAIN ENGINE(S)		AUXILIARY ENGINE(S)		OIL FIRED BOILERS	
Freshwater consumption (m ³ /a):	6 326	Freshwater consumption (m ³):	546	Freshwater consumption (m ³):	2 003
Freshwater price (€/m ³):	3	Freshwater price (€/m ³):	3	Freshwater price (€/m ³):	3
Freshwater cost (€/a):	18 977	Freshwater cost (€):	1 639	Freshwater cost (€):	6 010
NaOH consumption (m ³ /a):	633	NaOH consumption (m ³):	55	NaOH consumption (m ³):	200
Price of 50 % NaOH (€/m ³):	318	Price of 50 % NaOH (€/m ³):	318	Price of 50 % NaOH (€/m ³):	318
NaOH cost (€/a):	201 160	NaOH cost (€):	17 373	NaOH cost (€):	63 701
BOTU chemicals cost (€/a):	14 549	BOTU chemicals cost (€/a):	1 257	BOTU chemicals cost (€/a):	4 607
Sludge disposal cost (€/a):	16 745	Sludge disposal cost (€/a):	1 446	Sludge disposal cost (€/a):	5 303
Lube oil cost (€/a):	13 263	Lube oil cost (€/a):	1 145	Lube oil cost (€/a):	4 200
Engine maintenance cost (€/a):	70 737	Engine maintenance cost (€/a):	6 109	Boiler maintenance cost (€/a):	0
EGCS maintenance cost (€/a):	20 000	1 % of equipment investment cost			
Man power cost (€/a):	0				
Loss in cargo space (€/a):	0				
Environmental incentives (€/a):	0	e.g. discount on the seaport dues on the basis of ESI-score http://esi.wpci.nl/Public/Home/AboutESI			

EGCS Investment (CAPEX)	
Investment cost, equipment (€), integrated scrubber	2 000 000
Investment cost, installation (€), integrated scrubber	2 000 000
Revenue loss due to installation time (€):	0
Integrated scrubber investment cost, TOTAL (€):	4 000 000

Scrubber installation year	2015
Estimated vessel lifetime left (years)	15

Discount rate %	8
------------------------	---

Cost of capital. If not mentioned, use e.g. 8 %

MGO conversion required	No	MGO conversion required	No	MGO conversion required	No
MGO conversion (fully in MGO operation)		Fuel switch capability (MGO in SECA)		MGO conversion (fully in MGO operation)	
MGO conversion cost	0	MGO conversion cost	0	MGO conversion cost	0

WÄRTSILÄ CLOSED LOOP SCRUBBER

Wärtsilä Closed Loop Scrubber Economical Study

For

Owner name

“Vessel name”

Wärtsilä Finland Oy

1 Introduction

The purpose of this study is to present preliminary operating and investment cost calculations with exhaust gas scrubber system, and also give an indication of payback times and profitability of the investment. In case more detailed price is requested for the system and installation, an onboard survey to the vessel is needed.

It is acknowledged that there are different solutions to comply with the IMO's sulphur regulations. The different alternatives with their pros and cons are listed in Table 1.

Table 1. Different measures to comply with IMO's sulphur requirements.

Method / Solution	Advantage	Disadvantage
FUEL SWITCH Switch to low sulphur fuel in SECA	Flexible Small investment	High operating cost in SECA Fuel change over procedures Lube oil TBN management Fuel availability?
CHANGE TO MGO Run full time on Marine Gas Oil (MGO)	Convenient No change over	High operating cost Future availability
CONVERT TO LNG Convert engines to run on gas (LNG)	A solution which also reduces NO ₂ and particulates	High investment cost LNG availability (lacking gas distribution infrastructure)
USE SCRUBBERS Install an exhaust gas cleaning system (scrubber)	Works with high S HFO Lowest total lifecycle cost Use everywhere Easy operation	ROI depends on fuel price difference between low S fuel oil and high S HFO

Cold ironing (shoreside power) is only possible at berth and as such not a clear alternative for vessels operating in SO_x emission control areas.

This study will concentrate on comparing scrubber installation & operation with MGO operation according to the annual fuel oil consumption.

2 General

The Wärtsilä closed loop scrubber is a freshwater and alkali (NaOH) based exhaust gas scrubber, designed to remove SOx from the exhaust gas stream. As the name indicates, this is a closed loop system, which means that the scrubbing water is recirculated, instead of using a continuous water flow. Fresh water is used as scrubbing water and caustic soda (NaOH) is added to get the required alkalinity to neutralize the SOx. This means that the scrubber performance is not affected by the alkalinity in the seawater. The Wärtsilä closed loop scrubber technology is unique on the market today, and enables Wärtsilä to offer scrubber solutions for vessels operating full time in low alkalinity areas. Closed loop system can also have zero discharge of effluent for a limited period of time e.g. in sensitive area, if required.

All Wärtsilä scrubber technologies are certified in accordance with IMO Resolution MEPC.184(59), Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems. A schematic drawing of the Wärtsilä closed loop scrubber is shown in Figure 1.

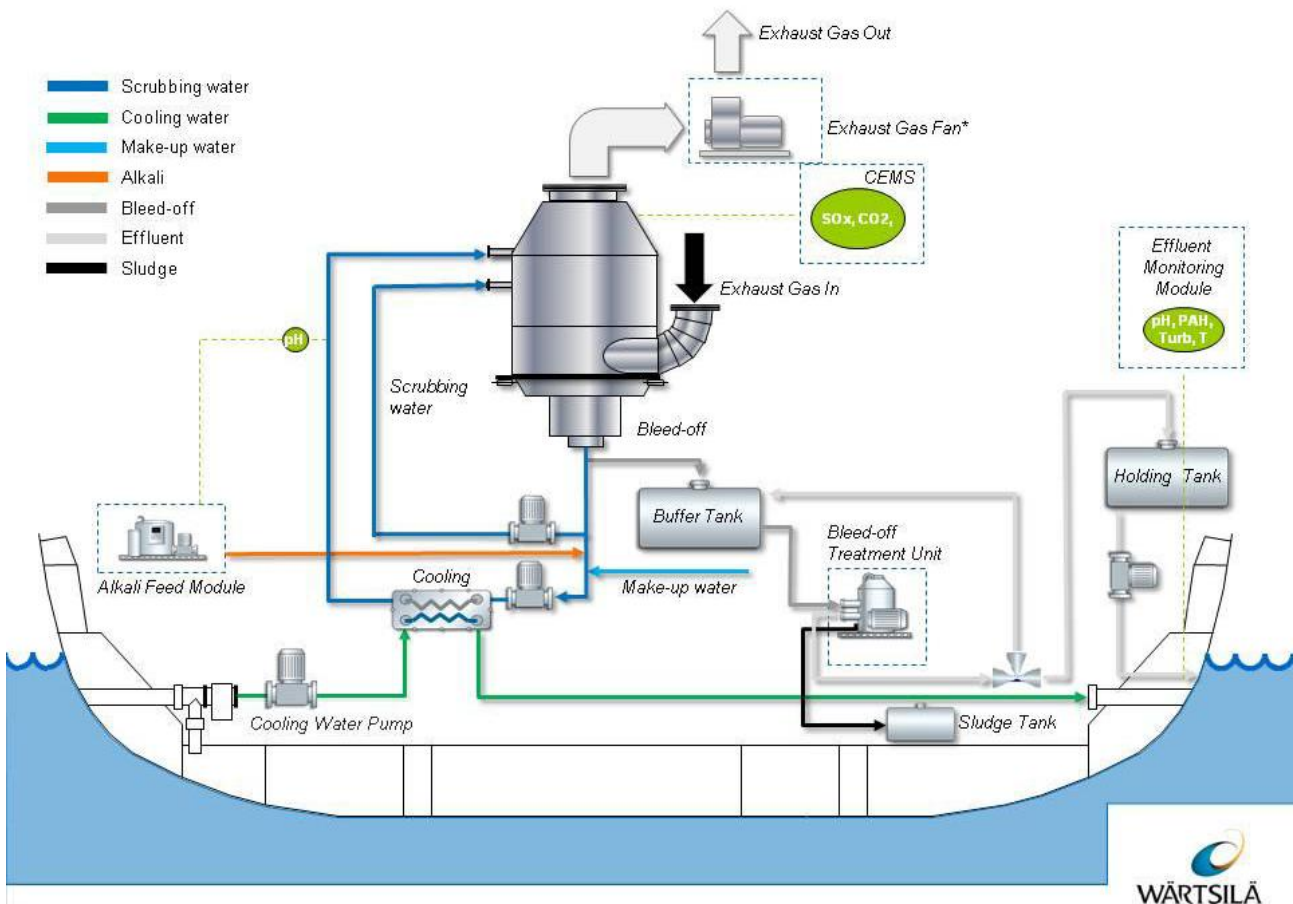


Figure 1. Closed loop scrubber system principle diagram

In order to make the feasibility study, certain information about the installation is required. This basic ship information used in the study for the calculations is presented in Table 2. The annual fuel oil consumption is based on reported or according to the operational profile calculated fuel oil consumption. Scrubber sizing is based on the maximum combined gas flow from the combustion units. Sizing the scrubber for lower gas flow can decrease the investment cost.

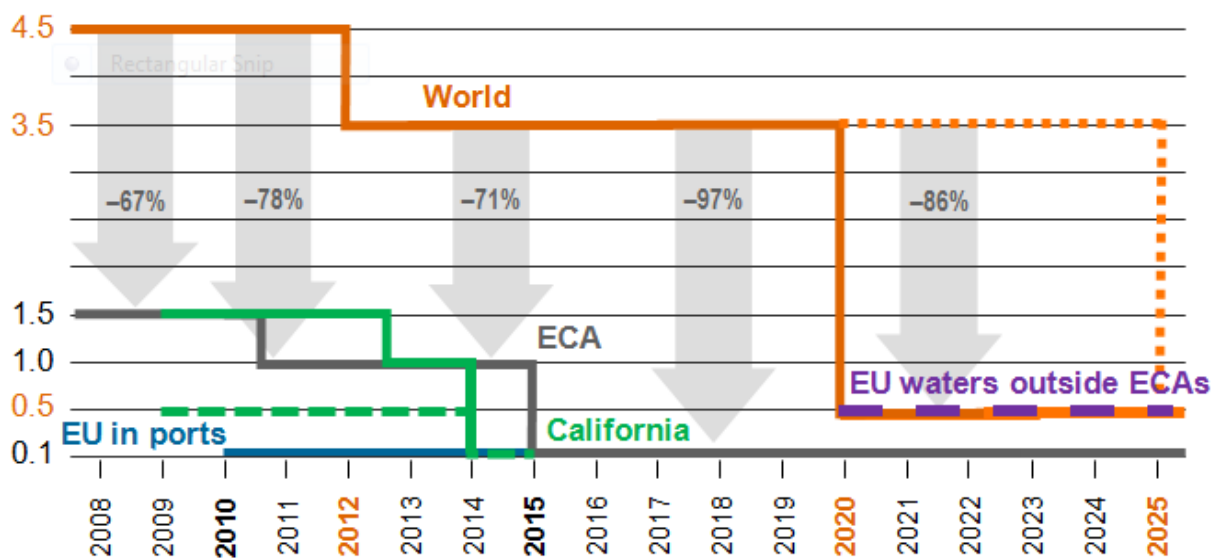
Table 2. Vessel data

Name of the vessel:	Vessel name	
Total main engine power:	10 000	kW
Annual fuel consumption Main Engines:	10 000	ton
Annual fuel consumption Auxiliary Engines:	1 000	ton
Annual fuel consumption Oil Fired Boilers:	2 000	ton

3 Fuel sulphur limits

The following figure presents the sulphur limits set by IMO, EU and California Air Resources Board (CARB). IMO regulations contain global sulphur limits and SO_x Emission Control Areas (ECA) with more stringent criteria.

Sulphur limit (%)



Review of the 0.5% S global limit to be performed in 2018. In case readiness is not deemed to be sufficient by 2020, the introduction of the limit will be postponed to 2025.

- Fuel type** Not regulated = both HFO and distillate are permitted
- Exhaust gas cleaning** Permitted alternative under Regulation 4 to achieve any regulated limit
- Particulate Matter (PM)** No limit values.

Figure 2. Marine fuel oil sulphur limits

Currently, there are three designated IMO Emission Control Areas (ECAs) in effect globally. In EU-area the Emission Control Area (SO_x) contains the Baltic Sea, English Channel and parts of the North Sea. The North American ECA (SO_x , NO_x) encompasses most of the United States and Canada's coastal waters out to 200 nautical miles from the coastline. It includes also the eight main Hawaiian Islands. These existing ECAs are marked with dark grey in Figure 3.

A fourth area, the United States Caribbean Sea ECA, covering certain waters adjacent to the coast of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, will come into force on January 1st 2014.

In addition, there are several areas where ECAs have been investigated and hence could be designated in the future. These areas are shown in Figure 3 with light orange. As can be seen, the potential future ECAs coincide with the major shipping routes (shown in blue).

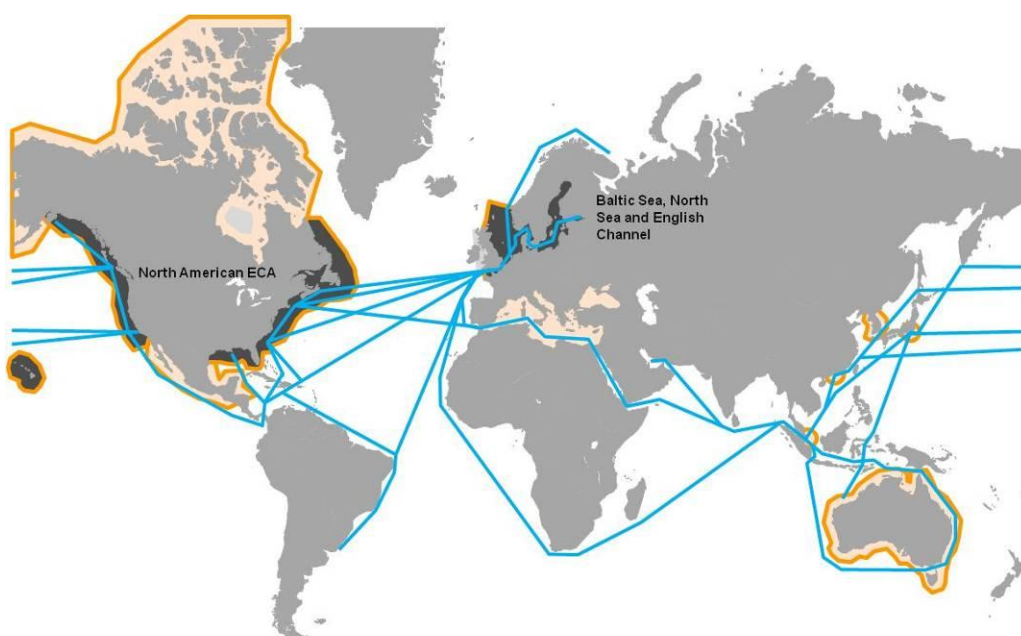


Figure 3. Current (dark grey) and envisaged (light orange) ECAs, and major shipping routes (blue).

Current maximum fuel sulphur limit in SO_x Emission Control Areas is 1.0 %. The sulphur limit in SO_x ECA will be further tightened to 0.1 % on 1st January 2015. The fuel sulphur limit in EU ports is already 0.1% for vessels at berth for more than two hours and not using shore power.

In this study the consumptions and operating costs are based on;

- 3,5 % sulphur Heavy Fuel Oil
- 0.1 % sulphur Marine Gas Oil (in case compliance is reached by low sulphur fuel)
- Fuel oil consumed in Emission Control Areas

The scrubber system sizing is based on 3.5 % sulphur fuel oil as a standard. Hence, the scrubber is designed to clean SO_x from HFO containing 3.5% sulphur to correspond to SO_x equivalent of 0.1% sulphur in fuel.

4 Alternatives for comparison

4.1 Integrated scrubber

Integrated scrubber is based on one unit that cleans the exhaust gases from all the 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. A schematic drawing presenting the integrated scrubber concept is shown in Figure 4. Please note that possible silencer(s), exhaust gas boiler(s) or SCR(s) shown in the picture are not part of the scope of this study.

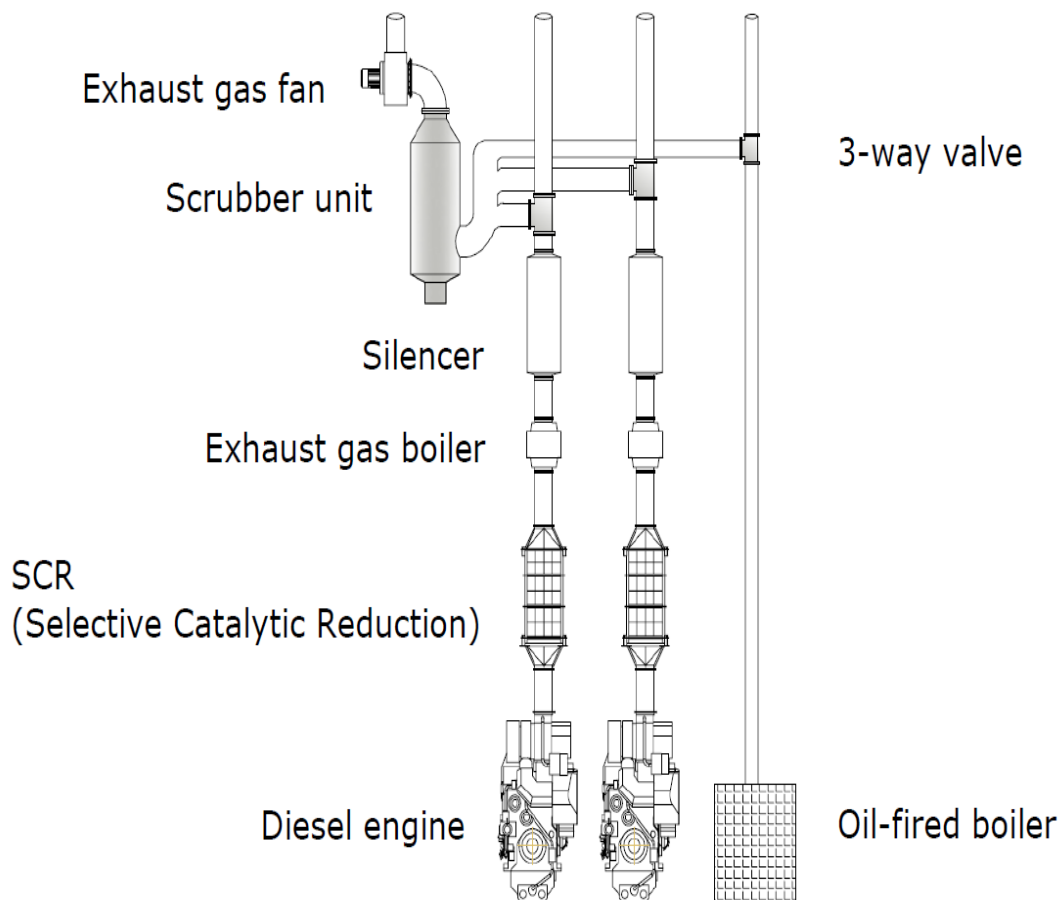
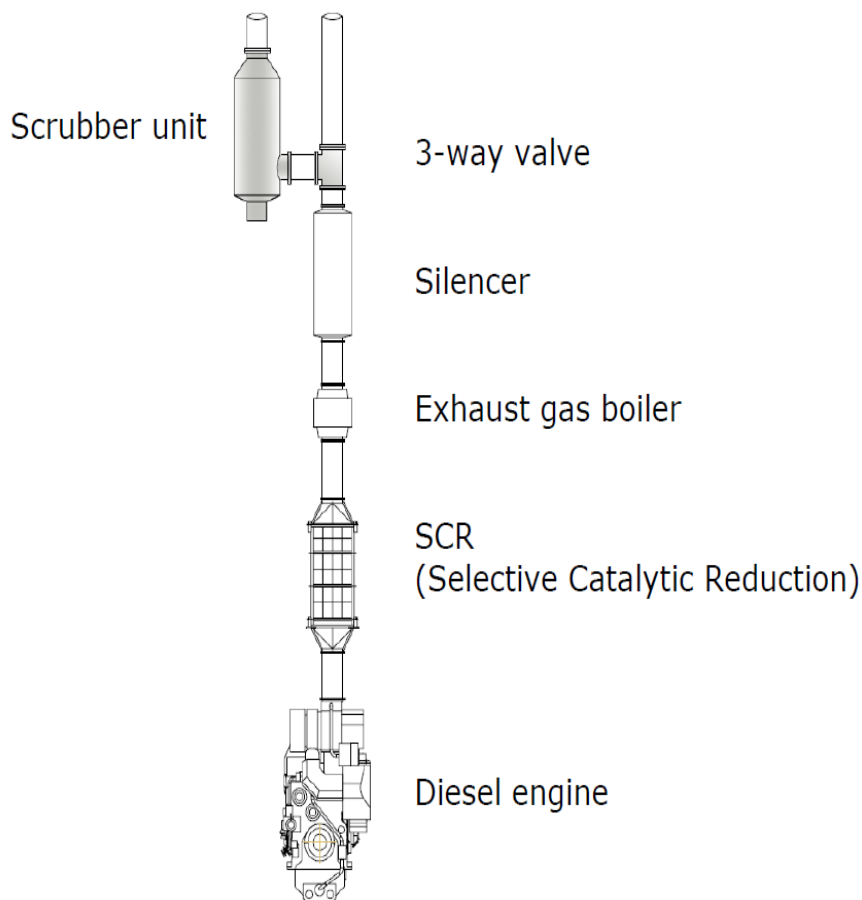


Figure 4. Schematic drawing of the integrated scrubber.

4.2 Main stream scrubber

Main stream scrub



ber alternative is based on a unit that cleans the exhaust gases from an individual engine to comply with the limits. Each engine is equipped with a dedicated scrubber. In case only the main engine is equipped with a scrubber and operating with high sulphur HFO, the auxiliary engines and oil-fired boilers use MGO to reach compliance. A schematic drawing presenting the main stream scrubber concept is shown in Figure 5. Please note that possible silencer(s), exhaust gas boiler(s) or SCR(s) shown in the picture are not part of the scope of this study.

Figure 5. Schematic drawing of the main stream scrubber.

4.3 Compliance by fuel (running on MGO)

In this alternative the compliance is reached through the use of MGO, i.e., there is no scrubber. In case the vessel operates in and out of SECA, MGO is only used inside SECA, whereas high sulphur HFO is used outside SECA.

5 Investment and operating cost

5.1 Investment cost

The investment cost calculation is based on the following:

- Scrubber equipment
 - consisting of all the required equipment for SO_x scrubber system transported to 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.
- Revenue loss due to the installation time
 - according to customer's statement.

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

5.2 Operating cost

The actual operating cost depends on the time the Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) is in operation, i.e. time spent in SECA. The annual variable operating costs consist of:

- Fuel costs
- Freshwater costs
- NaOH costs
- Bleed-off treatment costs
- Sludge disposal costs
- HFO operation related additional engine maintenance costs (if any) and
- HFO operation related additional lube oil cost.

In addition to the variable operational costs, there may be fixed costs associated with the scrubber:

- EGCS maintenance cost
- Man power cost
- Possible revenue loss due to smaller cargo or passenger capacity.

Prospective environmental incentives might reduce the operational costs. More information about environmental incentives can be found e.g. on website www.esi.wpci.nl/.

Consumptions of fuel, NaOH and freshwater

Fuel oil, NaOH and freshwater consumptions have been calculated to match the given or calculated fuel oil consumption and the vessel data in Table 2. The results are shown in Figure 6.

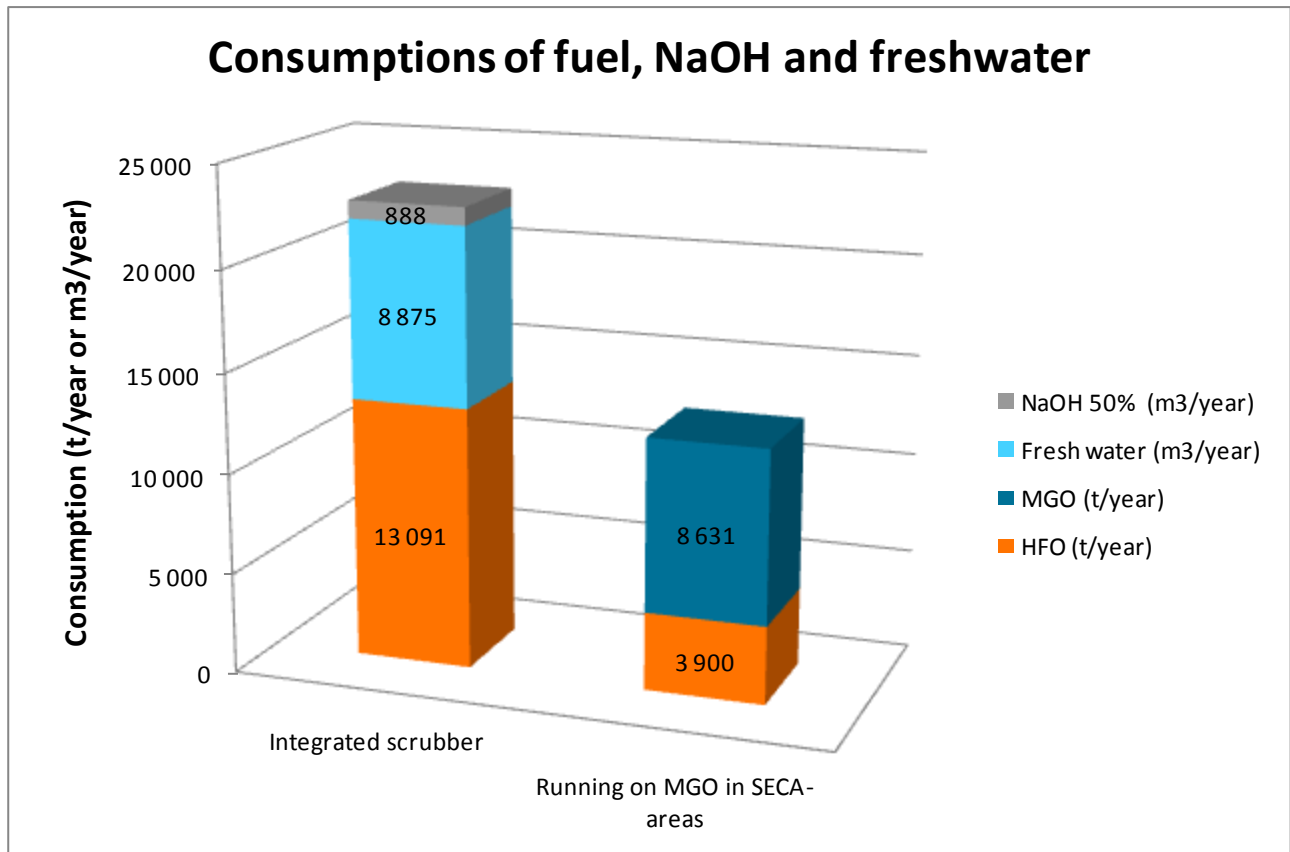


Figure 6. Annual consumptions of fuel, NaOH and freshwater.

The annual fuel oil consumption of the scrubber alternative is slightly higher due to the additional energy consumption of the scrubber system and the higher heat value of MGO compared to HFO. The power demand of Wärtsilä closed loop scrubber in normal conditions varies between 0.4 – 0.6 % of the engine power. The power consumption is lower in colder sea water temperatures than in tropical conditions. The power demand of the integrated closed loop scrubber with an exhaust gas fan increases towards top ship speeds to around maximum of 1 %. In this study a figure of 1,0 % has been applied.

NaOH consumption depends on the concentration of the solution, fuel oil consumption and fuel oil sulphur content. In this study the fuel oil sulphur content is assumed to be 3,5 %.

Freshwater is needed to compensate scrubbing water evaporation losses and extracted bleed-off. As a rule of thumb the freshwater consumption can be estimated to be 50 litres/MWh per fuel S %.

Prices applied in the study and cost comparison for the alternatives

Table 3 presents the prices that have been used in this study to calculate the operating costs. The freshwater is assumed to be bunkered from port. If the freshwater for scrubber is produced on board by vessel's own fresh water generator, the cost will be lower.

Figure 7 shows the annual operating costs for the alternatives.

Table 3. Prices and exchange rate applied in the study

Exchange rate:	1,34	\$/€
Price of HFO:	600	\$/ton
Price of MGO:	900	\$/ton
Price difference between HFO - MGO:	300	\$/ton
Price difference between HFO - MGO:	50	%
Price of 50% NaOH:	318	€/m ³
Fresh water price:	3	€/m ³
Bleed-off treatment chemicals cost:	2-6	€/l, variation due to difference between chemicals
Sludge disposal cost:	150	€/ton
Lube oil cost:	1 800	€/ton
Additional engine maintenance cost when operating with HFO:	1,9	€/MWh
EGCS maintenance cost:	1	% of equipment investment cost
Man power cost:	0	€/a

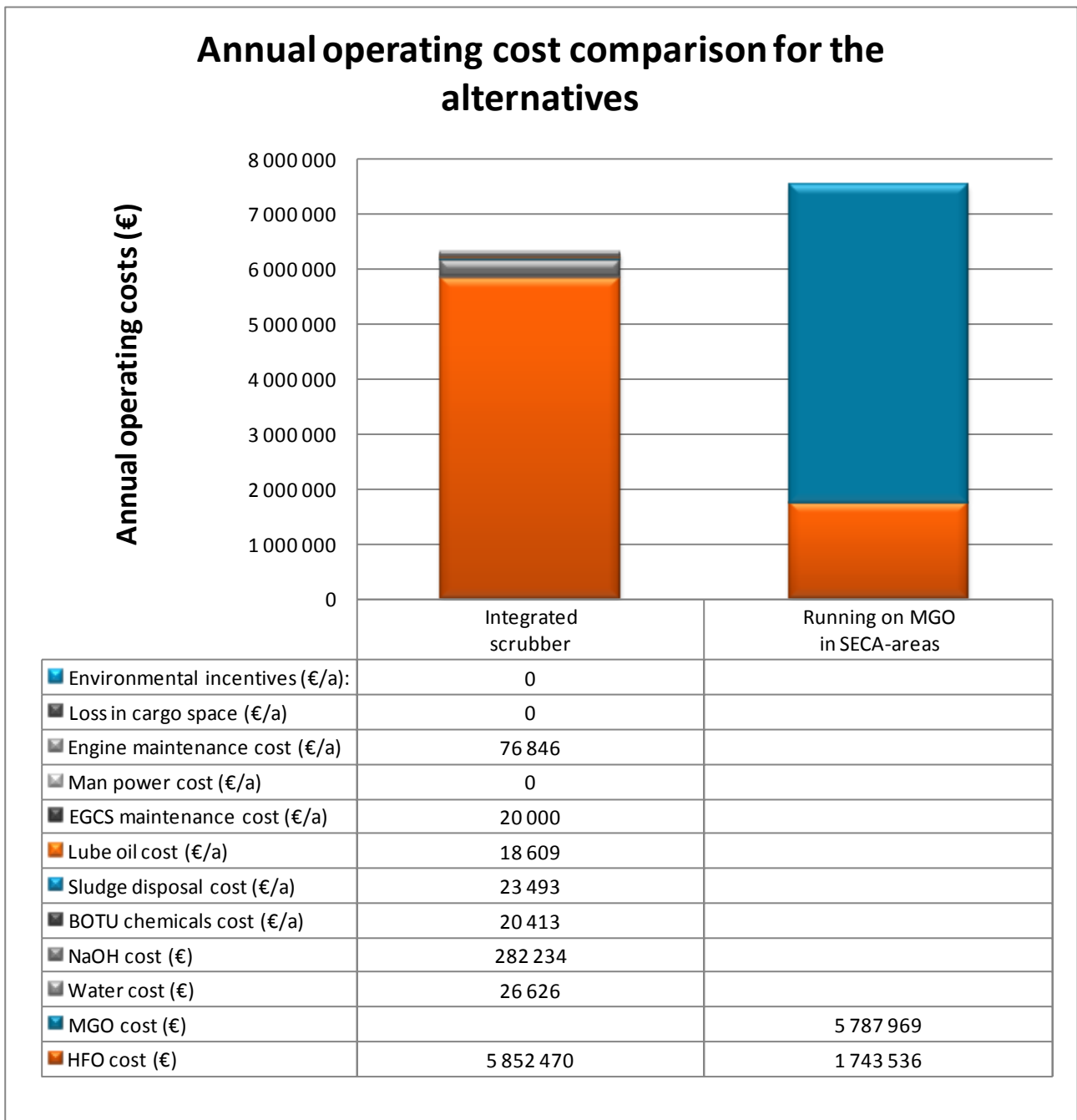


Figure 7. Annual operating cost comparison for the alternatives.

6 Sensitivity analyses

6.1 Operating cost savings and the payback time

Fuel price difference between HFO and MGO is the key factor in this study. Change in price difference affects directly the operating costs and payback time. To indicate this effect, Figure 8 shows the annual operating cost savings and the payback time of the scrubber installation versus the fuel price difference.

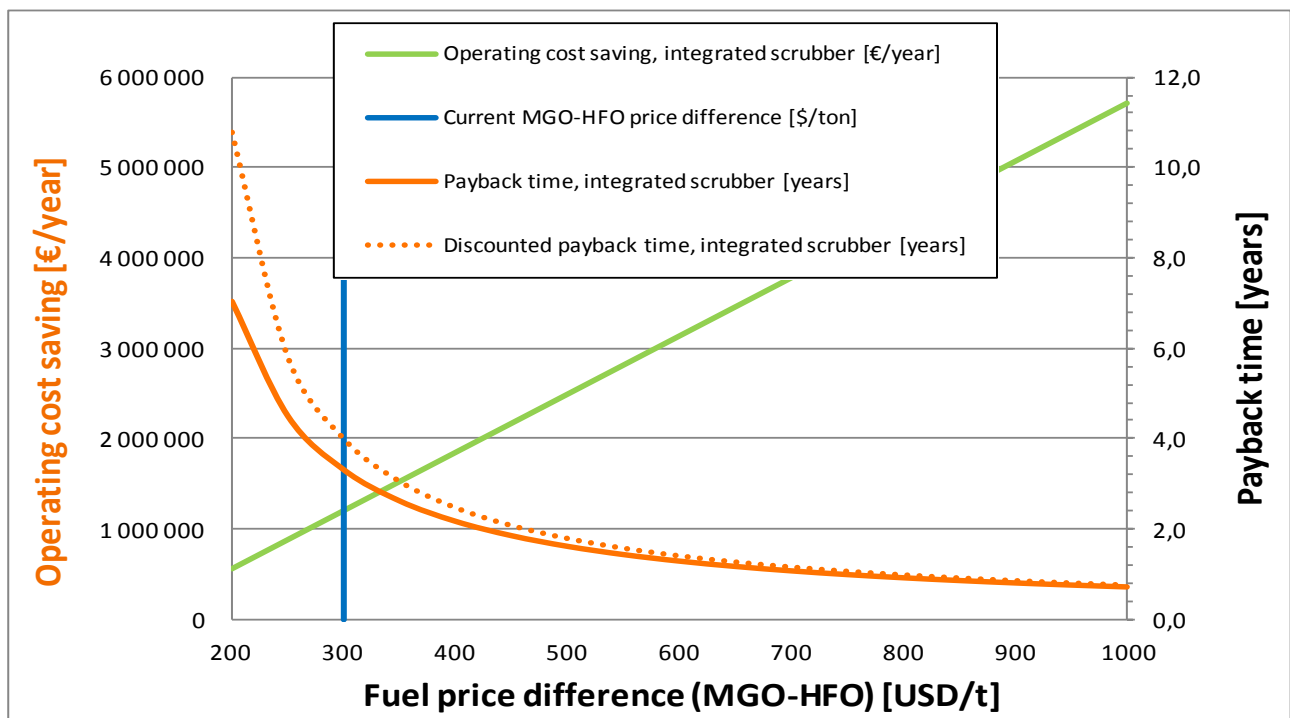


Figure 8. Operating cost savings and the payback time versus the fuel price difference.

6.2 Operational cost comparison

The comparison of Operational Expenditures (OPEX) of the alternatives is presented in Figure 9. In calculation the fuel prices follow 2 % annual increase according to the average inflation rate in euro-area. Calculation does not include the initial investment.

The global sulphur limit will be tightened to 0.5 % in 2020 or latest in 2025. If the compliance is reached through the use of MGO, it is expected that the fuel costs will increase remarkably after 2020/2025.

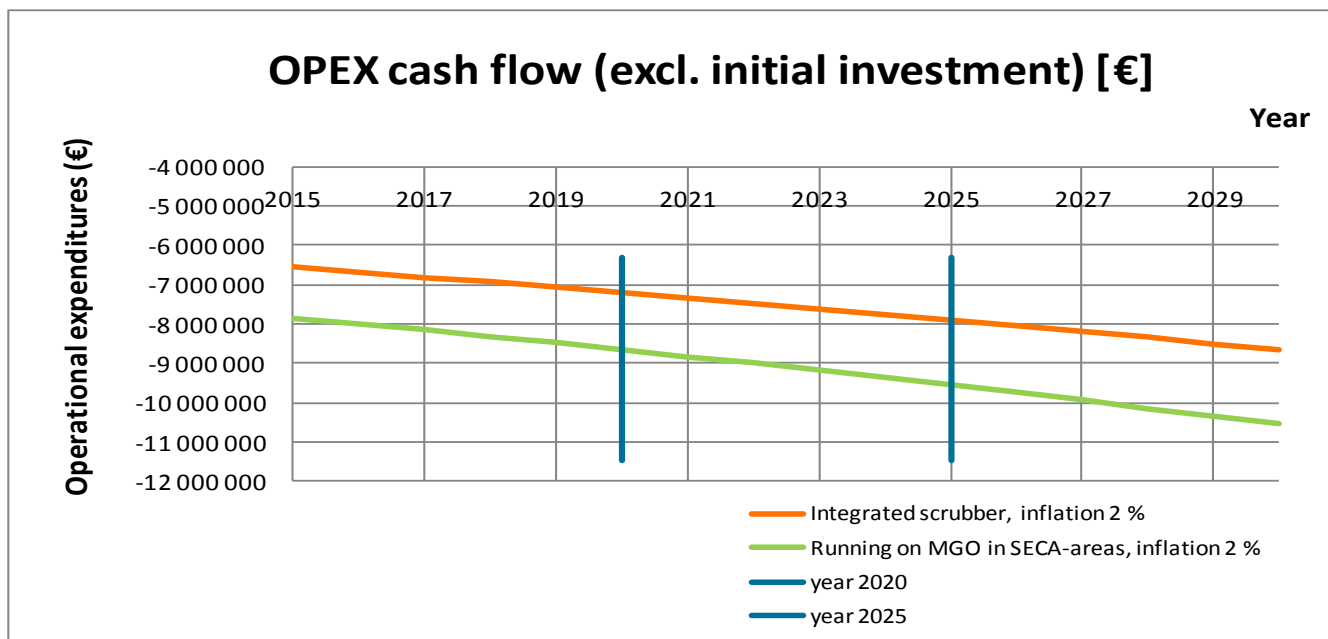


Figure 9. Comparison of operational expenditures (OPEX).

6.3 Net Present Value

Net Present Value (NPV) shows the current value of the investment. NPV is demonstrated in Figure 10. The alternative running on MGO represents the value of zero and the net present value of the scrubber investment is shown compared to that. If NPV is positive, it implies that the expected return is higher than the required return, and the investment can be considered to be viable. The investment period is equal to estimated vessel lifetime left (specified in Table 4).

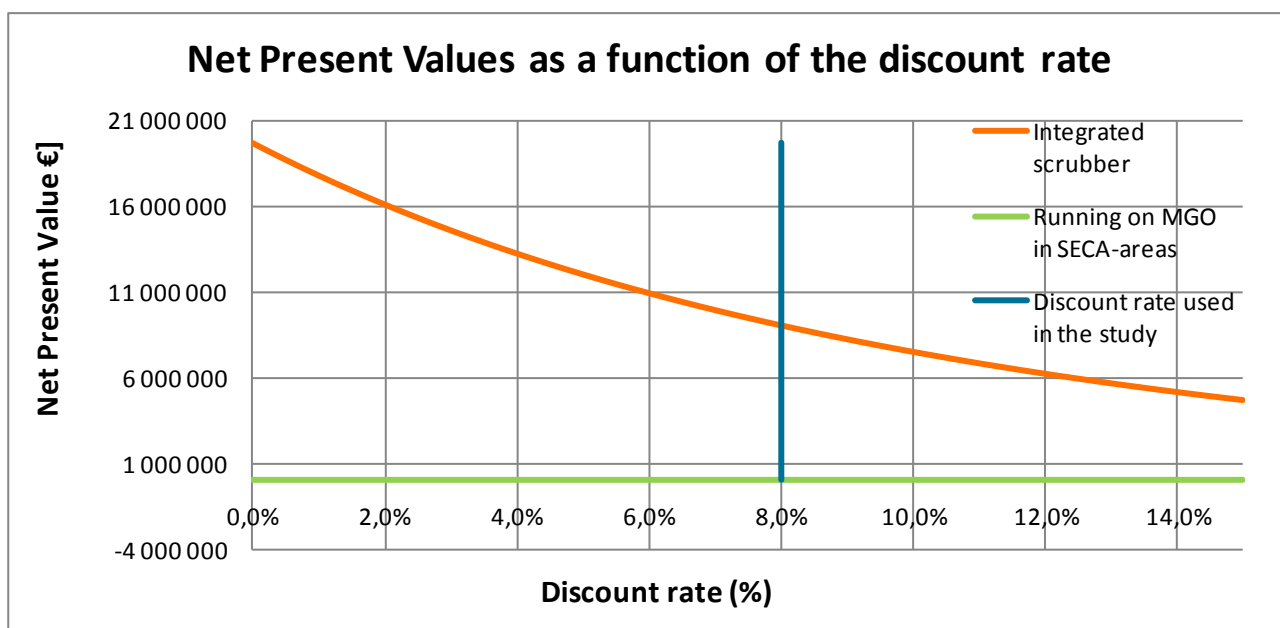


Figure 10. Net Present Value as a function of the discount rate

6.4 Discounted cumulative cash-flow

Discounted cash flow (DCF) analysis is the process of calculating the present value of an investment's future cash flows in order to arrive at a current fair value estimate for the investment.

DCF-analysis is represented in Figure 11. Year 0 figures the year of installation. Positive discounted cash flows (cost savings by using the scrubber compared to running on MGO) are added each year. Payback period is located at the point, where the present value of future cash flows becomes positive (intersection of x-axis).

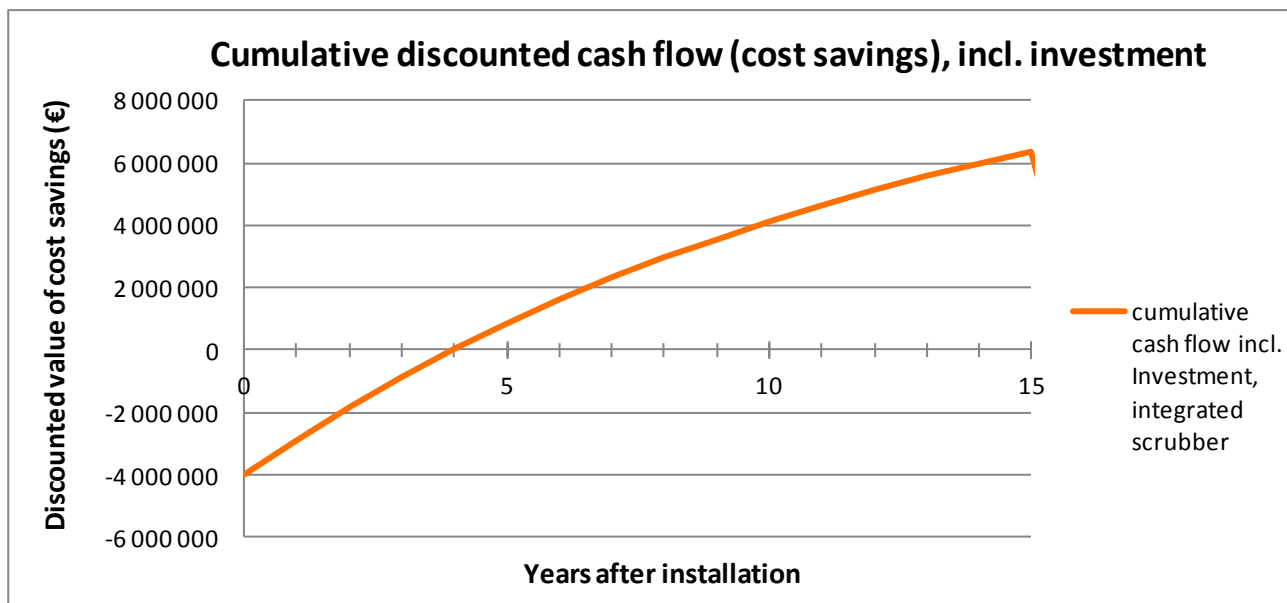


Figure 11. Cumulative discounted cash flow.

The investment period (the estimated vessel lifetime left) and the return on investment (discount rate) are specified in Table 4. Note that the calculation does not take into account any residual value of the equipment, although the resale value of the vessel might be higher because of the scrubber.

6.5 Time spent in SECA and payback period

Figure 12 demonstrates the payback period versus the time spent in SECA. The more operation in SECA, the higher the cost savings by using the scrubber compared to running on MGO and the shorter the payback time. The SECA percentage used in the study is based on operational profile and vessel data obtained from the customer (SECA-% = MWh in SECA/Annual MWh total).

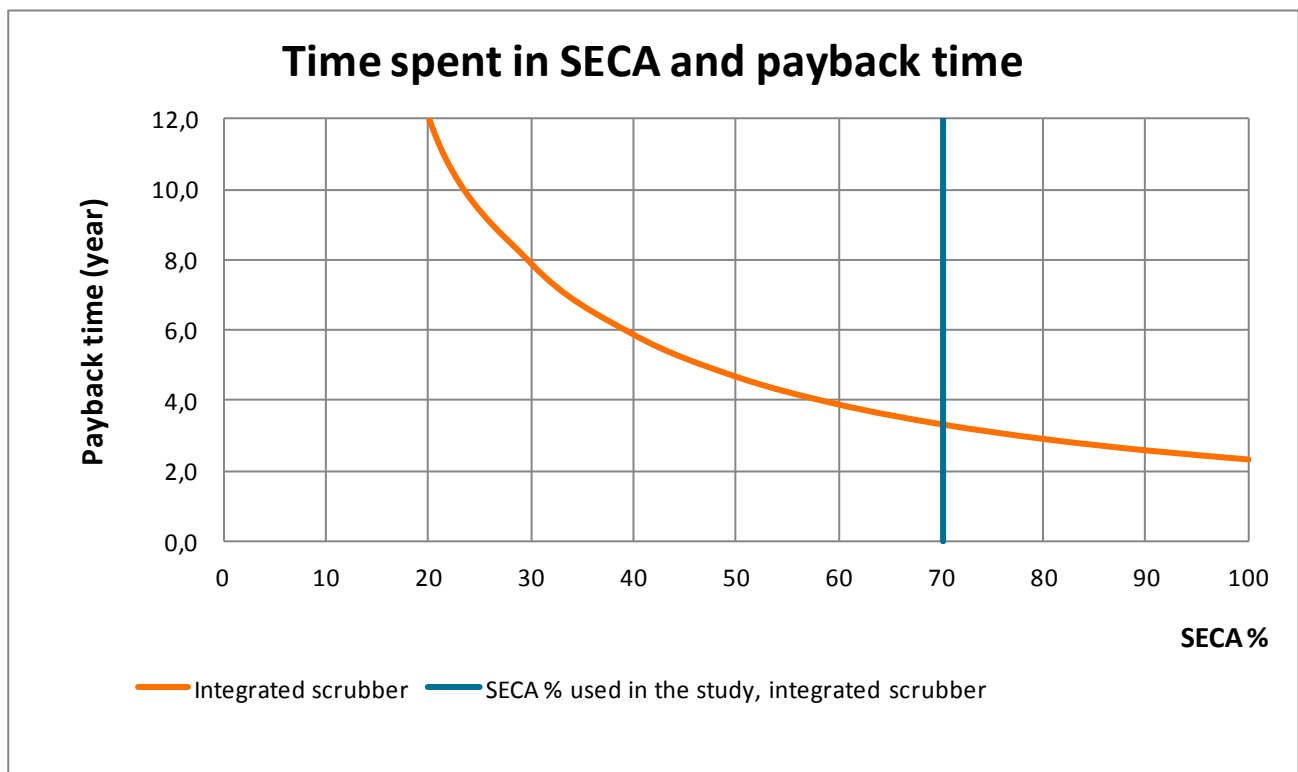


Figure 12. Time spent in SECA sensitivity.

7 Summary

Table 4 summarizes the cost comparison showing investment and operating costs for the alternatives.

Lower end investment cost refers to a typical equipment cost for a similarly sized closed loop scrubber system, whereas the higher end investment cost refers to a typical turnkey project for the same. Table 4 shows also the estimated investment cost of MGO conversion/fuel switch capability, if such is required. Scrubber system's payback time is calculated based on the annual savings with a scrubber vs. MGO operation compared to investment costs.

Discount rate represents the cost of capital. The discount rate takes into account the time value of money and the risk or uncertainty of the anticipated future cash flows. In this study the discount rate is used in NPV (Net Present Value) calculation and in cumulative cash flow analysis.

Discounted payback time describes the period when the discounted value of cost savings reach the investment cost.

In the calculations the investment time is expected to be equal to the estimated vessel lifetime left.

Internal rate of return (IRR) is an indicator of yield of the investment. This is the interest rate at which the net present value of all cash flows from the investment equal zero. In other words, IRR is the average annual return earned through the life of an investment.

Table 4. Cost comparison and payback time

	Integrated scrubber	Running on MGO in SECA-areas
Investment cost lower end / equipment (€)	2 000 000	
Investment cost, installation (€)	2 000 000	
Revenue loss due to installation time (€)	0	
Investment cost higher end (€)	4 000 000	
Investment cost of MGO conversion/fuel switch capability (€)		0
Annual operating cost (€)	6 320 691	7 531 505
Saving compared to MGO (€)	1 210 814	
Saving compared to MGO (%)	16%	
Payback time, HFO-MGO diff as now (years)	3,3	
Payback time, HFO-MGO diff 500\$/t (years)	1,6	
Discount rate %	8	
Discounted payback time diff as now (years)	4,0	
Discounted payback time diff 500 \$/t (years)	1,8	
Investment time (years)	15	
Internal rate of return, IRR (%)	30%	

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

It is expected, that when the demand of MGO increases, the price will go up, while the price for HFO will stay the same or even decrease. Figure 13 demonstrates the trend of fuel prices in the port of Rotterdam.

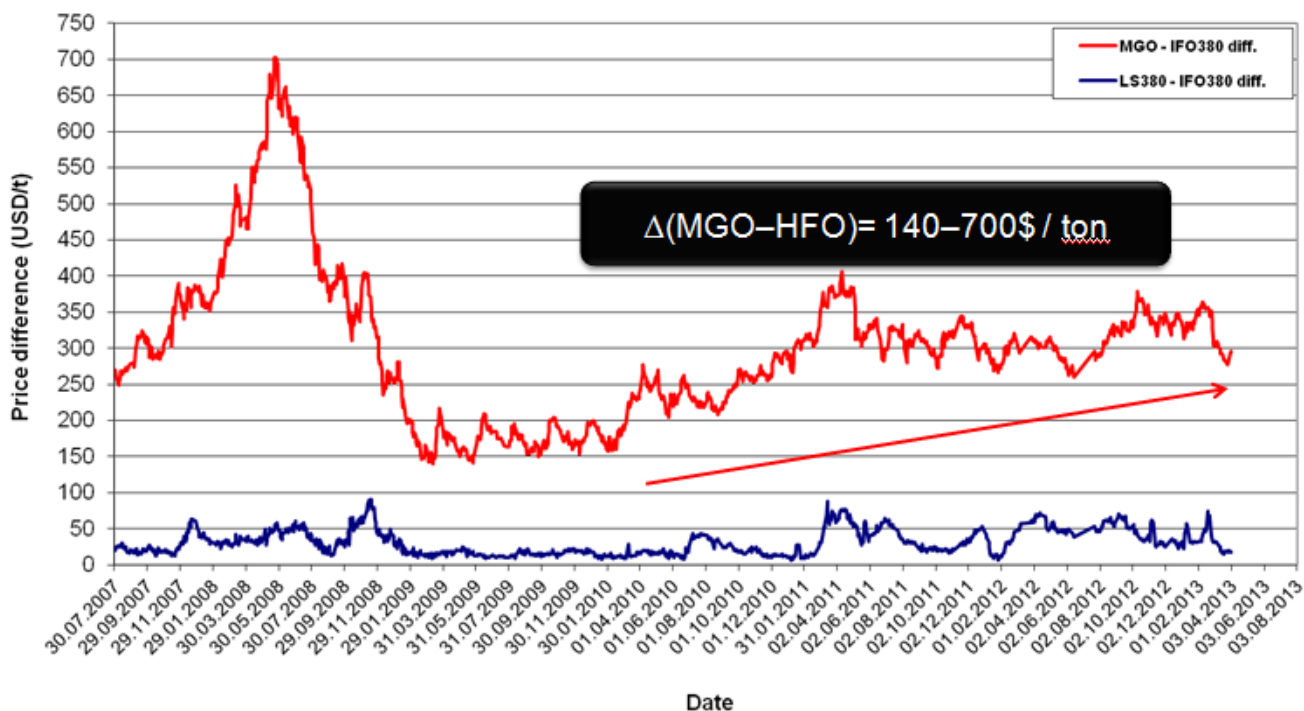


Figure 13. Fuel price differences in the port of Rotterdam.

8 Delivery time

Standard delivery time for the scrubber equipment is approximately 10 months. Taking into account the time needed for other aspects of the actual installation, the total turnkey project delivery time may end up in one year.

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

OPEN LOOP

Basic data	
Date:	8.11.2013
Prepared by:	Your name
Name of the vessel:	Vessel name
Ship owner:	Owner name

Scrubber details		
Fan(s) re-quired	select (yes or no)	No
Main en-gine(s)	scrubber sizing, % of engine power	100
Auxiliary engine(s)	scrubber sizing, % of engine power	100
Oil fired boiler(s)	scrubber sizing, % of engine power	100

ENGINE DETAILS / OPERATIONAL PROFILE					
MAIN ENGINE(S)		AUXILIARY ENGINE(S)		OIL FIRED BOILERS	
SFOC (g/kWh)	190	SFOC (g/kWh)	220	Fuel oil consumption (g/kWh)	120
Engine power (kW)	10000	Engine power (kW)	1000	Boiler capacity	10
Number of engines	1	Number of engines	2	Number of boilers	1
Total power (kW)	20000	Total power (kW)	2000	Total capacity (kW)	4074
BASIS OF THE CALCULATION		Annual fuel oil consumption based calculation		← Select	
Annual fuel consumption (ton)	10000	Annual fuel consumption (ton)	1000	Annual fuel consumption (ton)	2000
In SECA (%)	70	In SECA (%)	70	In SECA (%)	70
Annual fuel consumption without EGCS	10000	Annual fuel consumption without EGCS	1000	Annual fuel consumption without EGCS	2000
SECA (ton)	7000	SECA (ton)	700	SECA (ton)	1400
non-SECA (ton)	3000	non-SECA (ton)	300	non-SECA (ton)	600
Annual fuel consumption with EGCS	10154	Annual fuel consumption with EGCS	1015	Annual fuel consumption with EGCS	2031

SECA (ton)	7154	SECA (ton)	715	SECA (ton)	1431
non-SECA (ton)	3000	non-SECA (ton)	300	non-SECA (ton)	600
FUEL					
Price of HFO (\$/ton):	600	← Update e.g. from:	www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/	-	
Price of HFO (€/ton):	447				
Price of MGO (\$/ton):	900	← Update e.g. from:	www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/	-	
Price of MGO (€/ton):	671				
Price difference (MGO-HFO) (\$/ton):	300				
Heat value of HFO (kJ/kg):	40500				
Heat value of MGO (kJ/kg):	42700				
HFO sulphur content (%):	3,5	default 3,5			
Exchange rate USD/EUR:	1,34	Automatically updated			
EGCS Operational expenditure (OPEX)					
MAIN ENGINE(S)		AUXILIARY ENGINE(S)		OIL FIRED BOILERS	
Sludge disposal cost (€/a):	565	Sludge disposal cost (€/a):	49	Sludge disposal cost (€/a):	179
Lube oil cost (€/a):	13 555	Lube oil cost (€/a):	1 171	Lube oil cost (€/a):	4 292
Engine maintenance cost (€/a):	72 293	Engine maintenance cost (€/a):	6 243	Boiler maintenance cost (€/a):	0
EGCS maintenance cost (€/a):	20 000	1 % of equipment investment cost			
Man power cost (€/a):	0				
Loss in cargo space (€/a):	0				
Environmental incentives (€/a):	0	e.g. discount on the seaport dues on the basis of ESI-score	http://esi.wpci.nl/Public/Home/AboutES		
Integrated scrubber for comparison		Yes	Yes/No		

Main stream scrubber for comparison		Yes	Yes/No
EGCS Investment (CAPEX)			
Investment cost, equipment (€), integrated scrubber		2 000 000	
Investment cost, installation (€), integrated scrubber		2 000 000	
Revenue loss due to installation time (€):		0	
Integrated scrubber investment cost, TOTAL (€):		4 000 000	
Investment cost, equipment (€), main stream scrubber		1 900 000	
Investment cost, installation (€), main stream scrubber		1 900 000	
Revenue loss due to installation time (€):		0	
Main stream scrubber investment cost, TOTAL (€):		3 800 000	
Scrubber installation year			
		2015	
Estimated vessel lifetime left (years)			
		15	= investment time (affects the NPV-calculation)
Discount rate %			
		8	The cost of capital. If not mentioned, use e.g. 8 %
MGO conversion required	No	MGO conversion required	No
MGO conversion (fully in MGO operation)		MGO conversion (fully in MGO operation)	
MGO conversion cost		MGO conversion cost	
	0		0
		Fuel switch capability (MGO in SECA)	
MGO conversion cost		MGO conversion cost	
	0		0

WÄRTSILÄ OPEN LOOP SCRUBBER

Wärtsilä Open Loop Scrubber Economical Study

For

Owner name

“Vessel name”

Wärtsilä Finland Oy

1 Introduction

The purpose of this study is to present preliminary operating and investment cost calculations with exhaust gas scrubber system, and also give an indication of payback times and profitability of the investment. In case more detailed price is requested for the system and installation, an onboard survey to the vessel is needed.

It is acknowledged that there are different solutions to comply with the IMO's sulphur regulations. The different alternatives with their pros and cons are listed in Table 1.

Table 5. Different measures to comply with IMO's sulphur requirements.

Method / Solution	Advantage	Disadvantage
FUEL SWITCH Switch to low sulphur fuel in SECA	Flexible Small investment	High operating cost in SECA Fuel change over procedures Lube oil TBN management Fuel availability?
CHANGE TO MGO Run full time on Marine Gas Oil (MGO)	Convenient No change over	High operating cost Future availability
CONVERT TO LNG Convert engines to run on gas (LNG)	A solution which also reduces NO ₂ and particulates	High investment cost LNG availability (lacking gas distribution infrastructure)
USE SCRUBBERS Install an exhaust gas cleaning system (scrubber)	Works with high S HFO Lowest total lifecycle cost Use everywhere Easy operation	ROI depends on fuel price difference between low S fuel oil and high S HFO

Cold ironing (shoreside power) is only possible at berth and as such not a clear alternative for vessels operating in SOx emission control areas.

This study will concentrate on comparing scrubber installation & operation with MGO operation according to the annual fuel oil consumption.

2 General

The Wärtsilä Open Loop Scrubber is a sea water based exhaust gas scrubber, designed to remove SOx from the exhaust gas stream. The system uses the natural alkalinity in the seawater to neutralize the SOx in the exhaust gas, and therefore no chemicals are needed. The open loop scrubber is a very simple, yet effective exhaust gas cleaning device. The scrubber will work optimally anywhere around the world, as long as the alkalinity in the seawater is sufficient. A schematic drawing of the sea water scrubber is shown in Figure 1.

All Wärtsilä scrubber technologies are certified in accordance with IMO Resolution MEPC.184(59), Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems.

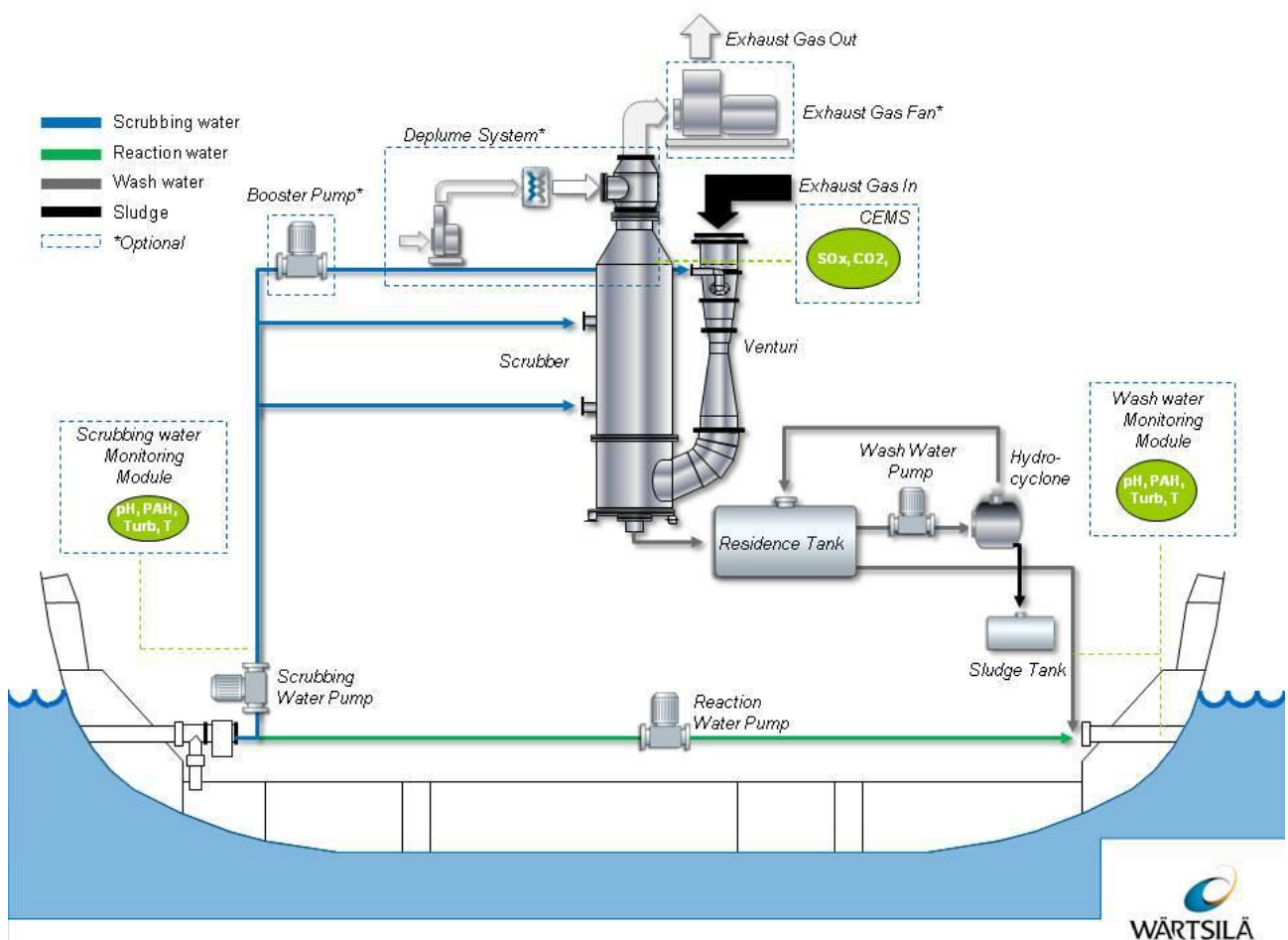


Figure 14. Open loop scrubber system principle diagram

In order to make the feasibility study, certain information about the installation is required. This basic ship information used in the study for the calculations is presented in Table 2. The annual fuel oil consumption is based on reported or according to the operational profile calculated fuel oil consumption. Scrubber sizing is based on the maximum combined gas flow from the combustion units. Sizing the scrubber for lower gas flow can decrease the investment cost.

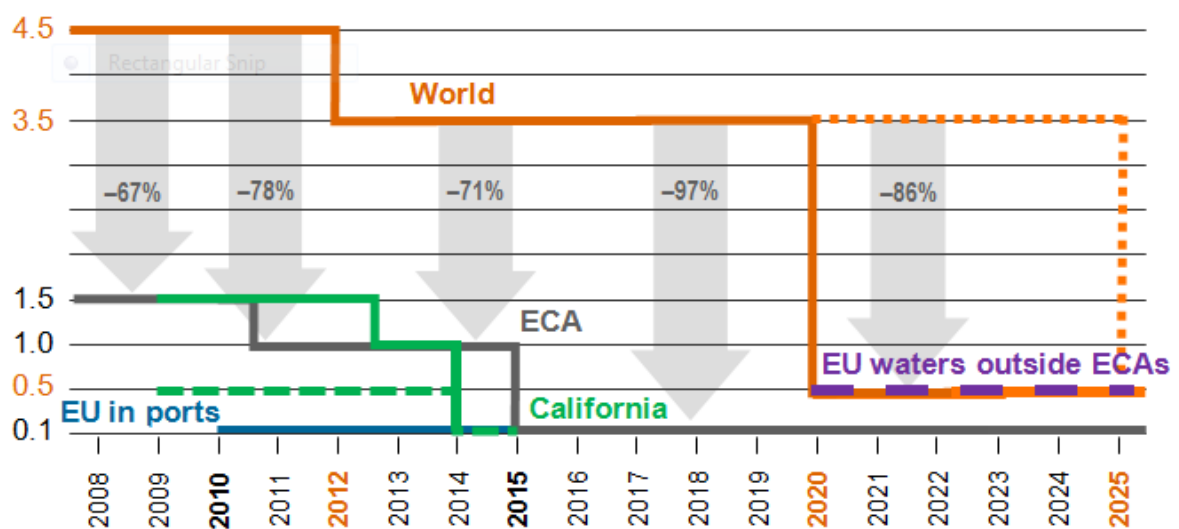
Table 6. Vessel data

Name of the vessel:	Vessel name	
Total main engine power:	20 000	kW
Annual fuel consumption Main Engines:	10 000	ton
Annual fuel consumption Auxiliary Engines:	1 000	ton
Annual fuel consumption Oil Fired Boilers:	2 000	ton

3 Fuel sulphur limits

The following figure presents the sulphur limits set by IMO, EU and California Air Resources Board (CARB). IMO regulations contain global sulphur limits and SO_x Emission Control Areas (ECA) with more stringent criteria.

Sulphur limit (%)



Review of the 0.5% S global limit to be performed in 2018. In case readiness is not deemed to be sufficient by 2020, the introduction of the limit will be postponed to 2025.

- Fuel type Not regulated = both HFO and distillate are permitted
- Exhaust gas cleaning Permitted alternative under Regulation 4 to achieve any regulated limit
- Particulate Matter (PM) No limit values.

Figure 15. Marine fuel oil sulphur limits

Currently, there are three designated IMO Emission Control Areas (ECAs) in effect globally. In EU-area the Emission Control Area (SO_x) contains the Baltic Sea, English Channel and parts of the North Sea. The North American ECA (SO_x , NO_x) encompasses most of the United States and Canada's coastal waters out to 200 nautical miles from the coastline. It includes also the eight main Hawaiian Islands. These existing ECAs are marked with dark grey in Figure 3.

A fourth area, the United States Caribbean Sea ECA, covering certain waters adjacent to the coast of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, will come into force on January 1st 2014.

In addition, there are several areas where ECAs have been investigated and hence could be designated in the future. These areas are shown in Figure 3 with light orange. As can be seen, the potential future ECAs coincide with the major shipping routes (shown in blue).

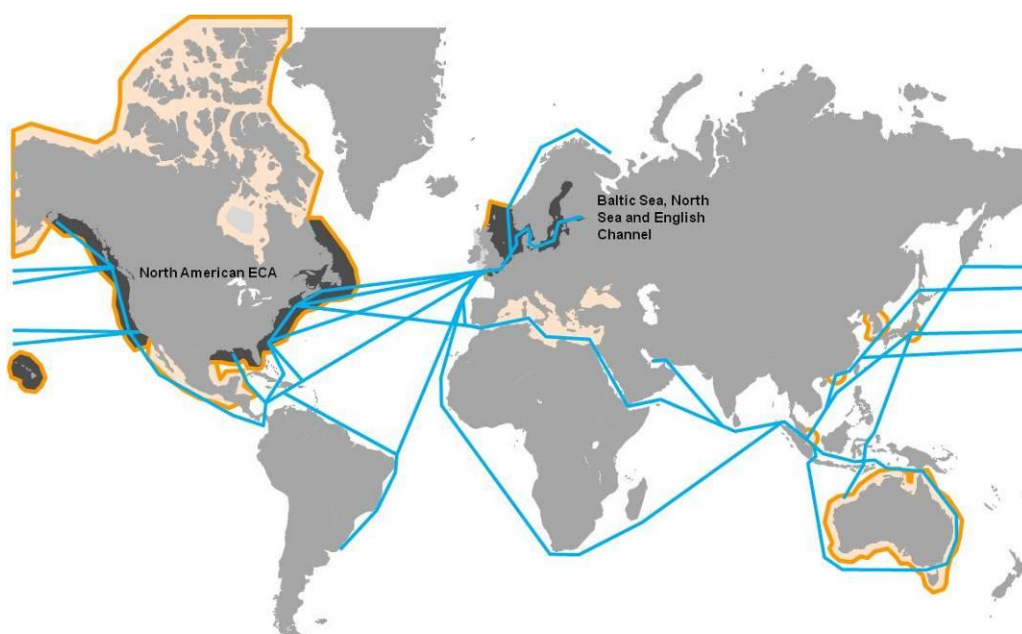


Figure 16. Current (dark grey) and envisaged (light orange) ECAs, and major shipping routes (blue).

Current maximum fuel sulphur limit in SO_x Emission Control Areas is 1.0 %. The sulphur limit in SO_x ECA will be further tightened to 0.1 % on 1st January 2015. The fuel sulphur limit in EU ports is already 0.1% for vessels at berth for more than two hours and not using shore power.

In this study the consumptions and operating costs are based on;

- 3,5 % sulphur Heavy Fuel Oil
- 0.1 % sulphur Marine Gas Oil (in case compliance is reached by low sulphur fuel)
- Fuel oil consumed in Emission Control Areas

The scrubber system sizing is based on 3.5 % sulphur fuel oil as a standard. Hence, the scrubber is designed to clean SO_x from HFO containing 3.5% sulphur to correspond to SO_x equivalent of 0.1% sulphur in fuel.

4 Alternatives for comparison

4.1 Integrated scrubber

Integrated scrubber is based on one unit that cleans the exhaust gases from all the 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. A schematic drawing presenting the integrated scrubber concept is shown in Figure 4. Please note that possible silencer(s), exhaust gas boiler(s) or SCR(s) shown in the picture are not part of the scope of this study.

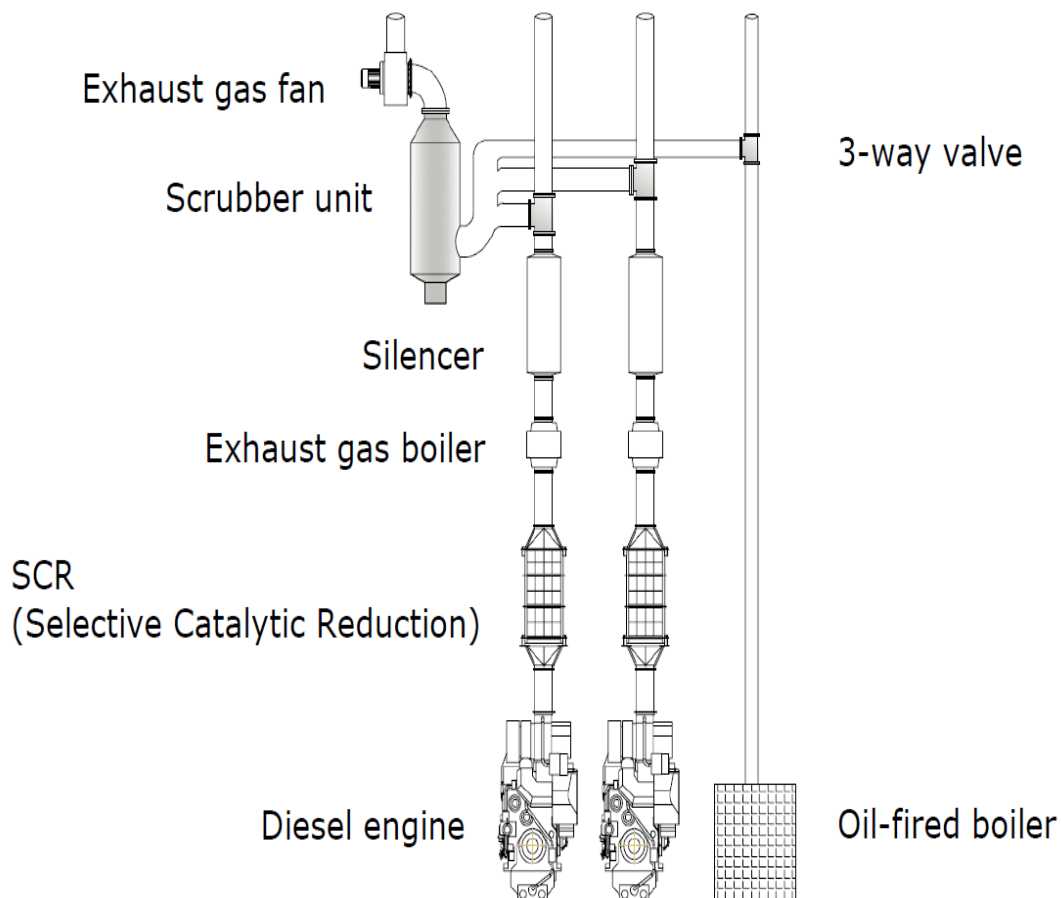


Figure 17. Schematic drawing of the integrated scrubber.

4.2 Main stream scrubber

Main stream scrubber alternative is based on a unit that cleans the exhaust gases from an individual engine to comply with the limits. Each engine is equipped with a dedicated scrubber. In case only the main engine is equipped with a scrubber and operating with high sulphur HFO, the auxiliary engines and oil-fired boilers use MGO to reach compliance. A schematic drawing presenting the main stream scrubber concept is shown in Figure 5. Please note that possible silencer(s), exhaust gas boiler(s) or SCR(s) shown in the picture are not part of the scope of this study.

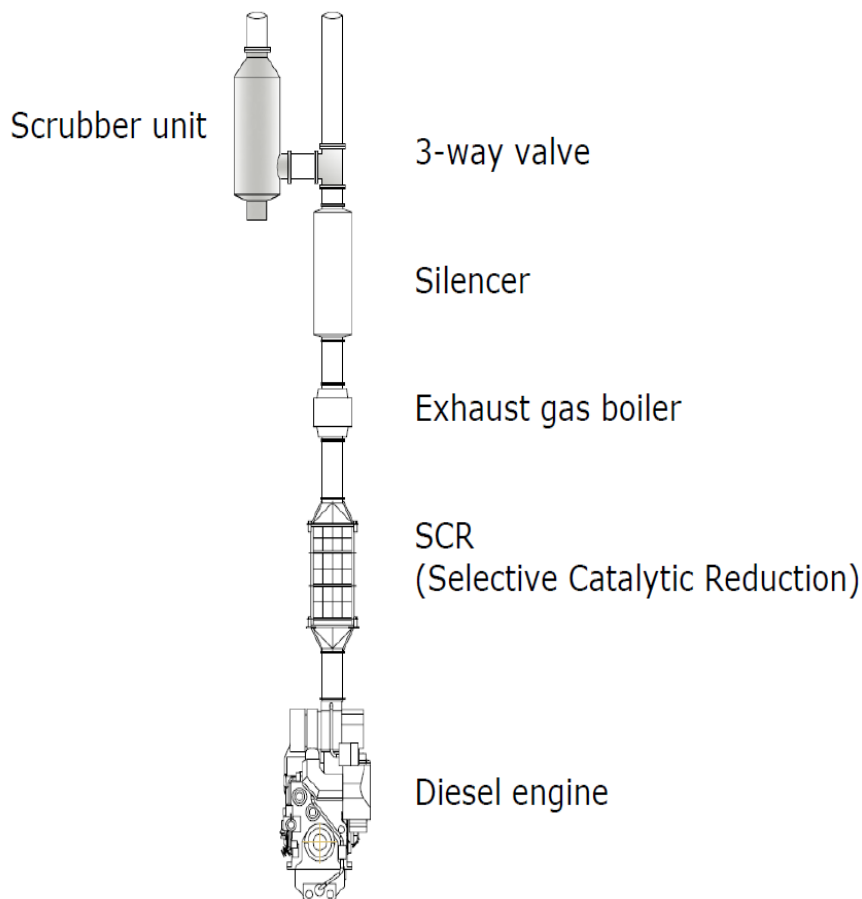


Figure 18. Schematic drawing of the main stream scrubber.

4.3 Compliance by fuel (running on MGO)

In this alternative the compliance is reached through the use of MGO, i.e., there is no scrubber. In case the vessel operates in and out of SECA, MGO is only used inside SECA, whereas high sulphur HFO is used outside SECA.

5 Investment and operating cost

5.1 Investment cost

The investment cost calculation is based on the following:

- Scrubber equipment
 - consisting of all the required equipment for SO_x scrubber system transported to 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.
- Revenue loss due to the installation time
 - according to customer's statement.

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

5.2 Operating cost

The actual operating cost depends on the time the Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) is in operation, i.e. time spent in SECA. The annual variable operating costs consist of:

- Fuel costs
- Sludge disposal costs
- HFO operation related additional engine maintenance costs (if any) and
- HFO operation related additional lube oil cost.

In addition to the variable operational costs, there may be fixed costs associated with the scrubber:

- EGCS maintenance cost
- Man power cost
- Possible revenue loss due to smaller cargo or passenger capacity.

Prospective environmental incentives might reduce the operational costs. More information about environmental incentives can be found e.g. on website www.esi.wpci.nl/.

Fuel oil consumption

Fuel oil consumptions based on Table 2 are shown in Figure 6.

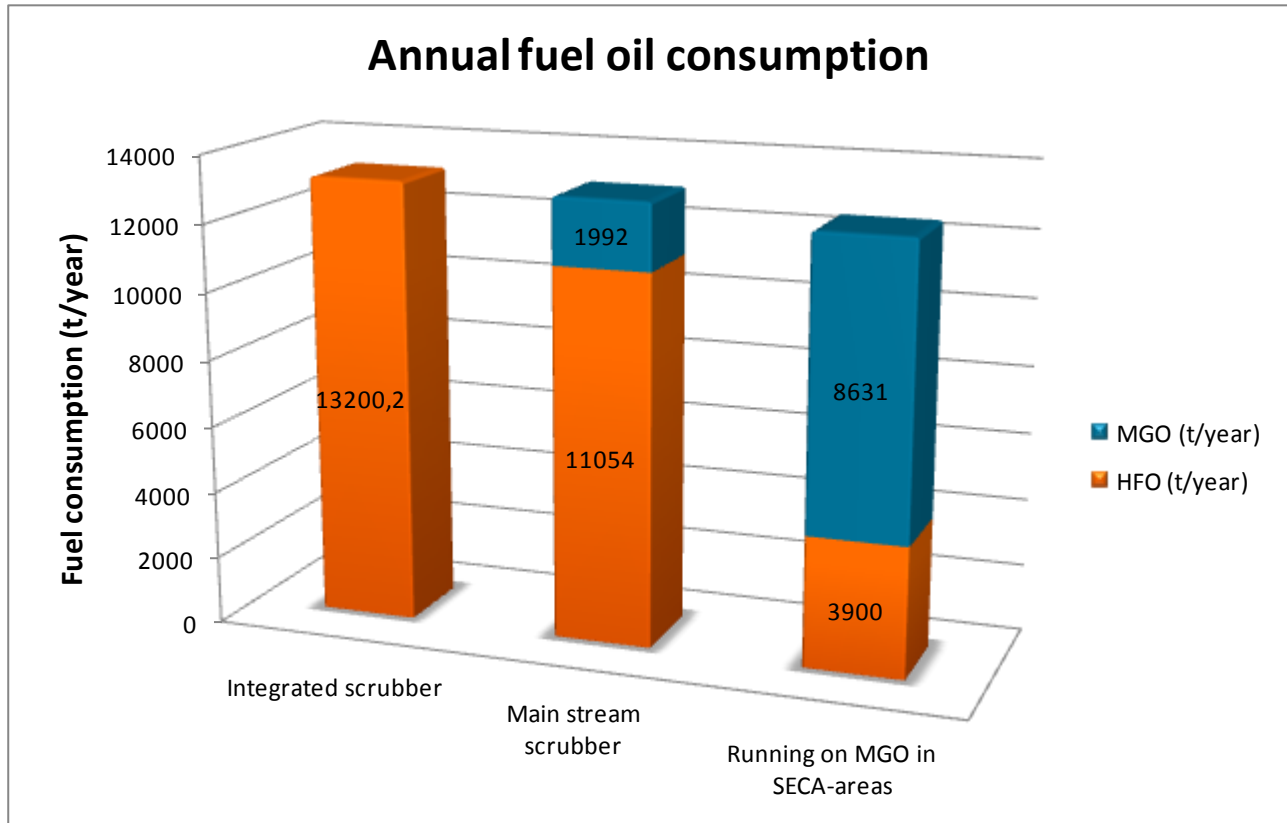


Figure 19. Annual fuel oil consumptions.

The annual fuel oil consumption of scrubber alternative is slightly higher due to the additional energy consumption of the scrubber system and the higher heat value of MGO. The power demand of Wärtsilä open loop scrubber is typically between 1-2 % of the installed power being scrubbed. This power demand comprises the power to drive system pumps and monitoring equipment. An open loop scrubber with a fan has a slightly higher power demand. In this study a figure of 2,2 % has been applied.

Prices applied in the study and cost comparison for the alternatives

Table 3 presents the prices that have been used in this study to calculate the operating costs. Figure 7 shows the annual operating costs for the alternatives.

Table 7. Prices and exchange rate applied in the study

Exchange rate:	1,34	\$/€
Price of HFO:	600	\$/ton
Price of MGO:	900	\$/ton
Price difference between HFO - MGO:	300	\$/ton
Price difference between HFO - MGO:	50	%
Sludge disposal cost:	150	€/ton
Lube oil cost:	1 800	€/ton
Additional engine maintenance cost when operating with HFO:	1,9	€/MW
EGCS maintenance cost:	1	% of equipment inv.
Man power cost:	0	€/a

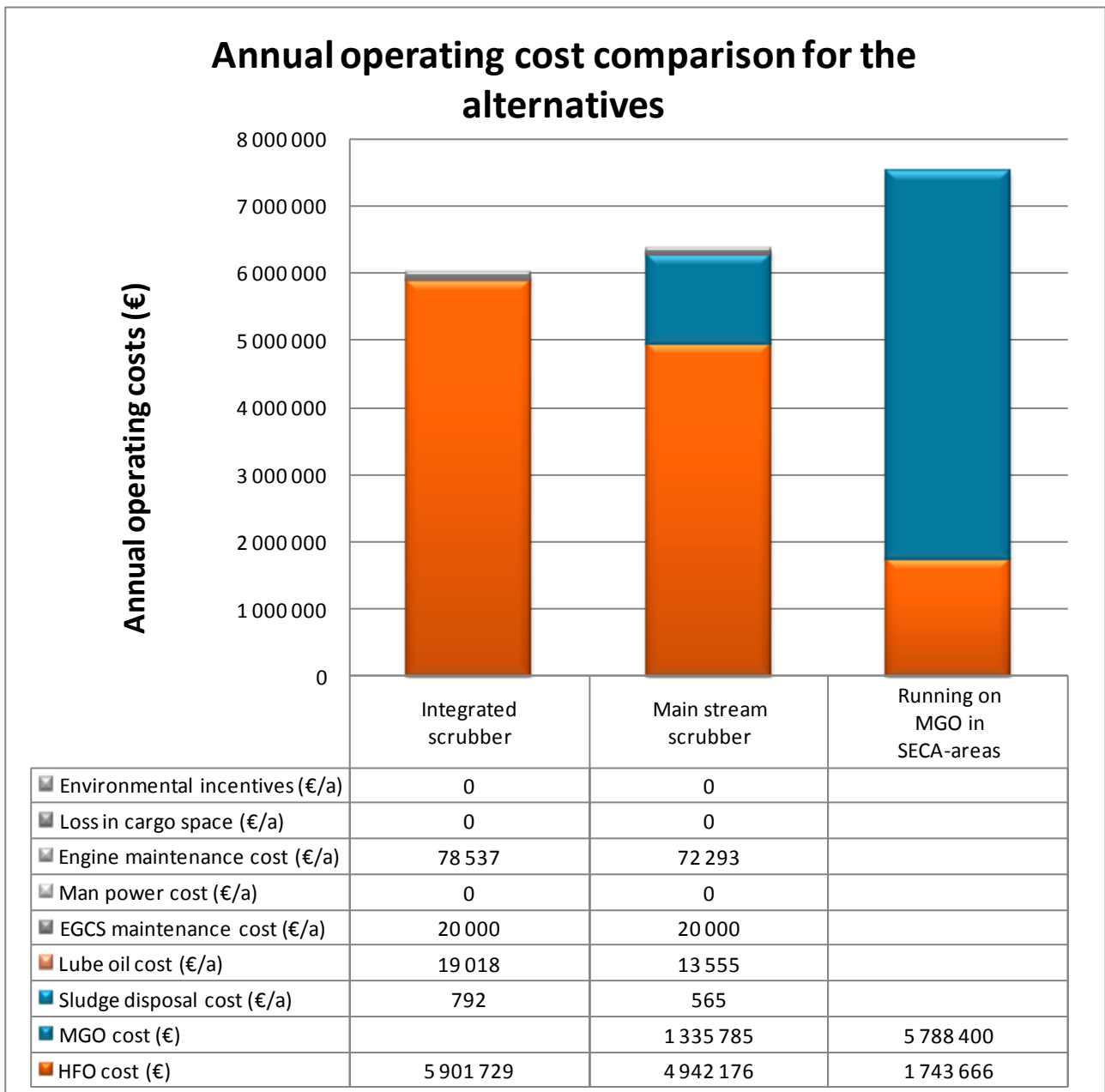


Figure 20. Annual operating cost comparison for the alternatives.

6 Sensitivity analyses

6.1 Operating cost savings and the payback time

Fuel price difference between HFO and MGO is the key factor in this study. Change in price difference affects directly the operating costs and payback time. To indicate this effect, Figure 8 shows the annual operating cost savings and the payback time of the scrubber installation versus the fuel price difference.

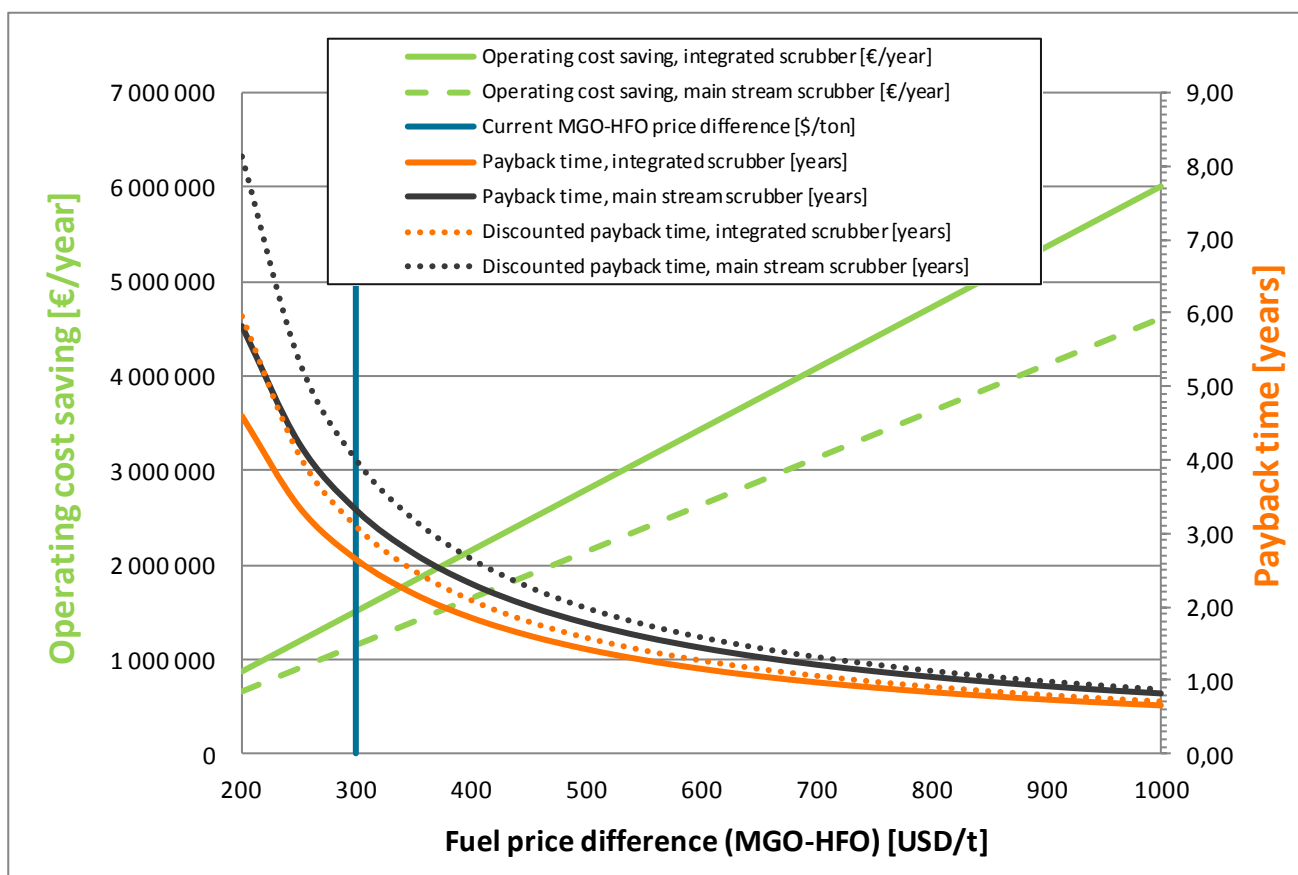


Figure 21. Operating cost savings and the payback time versus the fuel price difference.

6.2 Operational cost comparison

The comparison of Operational Expenditures (OPEX) of the alternatives is presented in Figure 9. In calculation the fuel prices follow 2 % annual increase according to the average inflation rate in euro-area. Calculation does not include the initial investment.

The global sulphur limit will be tightened to 0.5 % in 2020 or latest in 2025. If the compliance is reached through the use of MGO, it is expected that the fuel costs will increase remarkably after 2020/2025.

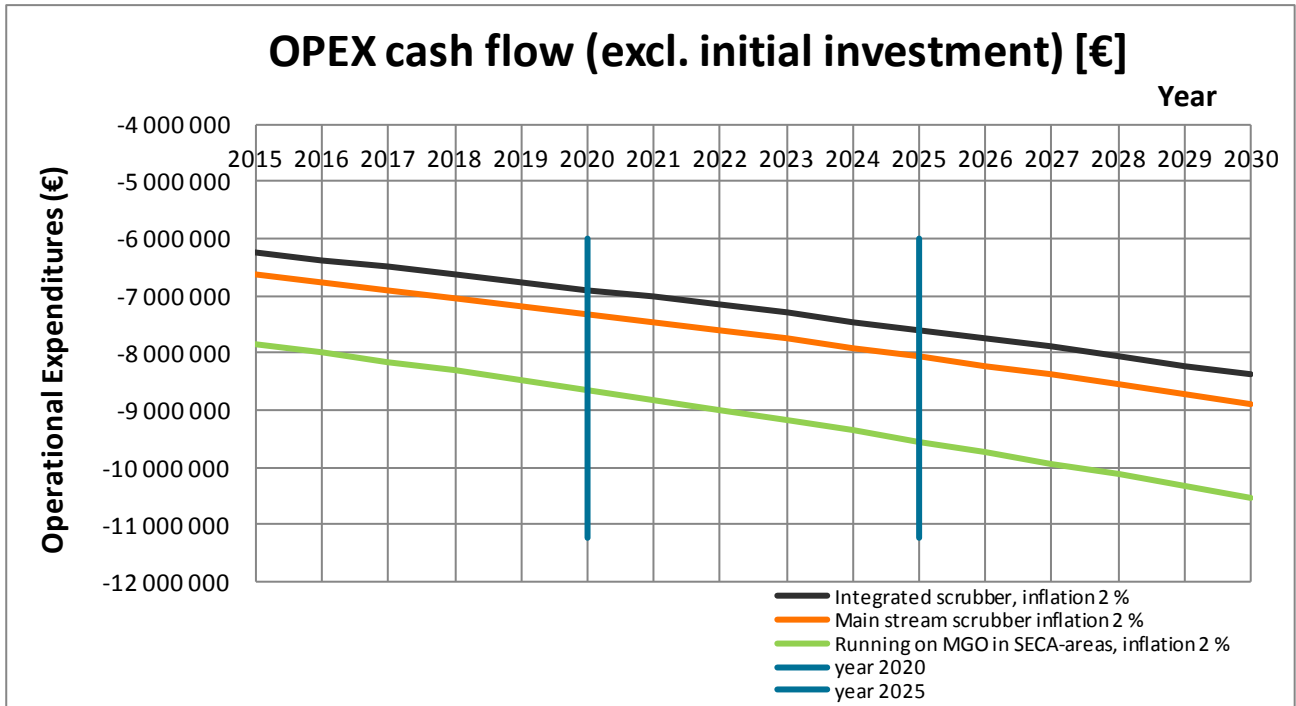


Figure 22. Comparison of operational expenditures (OPEX).

6.3 Net Present Value

Net Present Value (NPV) shows the current value of the investment. NPV is demonstrated in Figure 10. The alternative running on MGO represents the value of zero and the net present value of the scrubber investment is shown compared to that. If NPV is positive, it implies that the expected return is higher than the required return, and the investment can be considered to be viable. The investment period is equal to estimated vessel lifetime left (specified in Table 4).

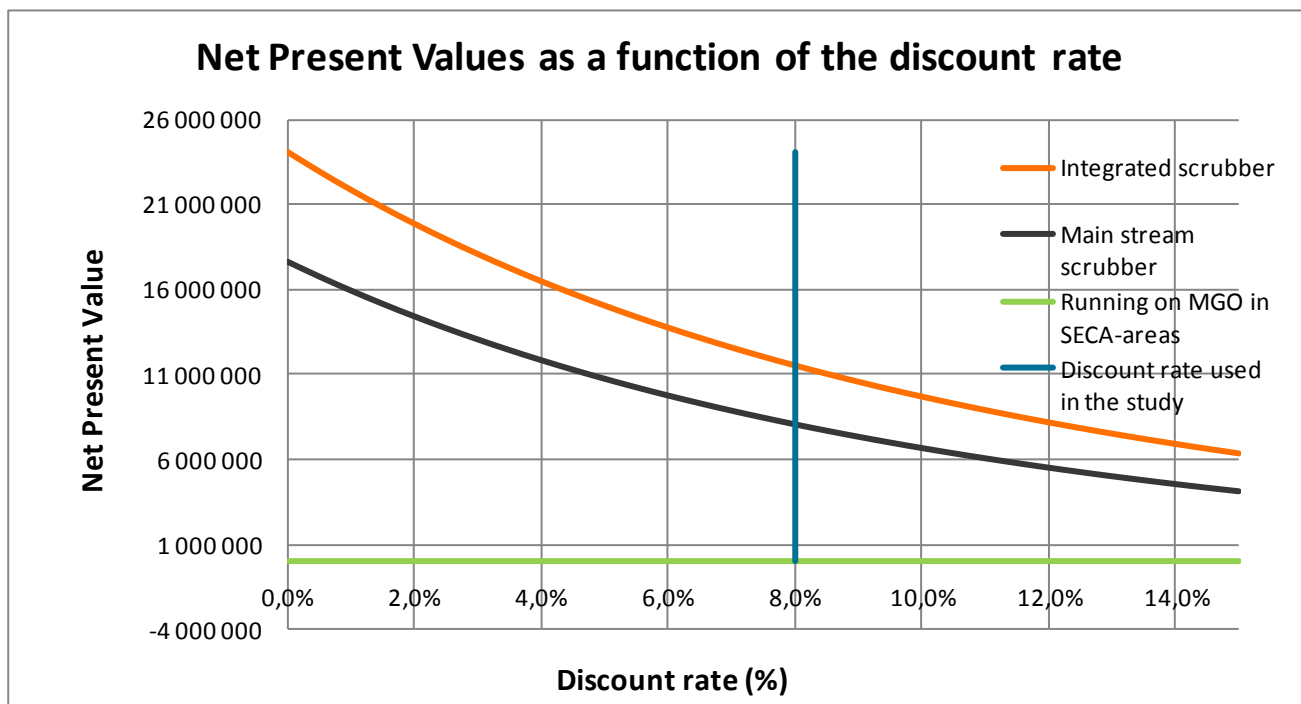


Figure 23. Net Present Value as a function of the discount rate

6.4 Discounted cumulative cash flow

Discounted cash flow (DCF) analysis is the process of calculating the present value of an investment's future cash flows in order to arrive at a current fair value estimate for the investment.

DCF-analysis is represented in Figure 11. Year 0 figures the year of installation. Positive discounted cash flows (cost savings by using the scrubber compared to running on MGO) are added each year. Payback period is located at the point where the present value of future cash flows becomes positive (intersection of x-axis).

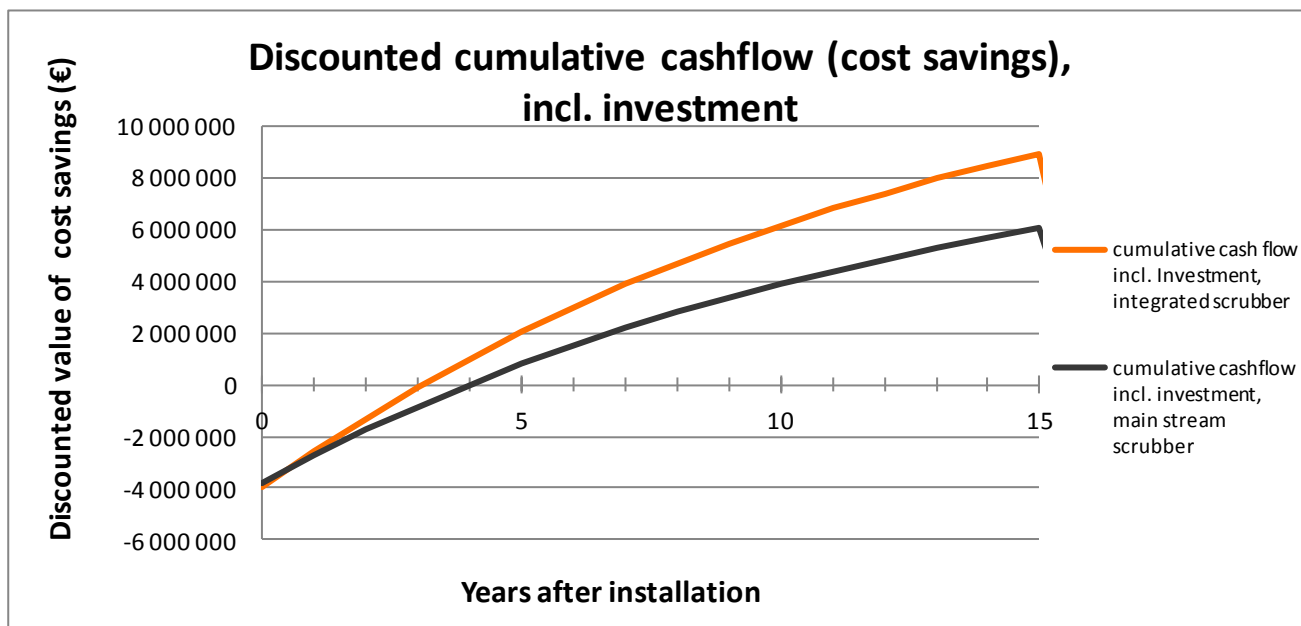


Figure 24. Cumulative discounted cash flow.

The investment period (the estimated vessel lifetime left) and the return on investment (discount rate) are specified in Table 4. Note that the calculation does not take into account any residual value of the equipment, although the resale value of the vessel might be higher because of the scrubber.

6.5 Time spent in SECA and payback period

Figure 12 demonstrates the payback period versus the time spent in SECA. The more operation in SECA, the higher the cost savings by using the scrubber compared to running on MGO and the shorter the payback time. The SECA percentage used in the study is based on operational profile and vessel data obtained from the customer (SECA % = MWh in SECA/Annual MWh total).

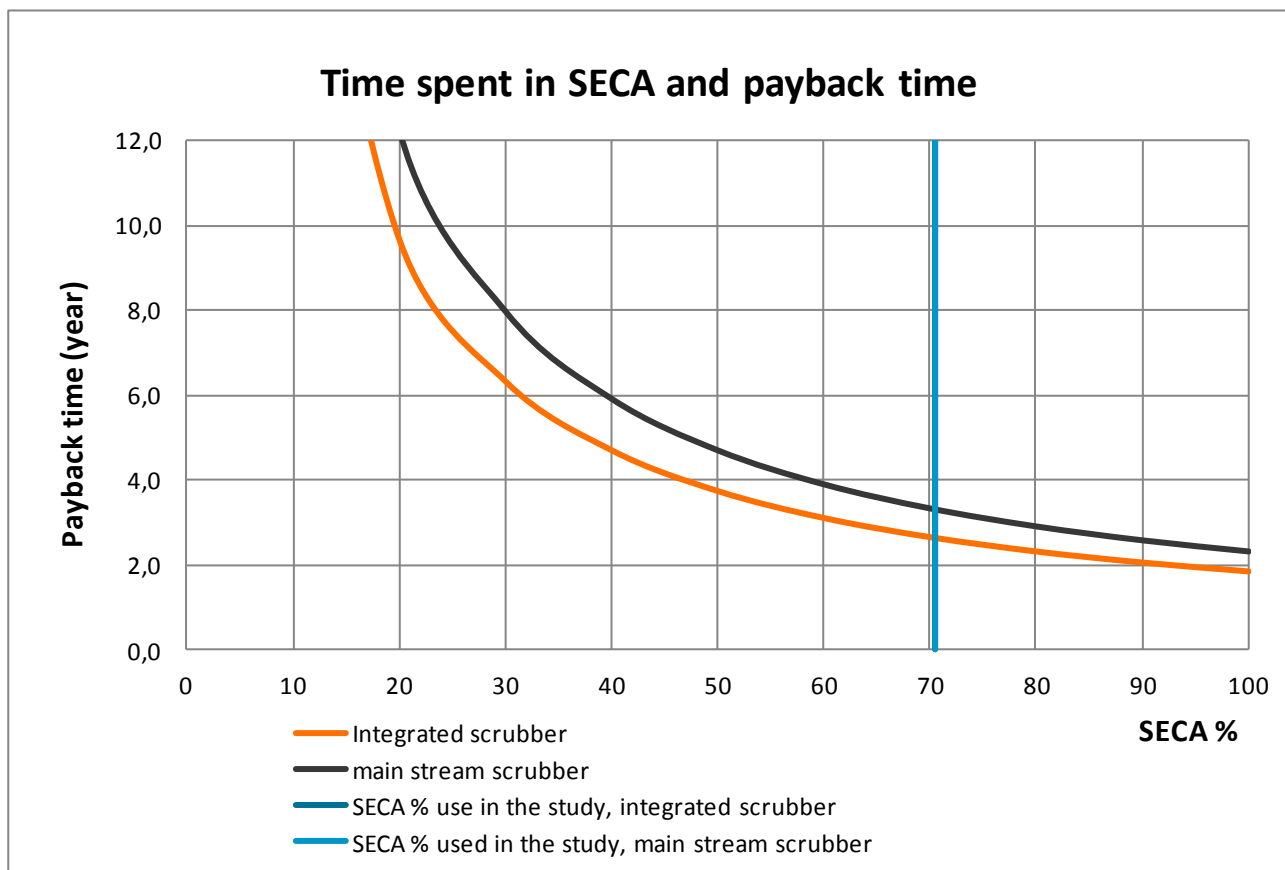


Figure 25. Time spent in SECA and payback time.

7 Summary

Table 4 summarizes the cost comparison showing investment and operating costs for the alternatives.

Lower end investment cost refers to a typical equipment cost for a similarly sized open loop scrubber system, whereas the higher end investment cost refers to a typical turnkey project for the same. Table 4 shows also the estimated investment cost of MGO conversion/fuel switch capability, if such is required. Scrubber system's payback time is calculated based on the annual savings with a scrubber vs. MGO operation compared to investment costs.

Discount rate represents the cost of capital. The discount rate takes into account the time value of money and the risk or uncertainty of the anticipated future cash flows. In this study the discount rate is used in NPV (Net Present Value) calculation and in cumulative cash flow analysis.

Discounted payback time describes the period when the discounted value of cost savings reach the investment cost.

In the calculations the investment time is expected to be equal to the estimated vessel lifetime left.

Internal rate of return (IRR) is an indicator of yield of the investment. This is the interest rate at which the net present value of all cash flows from the investment equal zero. In other words, IRR is the average annual return earned through the life of an investment.

Table 8. Cost comparison and payback time

	Integrated scrubber	Main stream scrubber	Running on MGO in SECA areas
Investment cost lower end / equipment (€)	2 000 000	1 900 000	
Investment cost, installation (€)	2 000 000	1 900 000	
Revenue loss due to installation time (€)	0	0	
Investment cost higher end (€)	4 000 000	3 800 000	
Investment cost MGO conversion/fuel switch capability			0
Annual operating cost (€)	6 020 076	6 384 373	7 532 066
Saving compared to MGO (€)	1 511 990	1 147 693	
Saving compared to MGO (%)	20%	15%	
Payback time, HFO-MGO diff as now (years)	2,6	3,3	
Payback time, HFO-MGO diff 500\$/t (years)	1,4	1,8	
Discount rate %	8	8	
Discounted payback time diff as now (years)	3,1	4,0	
Discounted payback time diff 500 \$/t (years)	1,6	2,0	
Investment time (years)	15	15	
Internal rate of return, IRR (%)	37%	30%	

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

It is expected, that when the demand of MGO increases, the price will go up, while the price for HFO will stay the same or even decrease. Figure 13 demonstrates the trend of fuel prices in the port of Rotterdam.

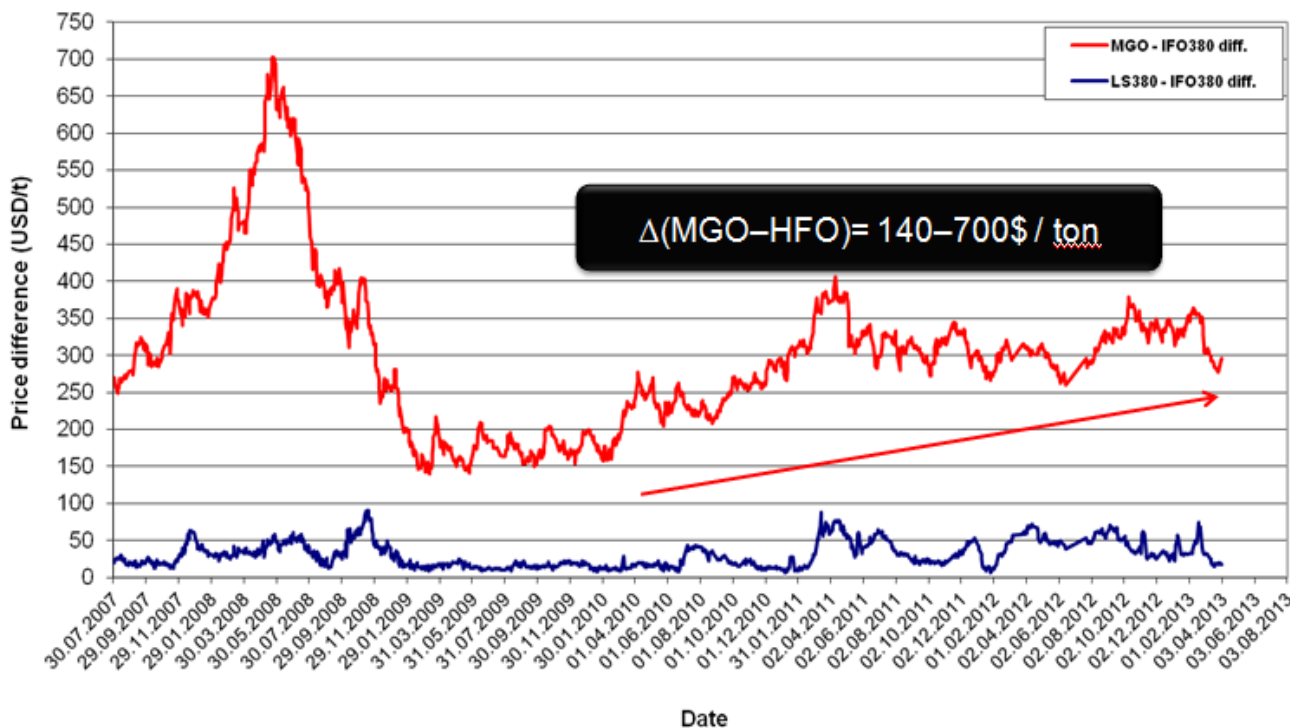


Figure 26. Fuel price differences in the port of Rotterdam.

8 Delivery time

Standard delivery time for the scrubber equipment is approximately 10 months. Taking into account the time needed for other aspects of the actual installation, the total turnkey project delivery time may end up in one year.

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

HYBRID

Basic data	
Date:	8.11.2013
Prepared by:	Your name
Name of the vessel:	Vessel name
Ship owner:	Owner name

Scrubber details		
Fan(s) required	select (yes or no)	No
Main engine(s)	scrubber sizing, % of engine power	100
Auxiliary engine(s)	scrubber sizing, % of engine power	100
Oil fired boiler(s)	scrubber sizing, % of engine power	100

ENGINE DETAILS / OPERATIONAL PROFILE				
MAIN ENGINE(S)		AUXILIARY ENGINE(S)		OIL FIRED BOILERS
SFOC (g/kWh)	199	SFOC (g/kWh)	220	Fuel oil consumption (g/kWh)
Engine power (kW)	10000	Engine power (kW)	0	Boiler capacity
Number of engines	1	Number of engines	0	Number of boilers
Total power (kW)	10000	Total power (kW)	0	Total capacity (kW)
BASIS OF CALCULATION	Operating mode based calculation	← Select		
1. Sea going (h/a)	3500	1. Sea going (h/a)	0	1. Sea going (h/a)
in SECA (%)	100	in SECA (%)	100	in SECA (%)
in SECA (h/a)	3500	in SECA (h/a)	0	in SECA (h/a)
non-SECA (h/a)	0	non-SECA (h/a)	0	non-SECA (h/a)
number of engines	1	number of engines	0	number of engines
engine load (%)	100	engine load (%)	100	engine load (%)
annual MWh in SECA	35000	annual MWh in SECA	0	annual MWh in SECA
open loop mode (%)	100	open loop mode (%)	0	open loop mode (%)
closed loop mode (%)	0	closed loop mode (%)	100	closed loop mode (%)
2. Manoeuvring (h)	500	2. Manoeuvring (h)	0	2. Manoeuvring (h)
in SECA (%)	100	in SECA (%)	100	in SECA (%)
in SECA (h/a)	500	in SECA (h/a)	0	in SECA (h/a)
non-SECA (h/a)	0	non-SECA (h/a)	0	non-SECA (h/a)
number of engines	1	number of engines	0	number of engines
engine load (%)	90	engine load (%)	100	engine load (%)

annual MWh in SECA	4500	annual MWh in SECA	0	annual MWh in SECA	0
open loop mode (%)	0	open loop mode (%)	0	open loop mode (%)	0
closed loop mode (%)	100	closed loop mode (%)	100	closed loop mode (%)	100
3. In port (h)	1000	3. In port (h)	0	3. In port (h)	0
in SECA (%)	100	in SECA (%)	100	in SECA (%)	100
in SECA (h/a)	1000	in SECA (h/a)	0	in SECA (h/a)	0
non-SECA (h/a)	0	non-SECA (h/a)	0	non-SECA (h/a)	0
number of engines	1	number of engines	0	number of engines	1
engine load (%)	30	engine load (%)	100	engine load (%)	100
annual MWh in SECA	3000	annual MWh in SECA	0	annual MWh in SECA	0
open loop mode (%)	0	open loop mode (%)	0	open loop mode (%)	0
closed loop mode (%)	100	closed loop mode (%)	100	closed loop mode (%)	100
Annual fuel consumption without EGCS	8458	Annual fuel consumption without EGCS	0	Annual fuel consumption without EGCS	0
SECA (ton)	8458	SECA (ton)	0	SECA (ton)	0
non-SECA (ton)	0	non-SECA (ton)	0	non-SECA (ton)	0
SUMMARY					
Annual fuel consumption with EGCS	8658	Annual fuel consumption with EGCS	0	Annual fuel consumption with EGCS	0
SECA (ton)	8658	SECA (ton)	0	SECA (ton)	0
non-SECA (ton)	0	non-SECA (ton)	0	non-SECA (ton)	0
FUEL					
Price of HFO (\$/ton):	600	← Update e.g. from: www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/			-
Price of HFO (€/ton):	447				
Price of MGO (\$/ton):	900	← Update e.g. from: www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/			-
Price of MGO (€/ton):	671				
Price difference (MGO-HFO) (\$/ton):	300				
Heat value of HFO (kJ/kg):	40500				
Heat value of MGO (kJ/kg):	42700				

HFO sulphur content (%):	3,5	default 3,5			
Exchange rate USD/EUR:	1,34	Automatically updated			
EGCS Operational expenditure (OPEX)					
MAIN ENGINE(S)		AUXILIARY ENGINE(S)		OIL FIRED BOILERS	
NaOH consumption (m ³ /a):	206	NaOH consumption (m ³):	0	NaOH consumption (m ³):	0
Price of 50 % NaOH (€/m ³):	400	Price of 50 % NaOH (€/m ³):	400	Price of 50 % NaOH (€/m ³):	400
NaOH cost (€/a):	82 213	NaOH cost (€):	0	NaOH cost (€):	0
Sludge disposal cost, open loop (€/a):	525	Sludge disposal cost, open loop (€/a):	0	Sludge disposal cost, open loop (€/a):	0
Sludge disposal cost, closed loop (€/a):	4 500	Sludge disposal cost, closed loop (€/a):	0	Sludge disposal cost, closed loop (€/a):	0
Sludge disposal cost, total (€/a):	5 025	Sludge disposal cost, total (€/a):	0	Sludge disposal cost, total (€/a):	0
Lube oil cost (€/a):	15 300	Lube oil cost (€/a):	0	Lube oil cost (€/a):	0
Engine maintenance cost (€/a):	81 600	Engine maintenance cost (€/a):	0	Boiler maintenance cost (€/a):	0
EGCS maintenance cost (€/a):	20 000	1 % of equipment investment cost			
Man power cost (€/a):	0				
Loss in cargo space (€/a):	0				
Environmental incentives (€/a):	0	e.g. award or an environmental discount on the seaport dues on the basis of ESI-score.			
http://esi.wpci.nl/Public/Home/AboutESI					
Integrated scrubber for comparison	No	Yes/No			
Main stream scrubber for comparison	Yes	Yes/No			

EGCS Investment (CAPEX)					
Investment cost, equipment (€), main stream scrubber	2 000 000				
Investment cost, installation (€), main stream scrubber	2 000 000				
Revenue loss due to installation time (€):	0				
Main stream scrubber Investment cost, TOTAL (€):	4 000 000				
Scrubber installation year	2015				
Estimated vessel lifetime left (years)	15		= investment time (affects the NPV-calculation)		
Discount rate %	8		The cost of capital. If not mentioned, use e.g. 8 %		
MGO conversion required	No	MGO conversion required	No	MGO conversion required	No
Fuel switch capability (MGO in SECA)		MGO conversion (fully in MGO operation)		MGO conversion (fully in MGO operation)	
MGO conversion cost	0	MGO conversion cost	0	MGO conversion cost	0

WÄRTSILÄ HYBRID SCRUBBER

Economical Study

For

Owner name

“Vessel name”

Wärtsilä Finland Oy

1 Introduction

The purpose of this study is to present preliminary operating and investment cost calculations with exhaust gas scrubber system, and also give an indication of payback times and profitability of the investment. In case more detailed price is requested for the system and installation, an onboard survey to the vessel is needed.

It is acknowledged that there are different solutions to comply with the IMO's sulphur regulations. The different alternatives with their pros and cons are listed in Table 1.

Table 9. Different measures to comply with IMO's sulphur requirements.

Method / Solution	Advantage	Disadvantage
FUEL SWITCH Switch to low sulphur fuel in SECA	Flexible Small investment	High operating cost in SECA Fuel change over procedures Lube oil TBN management Fuel availability?
CHANGE TO MGO Run full time on Marine Gas Oil (MGO)	Convenient No change over	High operating cost Future availability
CONVERT TO LNG Convert engines to run on gas (LNG)	A solution which also reduces NO ₂ and particulates	High investment cost LNG availability (lacking gas distribution infrastructure)
USE SCRUBBERS Install an exhaust gas cleaning system (scrubber)	Works with high S HFO Lowest total lifecycle cost Use everywhere Easy operation	ROI depends on fuel price difference between low S fuel oil and high S HFO

Cold ironing (shoreside power) is only possible at berth and as such not a clear alternative for vessels operating in SO_x emission control areas.

This study will concentrate on comparing scrubber installation & operation with MGO operation according to the annual fuel oil consumption.

2 General

The Wärtsilä Hybrid Scrubber is a combination of open- and closed-loop scrubber systems. In other words, it's an open loop scrubber with the added possibility of running the system in close loop mode for a limited period of time. The amount of time the scrubber runs in closed loop mode can be adjusted according to customer needs.

When operating the Wärtsilä hybrid scrubber in open loop mode, it runs on seawater and uses the natural alkalinity to remove SO_x from the exhaust gas stream. Caustic soda (NaOH) is added to the water when running the scrubber in closed loop mode to maintain the needed alkalinity level in the scrubbing water. The Wärtsilä hybrid scrubber is optimal for vessels operating mostly in high alkalinity areas, but with the need to enter low-alkalinity areas for short periods of time. Closed loop mode also enables zero effluent discharge mode for a limited period of time e.g. in sensitive area, if required. A schematic drawing of the hybrid scrubber is shown in Figure 1.

All Wärtsilä scrubber technologies are certified in accordance with IMO Resolution MEPC.184(59), Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems.

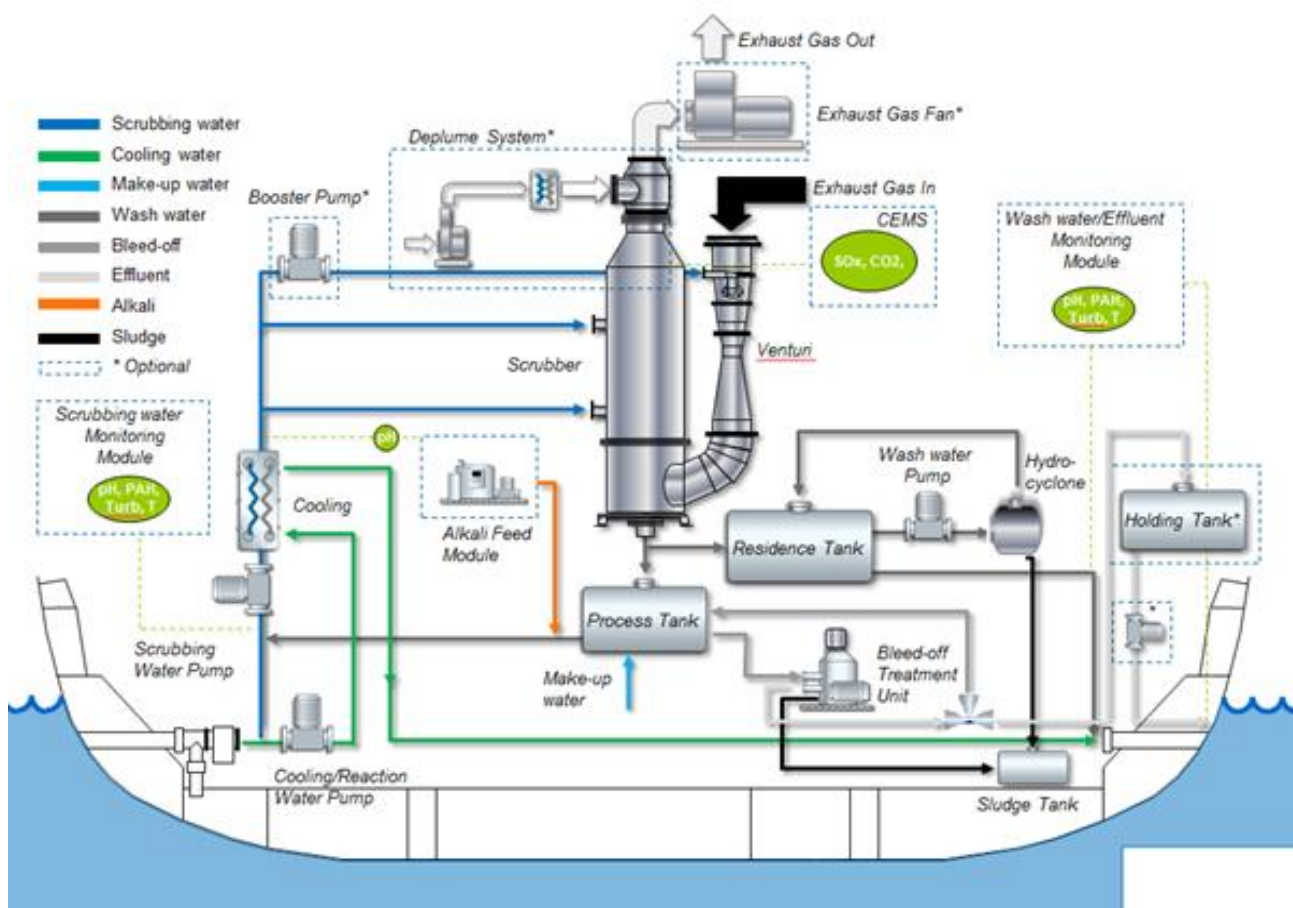


Figure 27. Hybrid scrubber system principle diagram

In order to make the feasibility study, certain information about the installation is required. This basic ship information used in the study for the calculations is presented in Table 2. The annual

fuel oil consumption is based on reported or according to the operational profile calculated fuel oil consumption. Scrubber sizing is based on the maximum combined gas flow from the combustion units. Sizing the scrubber for lower gas flow can decrease the investment cost.

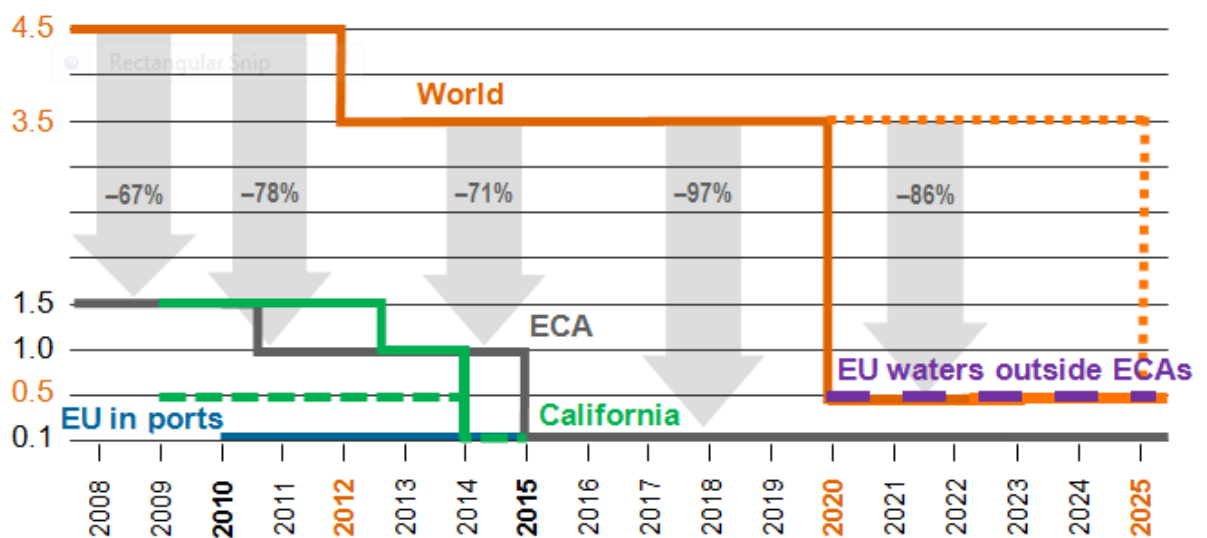
Table 10. Vessel data

Name of the vessel:	Vessel name	
Total main engine power:	10 000	kW
Annual fuel consumption Main Engines:	8 458	ton

3 Fuel sulphur limits

The following figure presents the sulphur limits set by IMO, EU and California Air Resources Board (CARB). IMO regulations contain global sulphur limits and SO_x Emission Control Areas (ECA) with more stringent criteria.

Sulphur limit (%)



Review of the 0.5% S global limit to be performed in 2018. In case readiness is not deemed to be sufficient by 2020, the introduction of the limit will be postponed to 2025.

- Fuel type** Not regulated = both HFO and distillate are permitted
- Exhaust gas cleaning** Permitted alternative under Regulation 4 to achieve any regulated limit
- Particulate Matter (PM)** No limit values.

Figure 28. Marine fuel oil sulphur limits

Currently, there are three designated IMO Emission Control Areas (ECAs) in effect globally. In EU-area the Emission Control Area (SO_x) contains the Baltic Sea, English Channel and parts of the North Sea. The North American ECA (SO_x , NO_x) encompasses most of the United States and Canada's coastal waters out to 200 nautical miles from the coastline. It includes also the eight main Hawaiian Islands. These existing ECAs are marked with dark grey in Figure 3.

A fourth area, the United States Caribbean Sea ECA, covering certain waters adjacent to the coast of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, will come into force on January 1st 2014.

In addition, there are several areas where ECAs have been investigated and hence could be designated in the future. These areas are shown in Figure 3 with light orange. As can be seen, the potential future ECAs coincide with the major shipping routes (shown in blue).

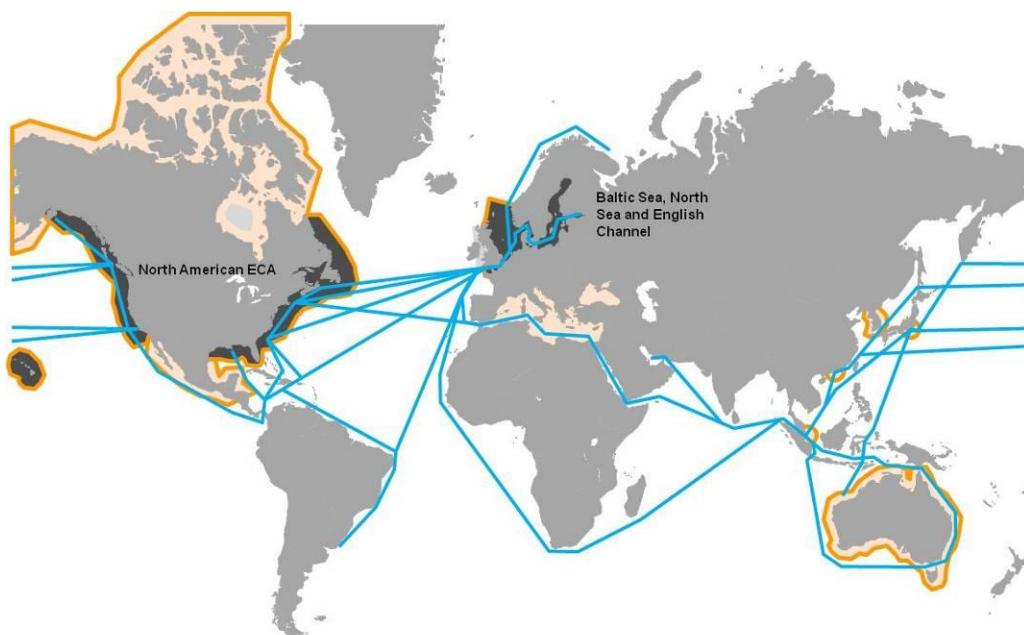


Figure 29. Current (dark grey) and envisaged (light orange) ECAs, and major shipping routes (blue).

Current maximum fuel sulphur limit in SO_x Emission Control Areas is 1.0 %. The sulphur limit in SO_x ECA will be further tightened to 0.1 % on 1st January 2015. The fuel sulphur limit in EU ports is already 0.1% for vessels at berth for more than two hours and not using shore power.

In this study the consumptions and operating costs are based on;

- 3.5 % sulphur Heavy Fuel Oil
- 0.1 % sulphur Marine Gas Oil (in case compliance is reached by low sulphur fuel)
- Fuel oil consumed in Emission Control Areas

The scrubber system sizing is based on 3.5 % sulphur fuel oil as a standard. Hence, the scrubber is designed to clean SO_x from HFO containing 3.5% sulphur to correspond to SO_x equivalent of 0.1% sulphur in fuel.

4 Alternatives for comparison

4.1 Integrated scrubber

Integrated scrubber is based on one unit that cleans the exhaust gases from all the 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. A schematic drawing presenting the integrated scrubber concept is shown in Figure 4. Please note that possible silencer(s), exhaust gas boilers(s) or SCR(s) shown in the picture are not part of the scope of this study.

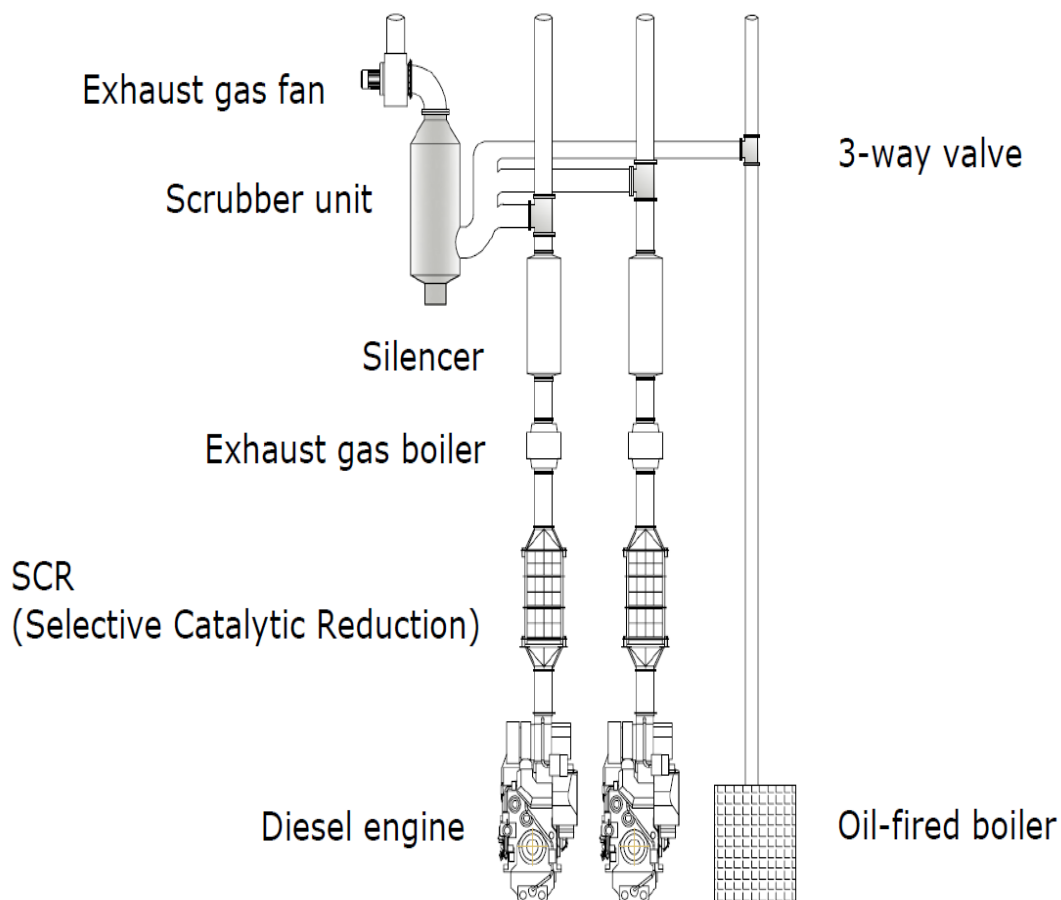


Figure 30. Schematic drawing of the integrated scrubber.

4.2 Main stream scrubber

Main stream scrubber alternative is based on a unit that cleans the exhaust gases from an individual engine to comply with the limits. Each engine is equipped with a dedicated scrubber. In case only the main engine is equipped with a scrubber and operating with high sulphur HFO, the auxiliary engines and oil-fired boilers use MGO to reach compliance. A schematic drawing presenting the main stream scrubber concept is shown in Figure 5. Please note that possible silencer(s), exhaust gas boilers(s) or SCR(s) shown in the picture are not part of the scope of this study.

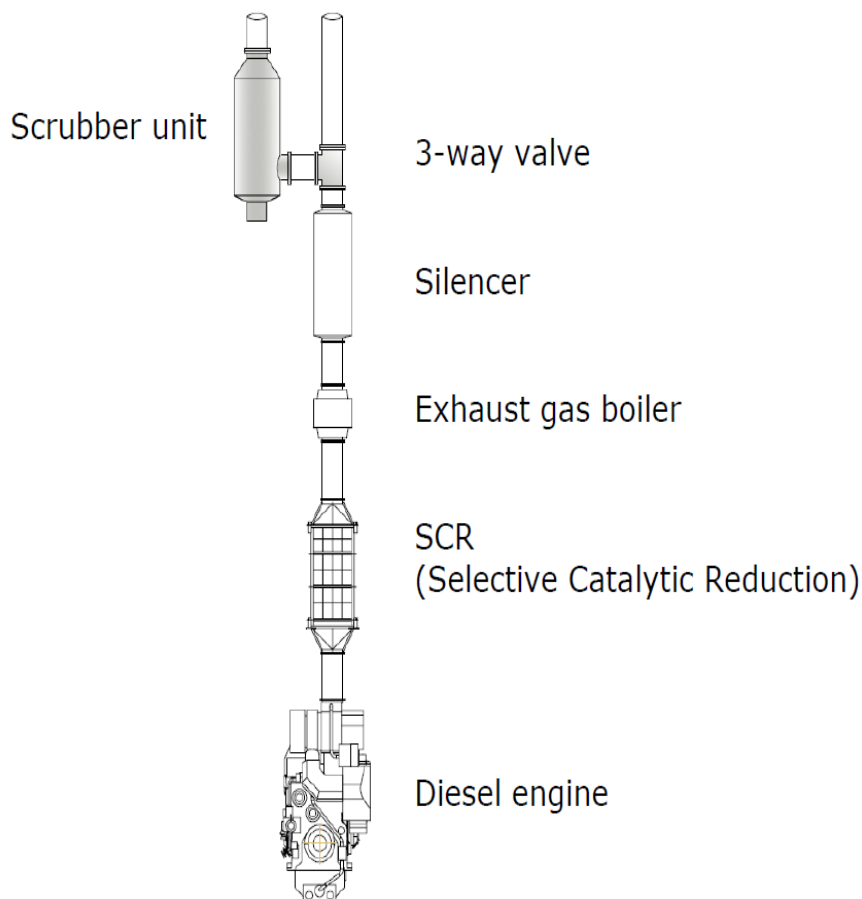


Figure 31. Schematic drawing of the main stream scrubber.

4.3 Compliance by fuel (running on MGO)

In this alternative the compliance is reached through the use of MGO, i.e., there is no scrubber. In case the vessel operates in and out of SECA, MGO is only used inside SECA, whereas high sulphur HFO is used outside SECA.

5 Investment and operating cost

5.1 Investment cost

The investment cost calculation is based on the following:

- Scrubber equipment
 - consisting of all the required equipment for SO_x scrubber system transported to 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.
- Revenue loss due to the installation time
 - according to customer's statement.

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

5.2 Operating cost

The actual operating cost depends on the time the Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) is in operation, i.e. the time spent in SECA. Also the scrubber operating mode (open loop/closed loop) affects the operating costs. The annual variable operating costs consist of:

- Fuel costs
- NaOH costs
- Sludge disposal costs
- HFO operation related additional engine maintenance costs (if any) and
- HFO operation related additional lube oil cost.

In addition to the variable operational costs, there may be fixed costs associated with the scrubber:

- EGCS maintenance cost
- Man power cost
- Possible revenue loss due to smaller cargo or passenger capacity.

Prospective environmental incentives might reduce the operational costs. More information about environmental incentives can be found e.g. on website www.esi.wpci.nl/.

Consumptions of fuel and NaOH

Fuel oil and NaOH consumptions have been calculated to match the given or calculated fuel oil consumption and the vessel data in Table 2. The results are shown in Figure 6.

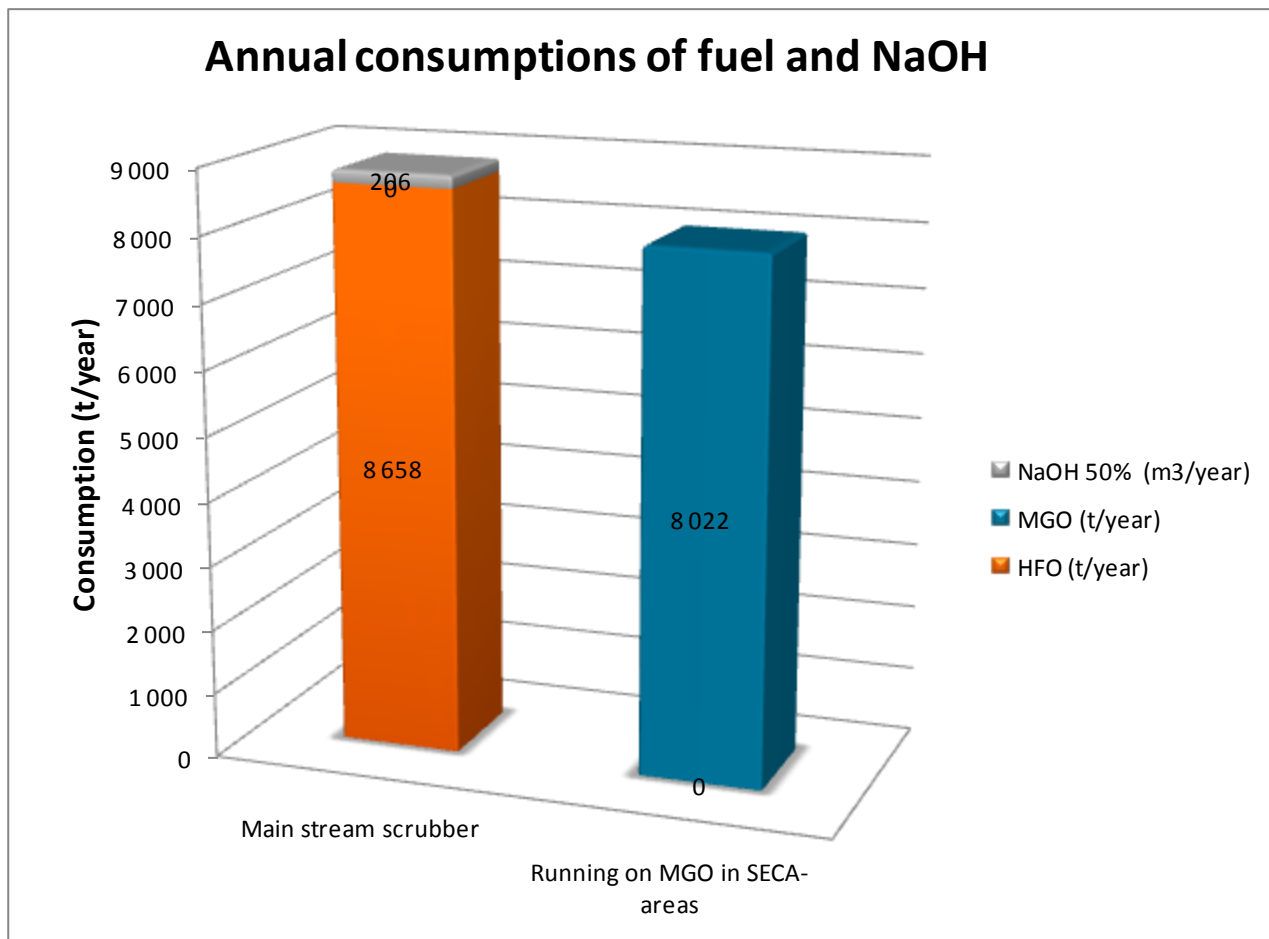


Figure 32. Annual consumptions of fuel, NaOH and freshwater.

The annual fuel oil consumption of the scrubber alternative is slightly higher due to the additional energy consumption of the scrubber system and the higher heat value of MGO compared to HFO. The scrubber will typically increase the power demand by ca. 2 % of the engine power. This power demand comprises the power to drive system pumps, fans and monitoring equipment.

NaOH consumption depends on the concentration of the solution, fuel oil consumption and fuel oil sulphur content. In this study the fuel oil sulphur content is assumed to be 3,5 %.

Prices applied in the study and cost comparison for the alternatives

Table 3 presents the prices that have been used in this study to calculate the operating costs. Figure 7 shows the annual operating costs for the alternatives.

Table 11. Prices and exchange rate applied in the study

Exchange rate:	1,34	\$/€
Price of HFO:	600	\$/ton
Price of MGO:	900	\$/ton
Price difference between HFO and MGO	300	\$/ton
Price difference between HFO and MGO	50	%
Price of 50% NaOH:	400	€/m ³
Sludge disposal cost:	150	€/ton
Lube oil cost:	1 800	€/ton
Additional engine maintenance cost when operating with HFO:	1,9	€/MWh
EGCS maintenance cost:	1	% of equipment investment cost
Man power cost:	0	€/a

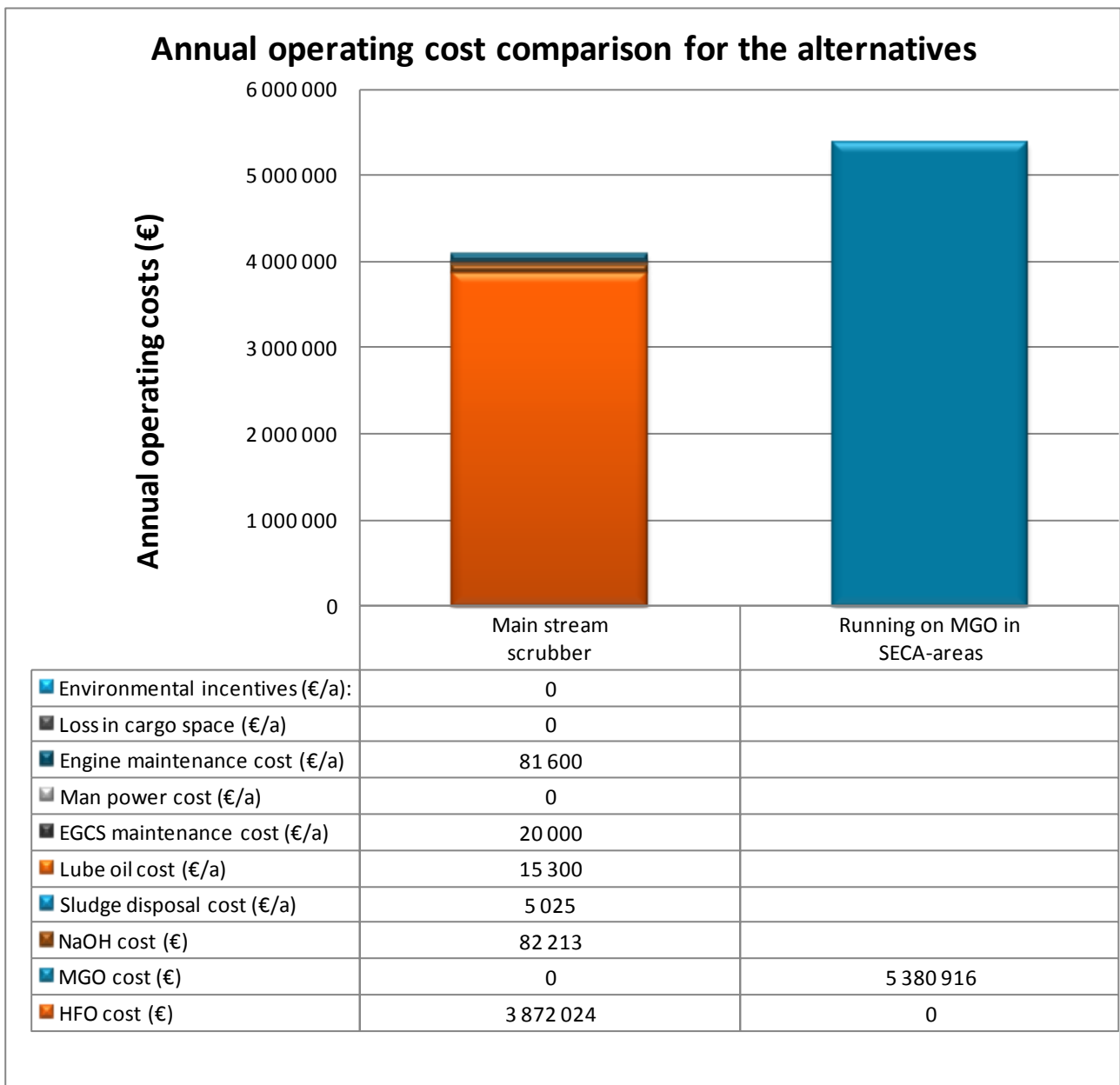


Figure 33. Annual operating cost comparison for the alternatives.

6 Sensitivity analyses

6.1 Operating cost savings and the payback time

Fuel price difference between HFO and MGO is the key factor in this study. Change in price difference affects directly the operating costs and payback time. To indicate this effect, Figure 8 shows the annual operating cost savings and the payback time of the scrubber installation versus the fuel price difference.

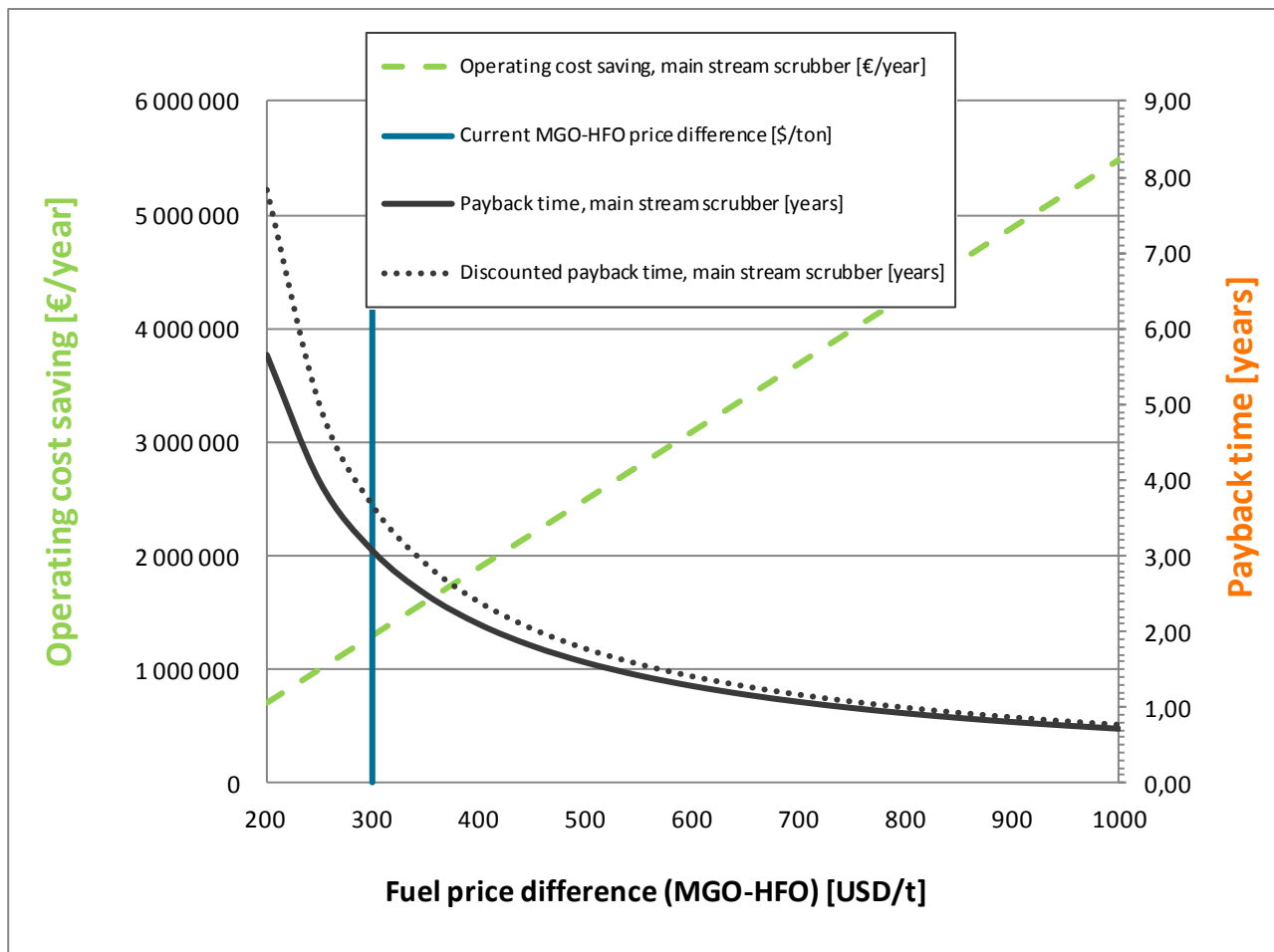


Figure 34. Operating cost savings and the payback time versus the fuel price difference.

6.2 Operational cost comparison

The comparison of Operational Expenditures (OPEX) of the alternatives is presented in Figure 9. In calculation the fuel prices follow 2 % annual increase according to the average inflation rate in euro-area. Calculation does not include the initial investment.

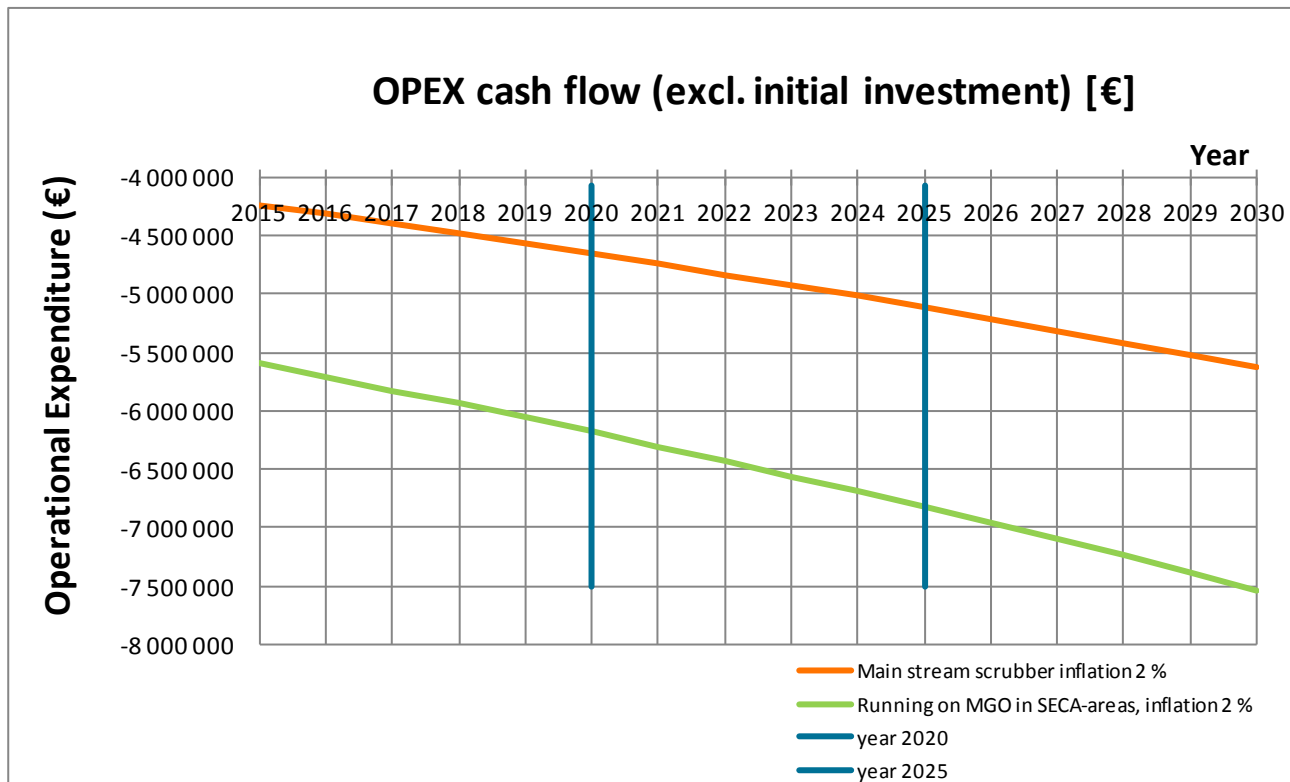


Figure 35. Comparison of operational expenditures (OPEX).

The global sulphur limit will be tightened to 0.5 % in 2020 or latest in 2025. If the compliance is reached through the use of MGO, it is expected that the fuel costs will increase remarkably after 2020/2025.

6.3 Net Present Value

Net Present Value (NPV) shows the current value of the investment. NPV is demonstrated in Figure 10. The alternative running on MGO represents the value of zero and the net present value of the scrubber investment is shown compared to that. If NPV is positive, it implies that the expected return is higher than the required return, and the investment can be considered to be viable. The investment period is equal to estimated vessel lifetime left (specified in Table 4).

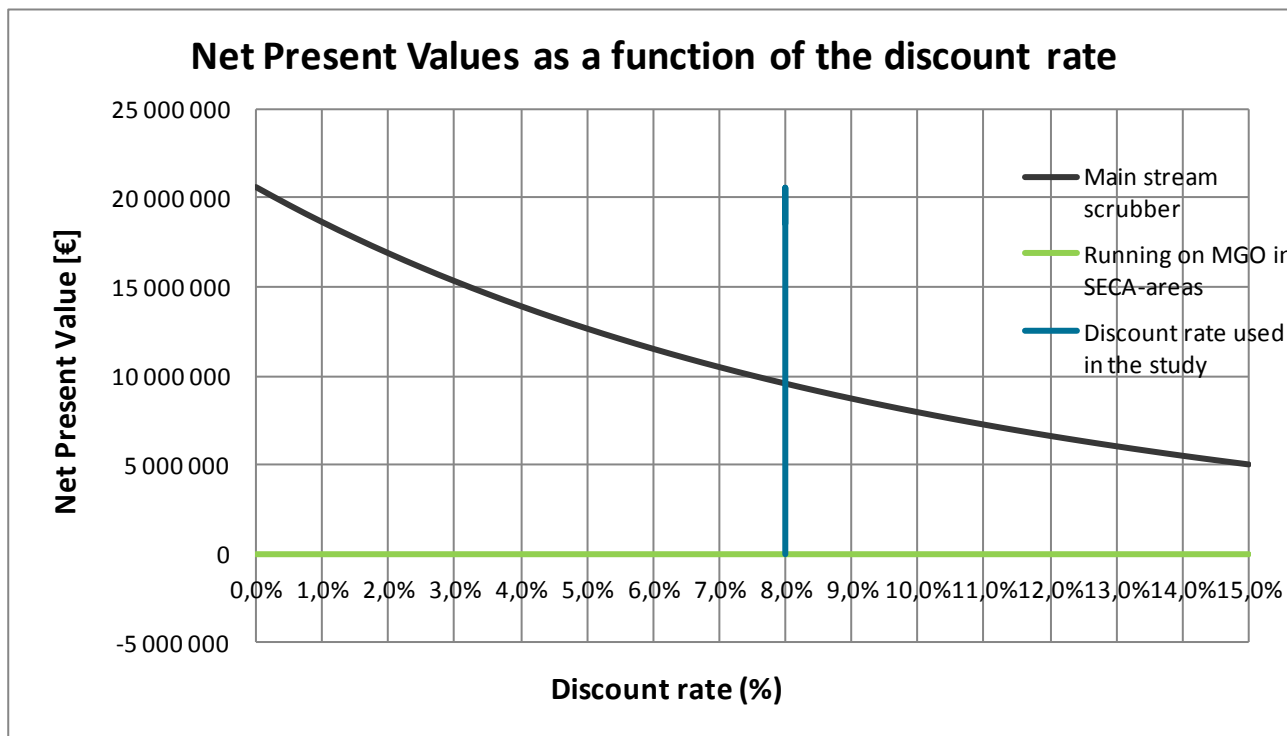


Figure 36. Net Present Value as a function of the discount rate

6.4 Discounted cumulative cash flow

Discounted cash flow (DCF) analysis is the process of calculating the present value of an investment's future cash flows in order to arrive at a current fair value estimate for the investment.

DCF-analysis is represented in Figure 11. Year 0 figures the year of installation. Positive discounted cash flows (cost savings by using the scrubber compared to running on MGO) are added each year. Payback period is located at the point where the present value of future cash flows becomes positive (intersection of x-axis).

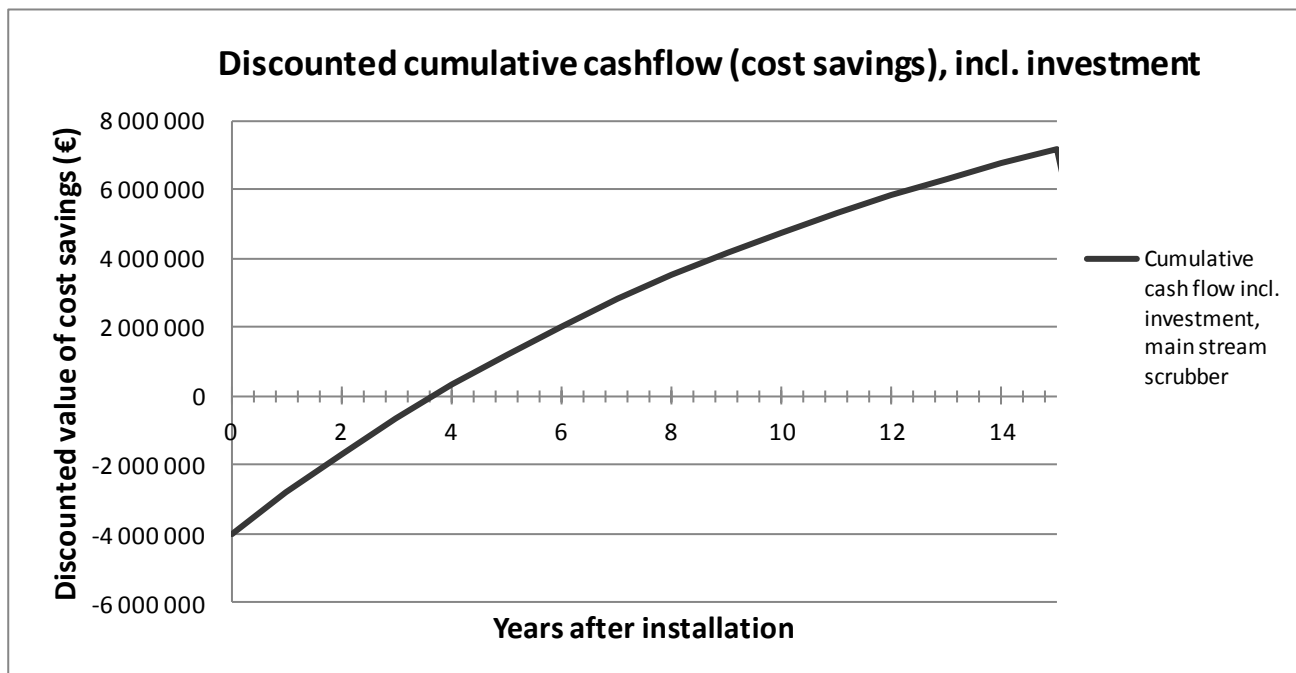


Figure 37. Cumulative discounted cash flow.

The investment period (the estimated vessel lifetime left) and the return on investment (discount rate) are specified in Table 4. Note that the calculation does not take into account any residual value of the equipment, although the resale value of the vessel might be higher because of the scrubber.

6.5 Time spent in SECA and payback period

Figure 12 demonstrates the payback period versus the time spent in SECA. The more operation in SECA, the higher the cost savings by using the scrubber compared to running on MGO and the shorter the payback time. The SECA percentage used in the study is based on operational profile and vessel data obtained from the customer (SECA % = MWh in SECA/Annual MWh total).

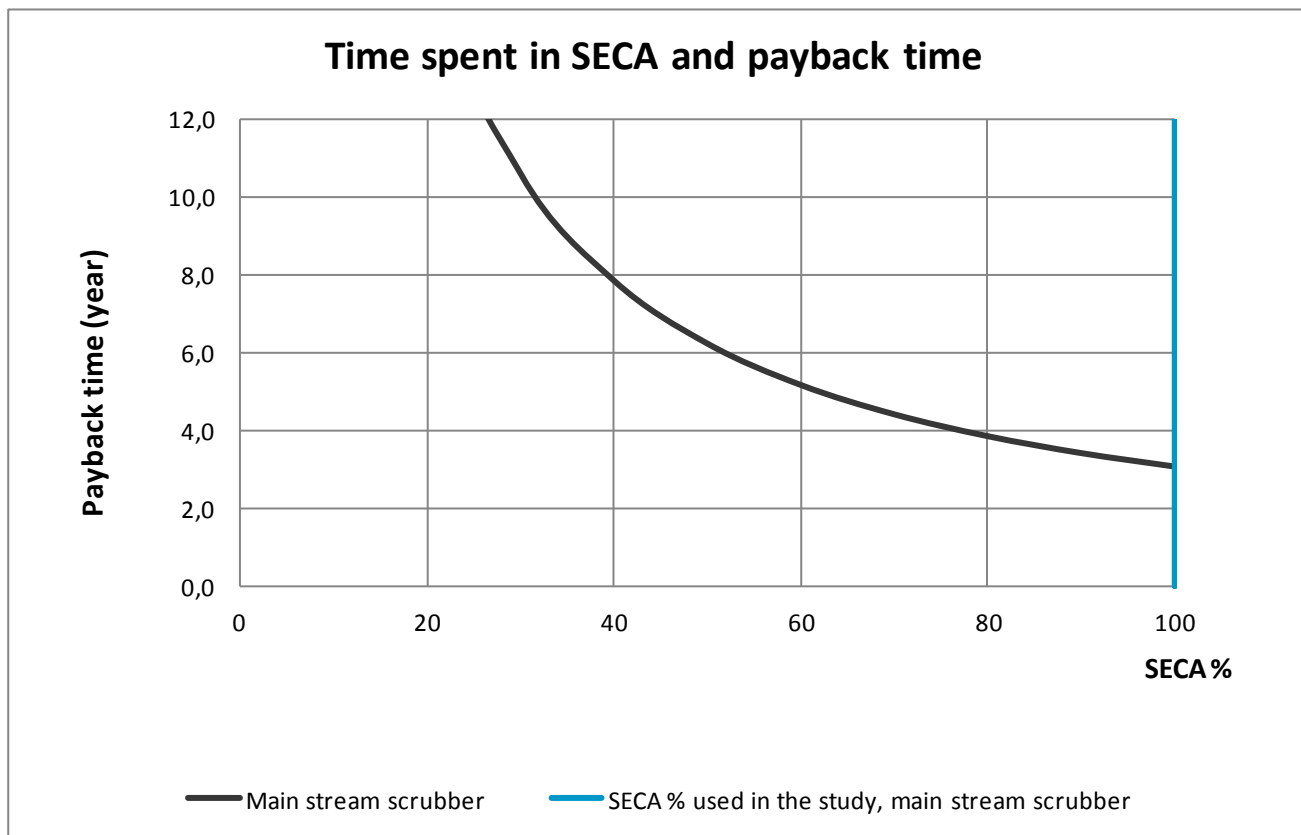


Figure 38. Time spent in SECA and payback time.

7 Summary

Table 4 summarizes the cost comparison showing investment and operating costs for the alternatives.

Lower end investment cost refers to a typical equipment cost for a similarly sized hybrid scrubber system, whereas the higher end investment cost refers to a typical turnkey project for the same. Table 4 shows also estimated investment cost of MGO conversion/fuel switch capability, if such is required. Scrubber system's payback time is calculated based on the annual savings with a scrubber vs. MGO operation compared to investment costs.

Discount rate represents the cost of capital. The discount rate takes into account the time value of money and the risk or uncertainty of the anticipated future cash flows. In this study the discount rate is used in NPV (Net Present Value) calculation and in cumulative cash flow analysis.

Discounted payback time describes the period when the discounted value of cost savings reach the investment cost.

In the calculations the investment time is expected to be equal to the estimated vessel lifetime left.

Internal rate of return (IRR) is an indicator of yield of the investment. This is the interest rate at which the net present value of all cash flows from the investment equal zero. In other words, IRR is the average annual return earned through the life of an investment.

Table 12. Cost comparison and payback time

	Main stream scrubber	Running on MGO
Investment cost lower end / equipment (€)	2 000 000	
Investment cost, installation (€)	2 000 000	
Revenue loss due to installation time (€)	0	
Investment cost higher end (€)	4 000 000	
Investment cost of MGO conversion/fuel switch capability		0
Annual operating cost (€)	4 076 162	5 380 916
Saving compared to MGO (€)	1 304 755	
Saving compared to MGO (%)	24%	
Payback time, HFO-MGO diff as now (years)	3,1	
Payback time, HFO-MGO diff 500\$/t (years)	1,6	
Discount rate %	8	
Discounted payback time diff as now (years)	3,7	
Discounted payback time diff 500 \$/t (years)	1,8	
Investment time (years)	15	
Internal rate of return, IRR (%)	30%	

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

It is expected, that when the demand of MGO increases, the price will go up, while the price for HFO will stay the same or even decrease. Figure 13 demonstrates the trend of fuel prices in the port of Rotterdam.

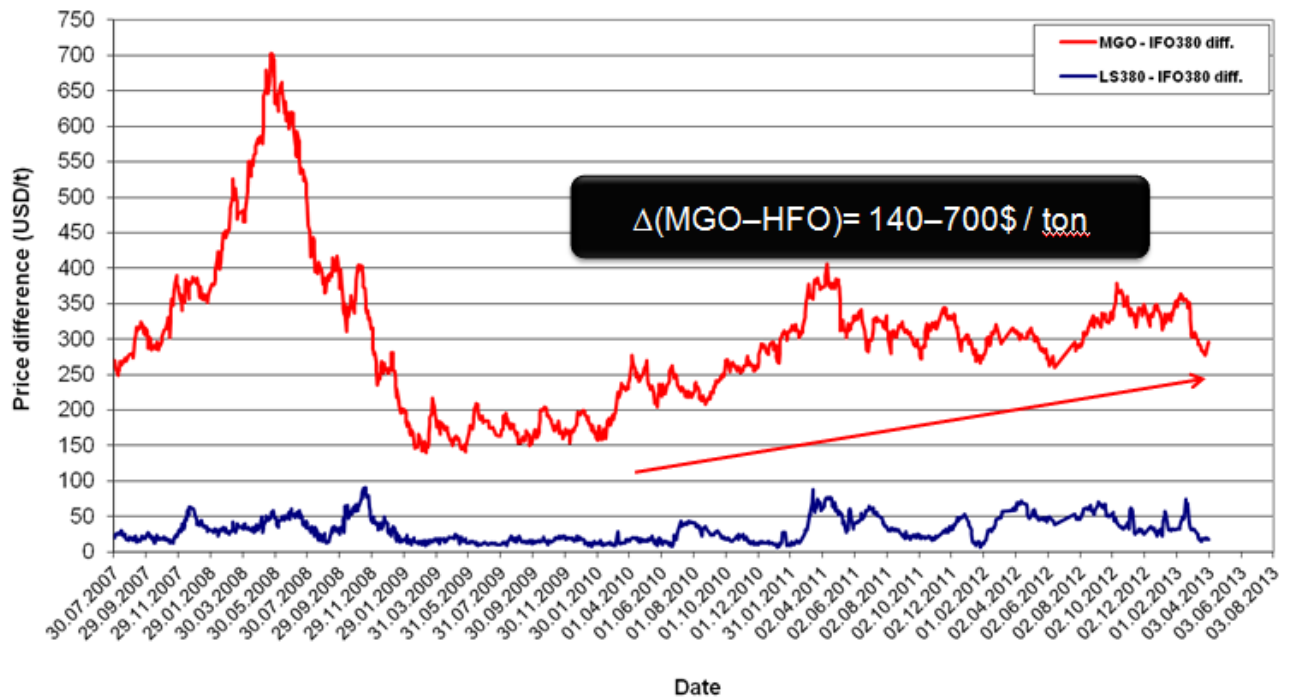


Figure 39. Fuel price differences in the port of Rotterdam.

8 Delivery time

Standard delivery time for the scrubber equipment is approximately 10 months. Taking into account the time needed for other aspects of the actual installation, the total turnkey project delivery time may end up in one year.

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