

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

merenkulun koulutusohjelma/merenkulkualan insinöörin sv.

Jose Hernandez

DIESELMOOTTORIN PAKOKAASUJEN PUHDISTUS RIKIN JA PIENHIUK-
KASTEN OSALTA M/S AILALLA

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

HERNANDEZ, JOSE	Dieselmoottorin pakokaasujen puhdistus rikin ja pienhiuk- kasten osalta M/S Ailalla
Insinööriyö	56 sivua
Työn ohjaaja	Lehtori Ari Helle
Toimeksiantaja	Langh Ship Oy Ab
Helmikuu 2011	
Avainsanat	rikki, rikkipesuri, rikkipäästöt, rikinpoisto, takaisinmaksu- aika, päästöt, dieselmoottorit, pakokaasut

Opinnäytetyö tehtiin suomalaisen varustamon, Oy Langh Ship Ab:n, toimeksiannosta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pakokaasujen puhdistusmahdollisuutta ja sen edullisuutta rikinoksidien sekä partikkelien osalta Langh Shipin aluksella M/S Ailalla. Työhön otettiin vertailtavaksi kaksi eri valmistajien rikkipesuria, joista laivalle paremmin sopiva ja edullisempi vaihtoehto piti saada selville. Vertailtaviksi pesureiksi varustamo valitsi Wärtsilän makeavesipesurin ja Hamworthyn merivesipesurin.

Aluksi työssä käsitellään pakokaasujen puhdistuksen teoriaa sekä päästörajoituksia pohjustuksena pesuriteknologian toiminnan selvittämiseksi. Tämän jälkeen käsitellään molempien pesurimallien toimintaperiaatteet ja operointivaatimukset valmistajilta saadun materiaalin mukaan. Pesureiden jälkiasennuksen kustannuksista valmistajat tekivät alustavat arviot, joiden avulla kustannuskysymystä tarkastellaan pesurihankinnan takaisinmaksuajan kannalta. Pesurin salliessa halvempien polttoaineiden käytön takaisinmaksuaika laskettiin nykyisen kevyen ja raskaan polttoöljyjen välillä vallitsevan hintaeron ja siitä muodostuvan säästön avulla. Lisäksi laskelmissa otettiin huomioon tulevaisuudessa polttoaineiden välillä vallitsevan hintaeron mahdollinen kasvu.

Edullisemmaksi vaihtoehdoksi laskelmien perusteella saatiin Hamworthyn merivesipesuri. Sen kokonaishankintakustannukset muodostuvat reilusti pienemmiksi edullisempien laitteistokustannusten ja helpomman asennustyön ansiosta. Myös operointikustannukset ovat edullisemmat laitteen pienemmän lisäainetarpeen ansiosta. Pesureita ei arvioitu toimivuuden kannalta vaan ainoastaan edullisuuden kannalta.

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

HERNANDEZ, JOSE

Removal of Sulphur Oxides and Particles from Exhaust
Gases of a Diesel Engine onboard M/S Aila

Bachelor's Thesis

56 pages

Supervisor

Lecturer Ari Helle

Commissioned by

Langh Ship Oy Ab

February 2011

Keywords

sulphur, SO_x- scrubber, sulphur emissions, payback time,
emissions, diesel engines, exhaust gases

This thesis was commissioned by Finnish shipping company Oy Langh Ship Ab. The aim of this thesis was to define the cleaning process of exhaust gases and its benefits regarding sulphur dioxides and particles onboard Langh Ship's M/S Aila. The definition was made by a comparison between two different scrubbers manufactured by Wärtsilä and Hamworthy. The purpose was to find out which of these was more suitable and profitable solution. The shipping company chose the scrubber solutions which they found most suitable to be studied in this thesis.

Firstly the theory behind SO_x-scrubbing and SO_x-limits is discussed as an introduction to scrubber technology. After that the working principles and operating requirements of the scrubber types are introduced as determined in the literature obtained from the manufacturers. The manufacturers made preliminary evaluations of retrofit installations of the scrubbers, and with the aid of these evaluations cost issue is viewed in terms of payback time. Due to the fact that scrubbers allow the use of cheaper fuels, the payback time was calculated on the basis of the savings gained from the price difference between low sulphur fuels and heavy fuel oils. The possible growth in price difference between the fuels in future was also taken into account.

It appeared during the writing process of the thesis that the more profitable solution in this case was Hamworthy's seawater scrubber. Its total costs are significantly lower because of cheaper equipment costs and easier installation. Also, the operating costs were lower due to a smaller need for additives. The scrubbers were not assessed by functionality but by their profitability.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	OY LANGH SHIP AB JA TOIMEKSIANTAJAN OPINNÄYTETYÖLLE ASETTAMAT VAATIMUKSET	7
3	RIKKIPÄÄSTÖT	9
	3.1 Rikkipäästörajat	9
	3.2 Rikkipäästöjen vaikutukset	11
	3.3 Rikki polttoaineessa	12
4	PIENHIUKKASPÄÄSTÖT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN PESURILLA	13
5	MERI- JA MAKEAVESIPESUPROSESSIEN KEMIAA	16
	5.1 Alkalisuus ja sen vaikutukset	16
	5.2 Meriveden alkalisuuteen vaikuttavat tekijät	17
	5.3 Kemialliset reaktiot	18
	5.4 Poistoveden laatu	19
6	WÄRTSILÄN MAKEAVESIPESURI	20
	6.1 Pesuprosessi	21
	6.2 Makeavesijärjestelmä	22
	6.3 Merivesijärjestelmä	23
	6.4 Alkalijärjestelmä	24
	6.4.1 Kulutus	24
	6.4.2 Varastointi	25
	6.4.3 Alkalin varastotankin lämmitys	26
	6.4.4 Varastotankin lisävarusteet ja laitteet	27
	6.4.5 Alkalinsyöttömoduuli	28
	6.5 Poistovesijärjestelmä	28

6.6	Säätö ja valvonta	29
6.7	Asennuksessa huomioon otettavia seikkoja	29
6.8	Esimerkki Wärtsilän makeavesipesurin asennuksesta	31
7	HAMWORTHYN MERIVESIPESURI	32
7.1	Pesuprosessi	33
7.2	Järjestelmän pumpput	35
7.3	Säätö ja valvonta	37
7.4	Poistovesijärjestelmä	37
7.5	Asennuksessa huomioon otettavia seikkoja	38
7.6	Esimerkki Hamworthyn merivesipesurin asennuksesta	38
8	PAKOKAASUPESURIN ASENTAMISEN VAATIMAT MUUTOSTYÖT LAIVALLA	40
9	KUSTANNUSLASKELMAT	42
9.1	Pesureiden kokonaishankintakustannukset	42
9.2	Kustannuslaskelmien malli ja sen käyttö	43
9.3	Esimerkki 1	46
9.4	Esimerkki 2	48
9.5	Laivojen ympäristötuki	50
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	50
	LÄHTEET	53

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oy Langh Ship Ab:n toimeksiannosta syksyllä 2010 ja keväällä 2011. Työn taustalla ovat maailmanlaajuiset laivojen pakokaasujen päästörajoitukset rikin osalta ja erityisesti Itämeren, Pohjanmeren sekä Englannin kanaalin eli niin sanottujen SECA-alueiden tiukentuneet rajoitukset. Koska Langh Shipin kaikki viisi laivaa liikennöivät kyseisillä vesialueilla, koskevat uudet säädökset erityisesti opinnäytetyön toimeksiantajaa, joka on kiinnostunut selvittämään keinoja pakokaasujen puhdistamiseksi eräällä laivoistaan ja sitä kautta saavuttamaan tiukentuneet päästörajoitukset.

Alittaakseen tiukentuvat päästörajoitukset laivoille jää käytettäväksi kolme vaihtoehtoa. Niiden tulee joko operoida kokonaan vähärikkisellä polttoaineella, päästörajoitusalueille saavuttaessa vaihtaa vähärikkiseen polttoaineeseen tai puhdistaa rikkioksidit pakokaasuista jälkikäsitteilymenetelmällä. (Heim 2008, 4.) Vähärikkiseen polttoaineeseen vaihtaminen normaalirikkisestä ei tämän opinnäytetyön tapauksessa tule kyseeseen, koska tutkimuskohteena olevan laivan liikennealue on käytännössä kokonaan rikkipäästöjen kontrollialueella. Vähärikkiset polttoaineet ovat kalliimpia kuin normaalirikkiset ja niillä operointi tulee nykyistä paljon kalliimmaksi (Kalli, Karvonen & Makkonen 2010, 2). Jäljelle jää vain pakokaasujen jälkikäsitteily, jos aiotaan välttää vähärikkisten polttoaineiden käytön tuomat lisäkustannukset laivan operointiin tai ainakin vähentää niitä.

Yksi tämän työn päätavoitteista on selvittää pakokaasujen puhdistuksen edullisuutta verrattuna vähärikkisellä polttoaineella ajamiseen. Työssä vertaillaan kahden eri valmistajan, Wärtsilän ja Hamworthy:n, pesureita, joiden toiminta, rakenne, hinta ja operointivaatimukset eroavat toisistaan. Laitteiden tarkoituksena on pestä rikkidioksidit pakokaasuista makean tai meriveden avulla ja näin ollen alittaa tiukentuneet päästörajoitukset käytettäessä normaalirikkisiä ja edullisempia polttoaineita (Lehikoinen 2009a, 3–5). Näiden järjestelmien asentamisen mahdollisuus, vaatimukset ja investointien suuruus sekä niiden takaisinmaksuaika on selvitettävä ja niitä on vertailtava toisiinsa halvemmän ja käyttökelpoisemmän vaihtoehdon selvittämiseksi.

Tässä opinnäytetyössä on kohteena Langh Shipin vuonna 2007 valmistunut 11 500 tdw:n konttialus M/S Aila. Se on Containershipsin rahtauksessa ja kuljettaa kontteja Itämeren ja Pohjanmeren alueella. Pääkoneena on Wärtsilän 8L46C, joka tuottaa noin 8400 kW tehoa. Pesuri on tarkoitus suunnitella vain pääkoneen pakokaasujen puhdistukseen, sillä laivan apukoneet ja kattila käyvät jo dieselillä. Tällä hetkellä Ailan pääkone käyttää raskasta polttoöljyä, jota on ohennettu dieselillä ja jonka rikkipitoisuus on noin yksi prosentti.

2 OY LANGH SHIP AB JA TOIMEKSIANTAJAN OPINNÄYTETYÖLLE ASETTAMAT VAATIMUKSET

Oy Langh Ship Ab on suomalainen yritys, jonka toimialaa on meriliikenteen tavarakuljetus. Siihen kuuluvat laivanvarustus ja tähän liittyvien palveluiden tuottaminen. Varustamolla on nykyään viisi laivaa: kaksi 11 500 tdw:n kokoista alusta, M/S Linda ja Aila, sekä kolme 6535 tdw:n alusta, M/S Laura, Marjatta ja Hjördis. Linda ja Aila ovat Containershipsin rahtauksessa konttiliikenteessä Itä- ja Pohjanmerellä. Kolme pienempää alusta ovat Ruukin rahtauksessa, ja ne kuljettavat teräskeloja Tornion terästehtaalta Hollantiin Terneuzeniin. Kaikki laivat ovat Suomen lipun alla ja työllistävät yhteensä hieman yli sata suomalaista ja virolaista merimiestä. (Langh Shipin yritystietoa 2010.)

Yrityksen kotipaikka on Kaarina ja sen pääkonttori sijaitsee Piikkiössä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2009 oli 15 453 000 euroa ja työntekijöitä Langh Shipillä on 115. (Oy Langh Ship Ab 2010.) Langh Ship on perheyritys, jonka on perustanut vielä nykyäänkin toimitusjohtajana oleva Hans Langh. Hänen kaksi tyttärtään, Laura ja Linda, ovat tulleet mukaan yritystoimintaan aikuistuttuaan. Nykyään vanhempi tytär Laura on yrityksen kaupallinen johtaja ja nuorempi tytär Linda jäsenenä hallituksessa. Molemmat omistavat osansa yrityksen osakkeista (Langh Shipin yritystietoa 2010). Yrityksen osakepääoma on 3 111 477 euroa (Oy Langh Ship Ab 2010).

Varustamon juuret ovat maanviljelyksessä, sillä Hans Langh oli alun perin maatalousyrittäjä. Hän laajensi alaansa teollisuuspesuun ja tutustui laivanvarustukseen laivojen pesemisen kautta. Langh teki ensimmäisen sijoituksensa alalle vuonna 1980 ja kolme

vuotta myöhemmin hän osti ensimmäisen laivansa, M/S Lauran. (Langh Shipin yritystietoa 2010.)

Yrityksen laivat soveltuvat niin bulkki- kuin konttilasteihin ja niiden tiedoissa lukee monikäyttöalus tai yleinen lastialus. Laivojen ruumissa on tehokkaat pesu- ja kuivausjärjestelmät ja ne on vahvistettu bulkkilasteja varten. Pesuvesitankit saadaan lämmitettyä. M/S Linda ja Aila on luokitettu jääluokkaan 1 A Super ja kolme pienempää alusta jääluokkaan 1 A. Kahdessa isommassa laivassa on 200 paikkaa jäähdytyskonteille ja pienemmissä 40. (Langh Shipin yritystietoa 2010.)

Langh Ship on panostanut teräksen kuljetukseen ja keksinyt uusia metodeja sen helpottamiseksi. Teräskelojen kuljetus oli ennen laivan vakauden kannalta hankalaa ja lastin kiinnitys vei aikaa. Yritys on patentoinut teräksen kuljetukseen suunniteltuja konttiratkaisuja sekä niin sanotut kehdot, joiden avulla teräskelojen kuljetus on saatu turvallisemmaksi ja lastaus nopeammaksi. Muun muassa nämä keksinnöt ovat vaikuttaneet siihen, että yritykselle on myönnetty useita palkintoja, kuten Seatrade Awards vuonna 2003 ja Sea Sunday -turvallisuuspalkinto vuonna 2005. (Langh Shipin yritystietoa 2010.)

Langh Ship on tutkinut rikkipesurien asennusta laivoihinsa ennenkin. Wärtsilä on tehnyt tutkimuksen rikkipesurin asentamisen taloudellisuudesta kaikille viidelle alukselle. Tutkimukset tehtiin vuonna 2008 pienemmille ja vuonna 2009 isommille laivoille. (Lehikoinen 2009a; Haikola 2008.) Näitä tutkimuksia sovelletaan osittain tässäkin opinnäytetyössä. Tarve kolmannelle tutkimukselle on vielä olemassa, sillä Wärtsilän tutkimuksissa on keskitytty vain laitteen kustannusten takaisinmaksu-aikaan. Lisäksi on selvitettävä Hamworthyn merivesipesurin tarjoama mahdollisuus ja laitteiden erot.

Langh Shipin edustajana työssä on yrityksen konetarkastaja. Hänen kanssaan on käyty keskustelu 25.5.2010, jossa sovittiin ja suunniteltiin opinnäytetyön tavoitteita. Asioita on selvitetty myös kirjeenvaihdon ja puhelinkeskusteluiden välityksellä. Toimeksiantajan vaatimuksesta opinnäytetyössä käsitellään Hamworthyn merivesipesuria ja Wärtsilän makeavesipesuria, joka toimii makean veden ja 50-prosenttisen natriumhydroksidin avulla. Muita rikinpoistomahdollisuuksia, pesurin versioita tai muiden val-

mistajien pesureita ei käsitellä tässä tutkielmassa. Opinnäytetyön otsikko on toimeksiantajan sanelema, ja tavoitteita on rajattu jo otsikossa. Opinnäytetyön päätavoitteena on rikkipesurien hinnan ja asennuksen takaisinmaksuajan selvittäminen. Molempien vaihtoehtojen laitteistojen hinnat, asennuskustannukset ja käyttökustannukset tulisi saada selville. Tuloksia tulee vertailla keskenään edullisemman vaihtoehdon selvittämiseksi. Opinnäytetyön toisena tavoitteena on selvittää, onko asennus edes mahdollista, ja jos on, kuinka suuria ja kalliita muutoksia tulisi tehdä. Kolmantena tavoitteena on selvittää Wärtsilän makeavesipesurin ja Hamworthyn merivesipesurin toimintaperiaatteet ja niiden erot yksityiskohtaisesti suomen kielellä. Toimintaperiaatteiden taustalla olevaa teoriaa on myös pyritty selvittämään, vaikka toimeksiantaja ei sitä vaatinut.

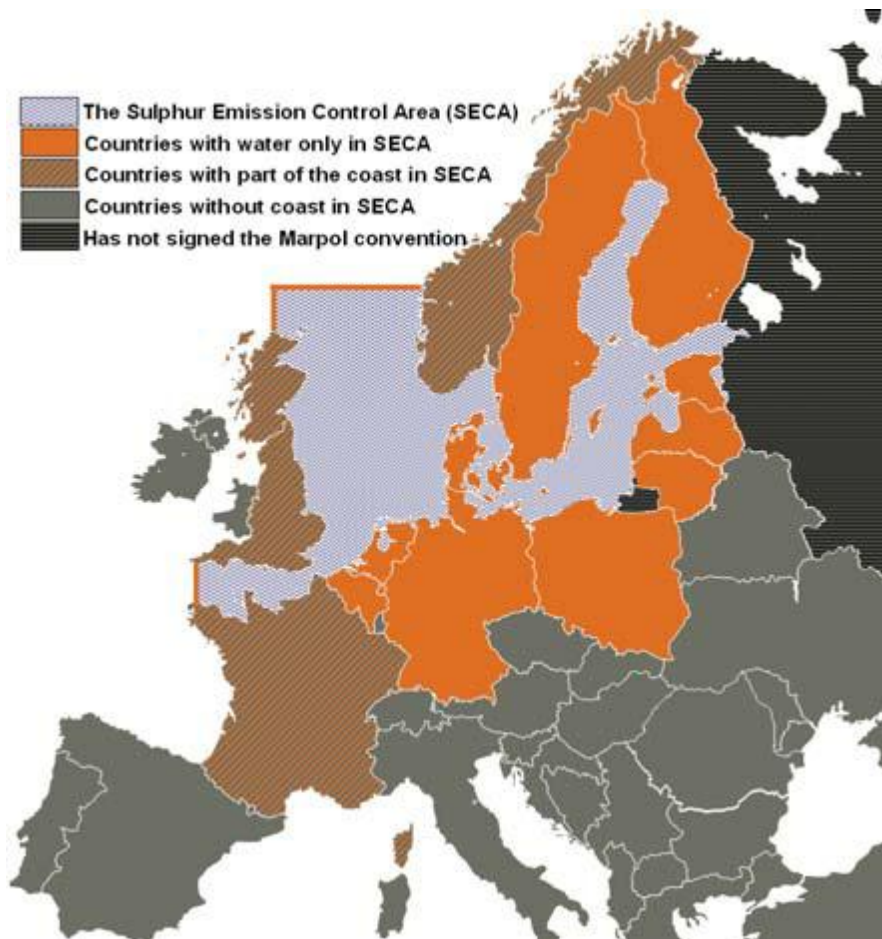
3 RIKKIPÄÄSTÖT

Rikin puhdistus laivapolttoaineista on ajankohtainen asia rikkipäästörajoiden kiristytessä. Maapuolella rikkiä on poistettu jo usean vuosikymmenen ajan niin voimalaitospuolella kuin ajoneuvopuolellakin. Ajoneuvopuolella on keskitytty rikittömiin polttoaineisiin ja voimalaitospuolella pakokaasujen jälkikäsitteilyyn rikin poistamiseksi. Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi syyt rikinpoistoon, rikkipäästörajat laivoille ja rikki polttoaineessa.

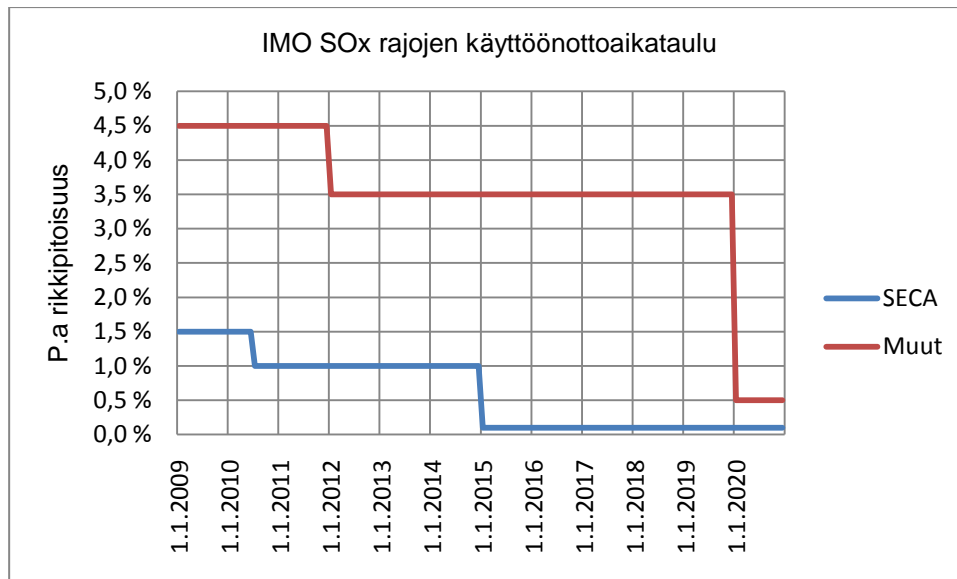
3.1 Rikkipäästörajat

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO päätti lokakuussa 2008 uusista rikkipäästörajoista, jotka on esitetty MARPOL 73/78 -yleissopimuksen liitteessä VI, säännöksessä 14. Maailmanlaajuisesti alusten polttoaineen maksimirikkipitoisuusraja on tällä hetkellä 4,5 prosenttia, mutta vuodesta 2012 lähtien se alenee 3,5 prosenttiin ja vuonna 2020 0,5 prosenttiin. 1.7.2010 polttoaineen sallittu rikkipitoisuus laski SECA-alueilla (SO_x-emission controlled areas - rikkipäästöjen kontrollialue) 1,5 prosentista 1,0 prosenttiin. Kontrollialueilla polttoaineen sallittu rikkipitoisuus laskee taas vuonna 2015, silloin jo 0,1 prosenttiin. EU:n satamissa on ollut jo vuoden 2010 alusta sääntönä, että laivat saavat polttaa vain vähärikkistä polttoainetta, jossa on 0,1 prosenttia rikkiä. Säännöstä 14 tarkastellaan uudestaan viimeistään vuonna 2018 ja silloin tarkastetaan,

onko 0,5 prosenttia rikkiä sisältävän vähärikkisen polttoaineen saatavuus maailmanlaajuisiin rajoituksiin nähden tarpeeksi hyvä. Vaihtoehtona vähärikkisten polttoaineiden käytölle on pakokaasujen puhdistaminen rikin osalta pesurilla, mikä sallitaan keinona rikkipäästörajojen alittamiseksi MARPOL 73/78 – yleissopimuksen VI liitteessä. (Lehikoinen 2009a, 3.) Kuvasta 1 käy ilmi Itä- ja Pohjanmeren SECA-alueen rajat. Kuvassa 2 on taulukoitu rikkipäästörajat sekä niiden voimaantulovuodet.



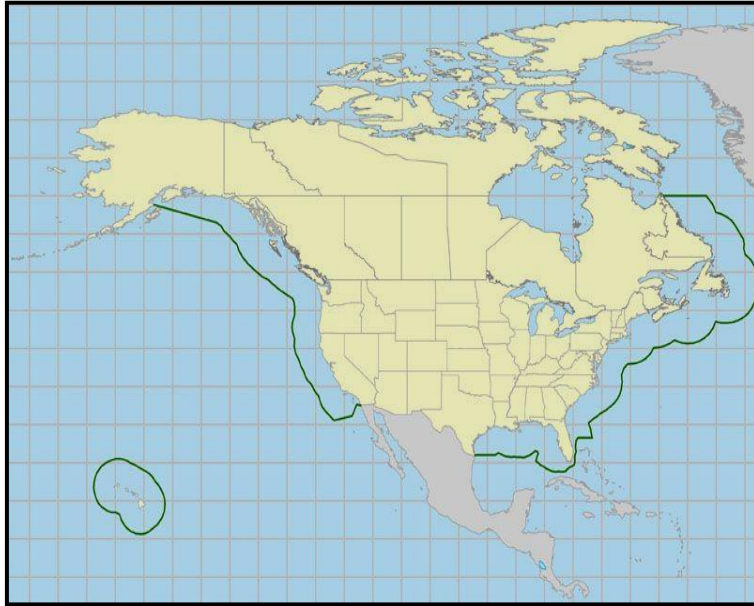
Kuva 1. SECA-erityisalue (Itämeri, Pohjanmeri [62° pohjoista leveyttä ja 4° läntistä pituutta] ja Englannin kanaali [5° läntistä pituutta]) (Haapasalo 2010, 1)



Kuva 2. Rikkipäästörajat (Ahola 2010, 48)

3.2 Rikkipäästöjen vaikutukset

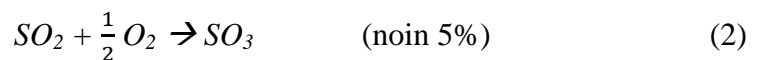
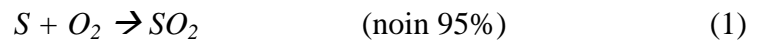
Rikkipäästöjen vähentämistarve ei liity ilmastonmuutokseen eikä rikkipäästöillä ole vaikutusta Itämeren rehevöitymiseen. Tarve vähentää rikkipäästöjä liittyy pienhiukkasten aiheuttamiin terveysvaikutuksiin rannikkoalueilla. (Haapasalo 2010, 2.) Pienemmät hiukkaset tunkeutuvat ihmisen hengitysteihin, ja erään tutkimuksen mukaan merenkulun pienhiukkaspäästöt aiheuttavat maailmassa 62 000 – 64 000 ennenikäistä kuolemaa (Kalli, Karvonen & Makkonen 2009, 33). Lisäksi rikki hapettuaan ja ilmakehään joutuessaan reagoi veden kanssa muodostaen happoja, jotka aiheuttavat niin sanotun happaman laskeuman maahan sataessaan (Lahtinen 2008, 1). Edellä mainitut syyt ovat johtaneet siihen, että USA ja Kanada ovat vaatineet päästörajoitusalueita omille aluevesilleen ja talousvyöhykkeelleen 200 meripeninkulman päähän rannikosta (kuva 3). IMO:n päätöksen mukaisesti nämä alueet liitetään päästörajoitusalueisiin vuonna 2012. (Henriksson 2009, 14.) Myös koneikkojen osalta rikillä on haittapuolensa, sillä palamistapahtumassa syntyneet savukaasut voivat sisältää rikkihappoa kaasumaisessa olomuodossa. Jäähtyessään kastepisteen alapuolelle savukaasut tiivistyvät nestemäiseksi rikkihapoksi, joka taas tiivistyessään aiheuttaa korroosiota esimerkiksi pakokaasukattiloissa ja korsteenin putkissa. (Wright 2000, 41.)



Kuva 3. Pohjois-Amerikan suunniteltu ECA-alue (Ahola 2010, 51)

3.3 Rikki polttoaineessa

Poltettaessa öljyä on sen sisältämä rikki ympäristön kannalta vaikein päästö. Se hapetuu lähes sataprosenttisesti rikkidioksidiksi ja muutama jäljelle jäävä prosentti hapetuu rikkitrioksidiksi. Käytännössä kaikki öljyn sisältämä rikki muuttuu palamistapahtumassa savukaasuksi poltto-olosuhteista riippumatta, sillä öljyn tuhka ei juurikaan pysty sitomaan rikkiä. Rikkipäästöjen suuruuteen ei siis voida vaikuttaa moottoriteknisesti esimerkiksi palamistapahtumaa muuttamalla, vaan päästöjen määrä riippuu polttoaineen rikkipitoisuudesta. (Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006, 119.)



Raskasöljyn sisältämä rikkimäärä vaihtelee riippuen siitä, mistä päin maailmaa öljy on peräisin. Vaihtelu voi olla 0,5 – 4 prosenttia. Polttoaineen rikkipitoisuus vähennetään tarvittulle tasolle öljynjalostamoilla. (Ahola 2010, 34-35.) Aikaisemmin vähärikkistä raskasta polttoöljyä valmistettiin yleensä vain vähärikkisestä raakaöljystä, koska rikin poistoon ei ollut taloudellista ratkaisua. Viime vuosina on jalostuksessa tullut mahdolliseksi ja taloudelliseksi poistaa rikkiä myös raskaista öljyistä. (Raskaan polttoöljyn

käyttöopas 2006, 12 ja 19.) Tämä tehdään poistamalla rikki katalyyttisesti vedyttämällä. Katalyyttiä tarvitaan, jotta reaktio tapahtuisi korkeassa lämpötilassa ja vetypaineessa. Syntynyt rikkivety erotetaan reaktiotuotteesta ja ohjataan talteenottoon. (Hirsso 2010, 17.) Rikkipäästörajojen laskiessa tulee vähärikkisen polttoaineen kysyntä kasvamaan ja uusien, rikinpoistotehokkuuksiltaan riittävien jalostamojen tarve kasvaa. EU:n komission tekemän selvityksen mukaan jalostamojen täytyisi lisätä rikinpoistokapasiteettiaan huomattavasti, mistä aiheutuisi jopa 13 miljardin euron lisäinvestoinnit. Investoinnit siirtyisivät lopulta polttoaineiden hintoihin kasvattaen niitä 60 – 70 prosenttia. (Haapasalo 2010, 2.)

Vähärikkiset polttoaineet siis ovat nykyään ja tulevaisuudessakin kalliimpia kuin runsaampiriikkiset polttoöljyt. Eri laatujen välisen hintaeron ja matalariikkisten laatujen saatavuuden arviointi on hankalaa, mikä johtuu useista hintaan ja saatavuuteen vaikuttavista muuttujista. Siksi eri arvioihin on syytä suhtautua varauksella. Käytännössä 0,1 prosenttia rikkiä sisältävä polttoaine olisi kevyttä polttoöljyä, jonka käyttö tulisi kalliimmaksi kuin normaalirikkisen raskasöljyn käyttö sen valmistustavasta ja valmistustavan lisäinvestoinneista johtuen. (Kalli, Karvonen & Makkonen 2009, 2, 18 & 36.)

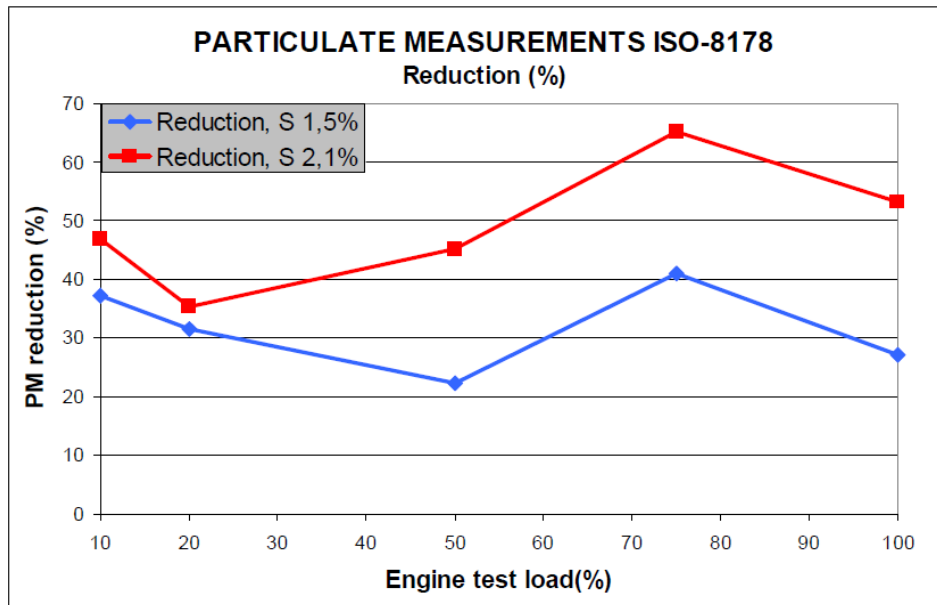
4 PIENHIUKKASPÄÄSTÖT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN PESURILLA

Pienhiukkaset syntyvät ja pääsevät ilmakehään muun muassa polttoaineita poltettaessa. Ne voivat olla kiinteässä tai nestemäisessä olomuodossa ja aiheuttavat pakokaasujen savun mustan värin. Pääasiassa pienhiukkaset ovat hiilikertymiä, joihin kiinnittyy eri ainesosia esimerkiksi dieselmoottorin palotilan lämmönmuutoksen seurauksena. Hiukkaspäästöjen määrään vaikuttavat palamistapahtuman laatu ja polttoaineen koostumus, johon kuuluvat muun muassa polttoaineen rikki- ja tuhkapitoisuus. (Ahola 2010, 18.) Polttoaineen rikkipitoisuuden alentaminen vaikuttaa lineaarisesti hiukkasten massamäärään, joten tiukentuvat rikkipäästörajat tulevat vaikuttamaan pienhiukkaspäästöjen määrään niitä vähentävästi. Pienhiukkasten määrää ei rikkipäästörajoissa kuitenkaan suoranaisesti rajoiteta. (Kalli, Karvonen & Makkonen 2009, 33.)

Pesurissa savukaasun sisältämät hiukkaset tarttuvat syötetyn pesuveden nestepisaroihin ja siirtyvät pesuvedeen. Pesunestevirta hajotetaan suuttimilla erikokoisiksi pisa-

roiksi ja ruiskutetaan savukaasuvirtaan, jolloin pisarat joutuvat alttiiksi hiukkasten törmäyksille. Pesupisaroiden ja savukaasun hiukkasten välinen suhteellinen liike on erotustehokkuuden kannalta tärkeää. Hiukkasten sidonta perustuu törmäyksiin sekä suoraan pidätykseen eli hiukkasen kiinnittymiseen pisanan pintaan. Pienemmillä hiukkasilla myös diffuusio eli ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan, on tärkeä erotustekijä. Kaikkein pienimpiä hiukkasia ei saada märkäpesurillakaan pestyä pois kokonaan. Hiukkasten suurin keräystehokkuus saavutetaan pienillä pisaroilla ja mahdollisimman suurilla pisaroiden ja hiukkasten nopeuseroilla. (Ohlström 1998, 49-50.)

Wärtsilä on testannut makeavesipesuriaan M/T Suulalla. Testeissä otettiin huomioon myös pienhiukkaspäästöt. Näytteet pakokaasuista otettiin ennen pesuria sekä sen jälkeen ja polttoaineina käytettiin rikki- ja hiilipitoisuudeltaan 1,5-prosenttista ja 2,1-prosenttista polttoainetta. Molemmilla polttoaineilla testattiin pesurin viittä eri kuormitustasoa (10 %, 25 %, 50 %, 75 % ja 100 %). (Filancia 2009, 40.) Oheisesta kuvan 4 diagrammista näkee, että pienhiukkaset saatiin puhdistettua parhaiten koneen kuormituksen oltua yli 70 prosenttia. Tällöin hiukkaspäästöjä saatiin vähennettyä käytettäessä rikki- ja hiilipitoisuudeltaan 2,1-prosenttista polttoainetta noin 65-prosenttisesti ja käytettäessä 1,5 prosenttista polttoainetta vähennystä saatiin hieman yli 40 prosenttia.



Kuva 4. Pienhiukkasten väheneminen pesurissa M/T Suulalla (Filancia 2009,41)

Tanskassa teolliset toimijat ja viranomaiset ovat tehneet tutkimuksia ja kokeita pesuri- en taloudellisuudesta. Yhdessä tutkimuksessa oli käytössä Aalborgin kehittämä pesuri, joka puhdisti pakokaasuja joko merivedellä tai makealla vedellä, johon oli lisätty lipe- ää. Pesuria testattiin MAN Diesel -tutkimuslaitoksella. Tulokset kertoivat, että rikki- päästöt saatiin puhdistettua 98-prosenttisesti ja hiukkaspäästöt vähennettyä 80- prosenttisesti käytettäessä normaalirikkisiä polttoaineita. (Danmarks rederiförening 2009.)

Hamworthy on asentanut oman merivesipesurinsa Pride of Kent- ja Zaandam-nimisiin aluksiin. Molemmilla aluksilla merivesipesurilla saatiin 70 prosentin vähennys pien- hiukkaspäästöihin. (Johannessen & Gannefors 2010, 25-26.)

Määriteltyjä rajoja hiukkaspäästöille ei vielä ole olemassa. On kuitenkin odotettavissa, että tulevaisuudessa myös niiden määrää rajoitetaan asetuksilla, sillä monet IMO:n jä- senvaltioista kannattavat hiukkaspäästöjen rajoittamista (Vagslid 2007, 3). SECA- alueilla pesureiden käyttö sallii runsaampirikkipisten ja huonolaatuisempien polttoainei- den polton, mikä lisää palamistapahtumassa syntyvien hiukkasten määrää. Runsaam- pirikkisten polttoaineiden käytön ei kuitenkaan pitäisi kasvattaa hiukkaspäästöjen määrää, koska rikkipesurit pesevät rikinpoiston sivuvaikutuksena hiukkaspäästöistä noin 60 – 80 prosenttia pois. Erään väitteen mukaan hyvälaatuisten tislattujen poltto-

aineiden käyttö vähentäisi hiukkaspäästöjä 35 prosenttia ja pesurin käyttö 85 prosenttia (Winkler, 19). Toisen tutkimuksen mukaan 0,1 prosenttia rikkiä sisältävän polttoaineen käyttö vähentäisi hiukkaspäästöjä 65 prosenttia (Friends of Earth 2008, 2).

5 MERI- JA MAKEAVESIPESUPROSESSIEN KEMIAA

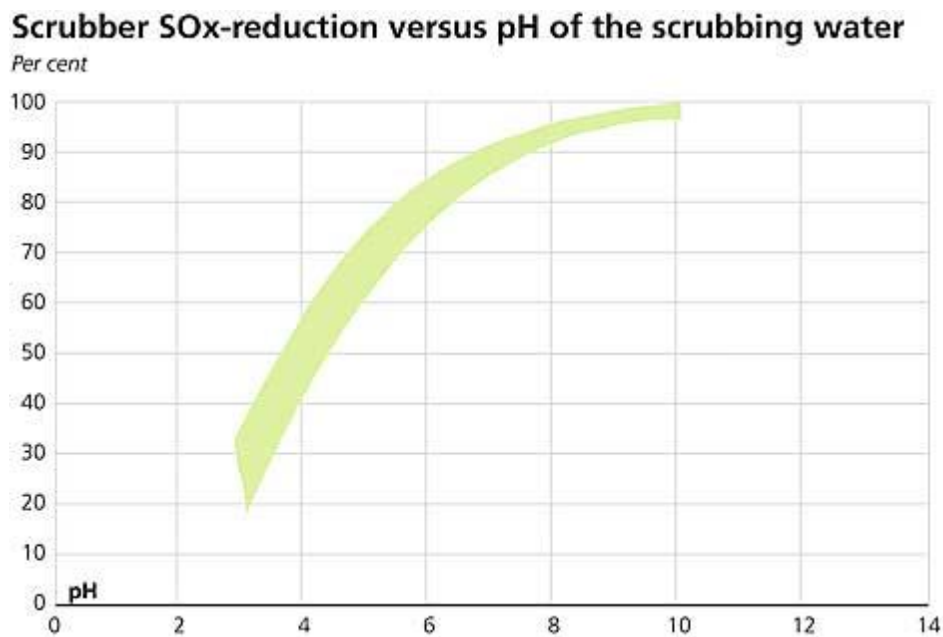
Tässä luvussa selvitetään, mitä on alkalisuus ja mikä on sen vaikutus rikinpoistotehokkuuteen. Alkalisuuden määrään vaikuttavat tekijät käsitellään lyhyesti ja näiden avulla Itämeren meriveden soveltuvuutta rikkipesurin pesuvedeksi havainnollistetaan. Lisäksi pesuprosessien kemiallisia reaktioita selvitetään kaavojen avulla. Itämeren meriveden alkalisuuden määrää havainnollistetaan kuvan 6 avulla ja kuvan 5 taulukossa on tietoa siitä, kuinka pesuveden pH-pitoisuus vaikuttaa rikinpoistotehokkuuteen.

5.1 Alkalisuus ja sen vaikutukset

Alkalisuus on mittayksikkö, jolla mitataan veden puskurointikapasiteettia ja emäksen kapasiteettia neutralisoida happoja. Alkalisuus ei siis viittaa ainoastaan pH-arvoon, vaan käsitteenä se tarkoittaa myös veden kykyä vastustaa pH:n muutosta. Puskurimateriaaleja ovat pääasiassa bikarbonaatit ja karbonaatit, mutta myös hydroksidit, boraaatit, silikaatit, fosfaatit, ammoniumi, sulfidit ja orgaaniset yhdisteet. Ne helpottavat happojen neutralisoimista ja kaikista niistä muodostuu alkalisuuden kokonaismäärä, A_T . Vedet, joiden alkalisuus on vähäistä, ovat alttiita pH:n muutoksille, kun taas vedet, joiden alkalisuuden määrä on suuri, kykenevät vastustamaan suuriakin pH:n muutoksia. Mitä enemmän happoja veteen lisätään, sitä enemmän veden pH-arvo laskee ja veden puskurointikapasiteettia kulutetaan. (Murphy 2007.)

Rikin happojen neutralisointiprosessin liikkeelle paneva tekijä on veden alkalisuus. Merivesi on alkalista luonnostaan ja alkalisuuden suuruus vaihtelee eri merialueilla. Alkalisuutta voidaan myös kasvattaa keinotekoisesti lisäämällä veteen emäksistä kemikaalia. Meriveden alkalisuusarvo voi olla korkea suolapitoisuuden ollessa nolla veden kalsiumpitoisuuden ansiosta. Emäksisyyden kasvaessa kasvaa myös rikinpoistotehokkuus. (Henriksson 2007, 56-57.) Makeavesipesurissa käytetään natriumhydroksi-

dia (NaOH), ja sen käyttö perustuu siihen, että alkalimetallit, joihin natrium kuuluu, ovat erittäin elektropositiivisia aineita, ja niiden yhdisteet, esimerkiksi hydroksidit, hajoavat vesiliuoksissa ioneiksi. Tämän vuoksi alkalimetallihydroksidien vesiliuokset ovat voimakkaita emäksiä. Niistä tärkein on juuri NaOH, joka on yleisimmin käytetty vahva emäs. Alkalimetallihydroksidit absorboivat voimakkaasti hiilidioksidia ja divetyksulfidia muodostaen karbonaatteja ja sulfideja. Siksi NaOH:a voidaan käyttää neste-kaasun rikkivedyn poistamiseen. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä, & Pohjakallio 2000, 179.) Kuvasta 5 voidaan havaita, kuinka rikinpoistotehokkuus riippuu pesuveden pH-pitoisuuden suuruudesta. Mitä emäksisempää pesuvesi on, sitä tehokkaammin rikinoksidit saadaan puhdistettua pakokaasuista.

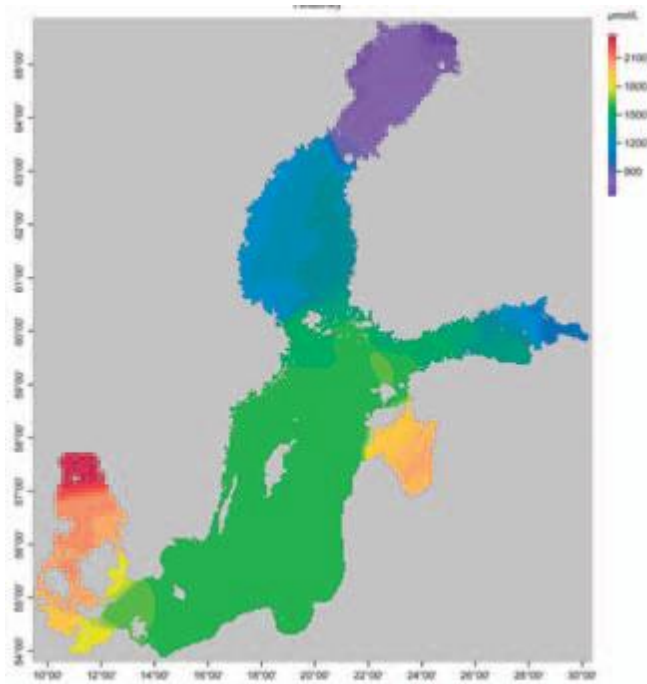


Kuva 5. Scrubber SO_x-reduction versus pH of the scrubbing water (Henriksson 2007, 56).

5.2 Meriveden alkalisuuteen vaikuttavat tekijät

Meriveden alkalisuus pysyy yleensä muuttumattomana ja korkeana, ja sen suuruus on tyypillisesti 2200-2300 $\mu\text{mol}/\text{l}$. Rannikkoalueiden, satamien, jokien ja jokisuiden alkalisuuteen vaikuttavat niihin ajautuvat valumavedet, jotka synnyttävät suuria vaihteluja veden kemialliseen laatuun eri alueiden välillä. Vesistöjä ympäröivän maaperän

laatu vaikuttaa alkalisuuden määrään vedessä. Esimerkiksi Itämereen laskevat pohjoisemmat joet virtaavat graniittisen peruskallion päällä, ja tämä johtaa veden alhaiseen alkalisuuteen. Eteläisemmät joet virtaavat kalsiittisen maaperän päällä, mikä johtaa korkeaan karbonaattipitoisuuteen ja sitä myöten korkeampaan alkalisuuteen. Itämeren alkalisuus on alhaisempi kuin merten yleensä, ja se johtuu pienestä veden vaihtuvuudesta. Itämeren vedellä voidaan operoida pakokaasupesuria, mutta alhaisemman alkalisuuden takia pesutehokkuus heikentyy ja poistoveden pH laskee. (Henriksson 2007, 57.) Kuvassa 6 eri värit vastaavat eri alkalisuusmääriä. Itämeren alueella Pohjanlahden merivesi on vähiten alkalista, kun taas Tanskan salmissa alkalisuuden määrä on suurimmillaan.

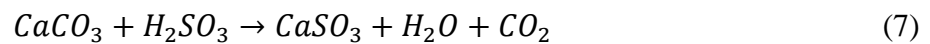
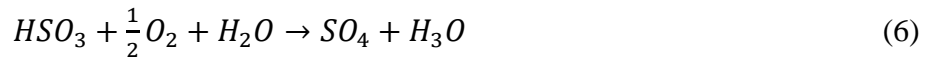


Kuva 6. Alkalinity of the Baltic Sea (Henriksson 2007, 56).

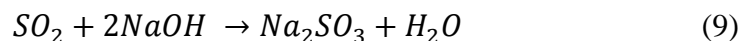
5.3 Kemialliset reaktiot

Merivedellä pesun ehdoton etu on sen helppous. Järjestelmä ei vaadi makeaa vettä eikä kemikaaleja operoimiseen, vaan meriveden omaa alkalisuutta ja puskurointikapasiteettia hyödynnetään pakokaasujen rikin neutralisoinnissa. Tehokkuuden takaamiseksi on pumpattava riittävän paljon sopivan alkalista merivettä pesuriin. (Henriksson 2007, 57.) Hamworthyn rikkipesurissa pakokaasut puhdistetaan merivedellä. Merive-

dessä olevat komponentit, esimerkiksi bikarbonaatit (HCO_3^-) ja karbonaatit (CO_3^{2-}), neutralisoivat happamia kaasuja kuten SO_2/SO_3 ja edesauttavat puskurointia eli vastustusta pH:n muutokseen (Johannessen & Gannefors 2010, 21).



Wärtsilän suljetun kierron makeavesipesurissa makeaan veteen lisätään alkalia, tässä tapauksessa natriumhydroksidia (NaOH), joka reagoi rikkidioksidien kanssa. Kemiallisen prosessin seurauksena pakokaasujen rikkioksidit neutralisoidaan sulfaateiksi pesuveteen.



Alkalia lisätään automaattisesti pesuvesikiertoon ylläpitämään prosessin pH:ta eli estämään pesuveden happamoitumista. Samalla ylläpidetään rikkioksidien poistotehokkuutta. Alkalina käytettävä 50-prosenttinen natriumhydroksidi tunnetaan tutummin nimellä lipeä. Jos vaaditaan alhaisempaa jäätymispistettä varastoidulle alkalille, voidaan käyttää 20-prosenttista NaOH:a. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 19.)

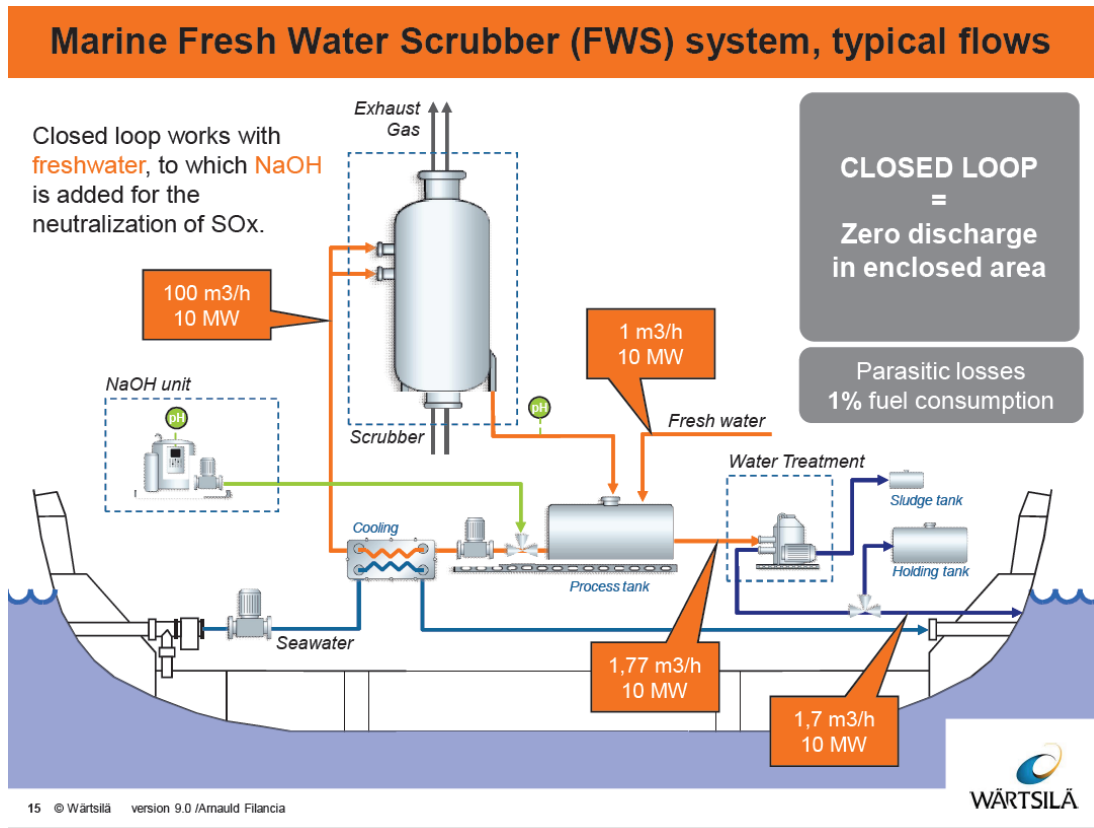
5.4 Poistoveden laatu

MARPOL 73/78 -yleissopimuksen liitteessä VI määrätään, että pakokaasujen puhdistuksessa käytetyn veden laadun tulee olla laidan yli poistettaessa sellaista, että vedellä

ei ole haitallista vaikutusta ekosysteemiin (Henriksson 2007, 57). IMO:n alainen merenkulun ympäristönsuojelusta vastaava komitea MEPC (Marine environment protection committee) on päätöslauselmassaan 184(59) määritellyt poistoveden laadun kriteerit. Poistoveden laadun valvonnan tulee olla yhtäjaksoista satama- ja jokialueilla ja kaikki tieto on tallennettava myöhempää tarkastelua varten. Merellä päästöjenvalvontajärjestelmä voi olla poissa käytöstä lyhyen ajan verran, jos pesurilaitteistoa on huollettava tai puhdistettava. Mitattavia arvoja ovat pH-arvo, sameus, PAH-arvo ja lämpötila. Mereen poistettavan veden pH ei saa olla alle 6,5 eikä suurin yhtäjaksoinen PAH-konsentraatio saa olla enemmän kuin 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ sisään tulevan veden PAH-konsentraation yläpuolella. Manoveeraustilanteissa sallitaan kahden yksikön ero sisään tulevan ja ulos menevän veden pH-arvojen välillä. Yhtäjaksoinen sameus ei saa olla suurempi kuin 25 FNU:ta (sameuden yksikkö) sisään tulevan veden arvon yläpuolella. Myös nitraattien määrää rajoitetaan MEPC:n päätöslauselman 184(59) yhdeksännessä liitteessä. (MEPC 2009, 14-16.) Hamworthyn ja Wärtsilän valmistajien pesureiden poistovesijärjestelmät käsitellään pesurikohtaisesti ja molemmilta valmistajilta on työhön otettu mukaan esimerkki koeasennuksista mitatusta poistoveden laadusta.

6 WÄRTSILÄN MAKEAVESIPESURI

Suomalainen Wärtsilä on kehittänyt laivoilla hyödynnettävän pakokaasujenpesujärjestelmän käyttäen hyväkseen kokemustaan maavoimalaitosten pakokaasujen puhdistuksesta (Lehikoinen 2009a, 3). Pesurin kerrotaan puhdistavan rikinoksidit pakokaasuista 97-prosenttisesti aina 3,5 prosenttia rikkiä sisältävään raskasöljyyn asti. Eli jos laivassa olisi Wärtsilän rikkipesurijärjestelmä, voitaisiin käyttää rikkipitoisuudeltaan alle 3,5-prosenttista raskasöljyä polttoaineena ja silti saada puhdistettua rikkipäästöt 0,1 prosenttiin ja alittaa tiukimmatkin päästörajat. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 1.) Pesurilla, joka käyttää makeaa vettä puhdistukseen (FWS – Fresh water scrubber), on mahdollista saavuttaa täysin päästötön toiminta, ja sillä on pieni energian kulutus muihin rikinpoistovaihtoehtoihin verrattuna. Lisäksi rikkipäästöjen neutralisointiprosesissa ei synny CO₂-päästöjä ollenkaan. (Filancia 2009, 68.) Kuvassa 7 on makeavesipesurin periaatekaavio, josta käy järjestelmän perustiedot ilmi. Kuvassa 8 on periaatekaavio tarkemmin ilmaistuna.

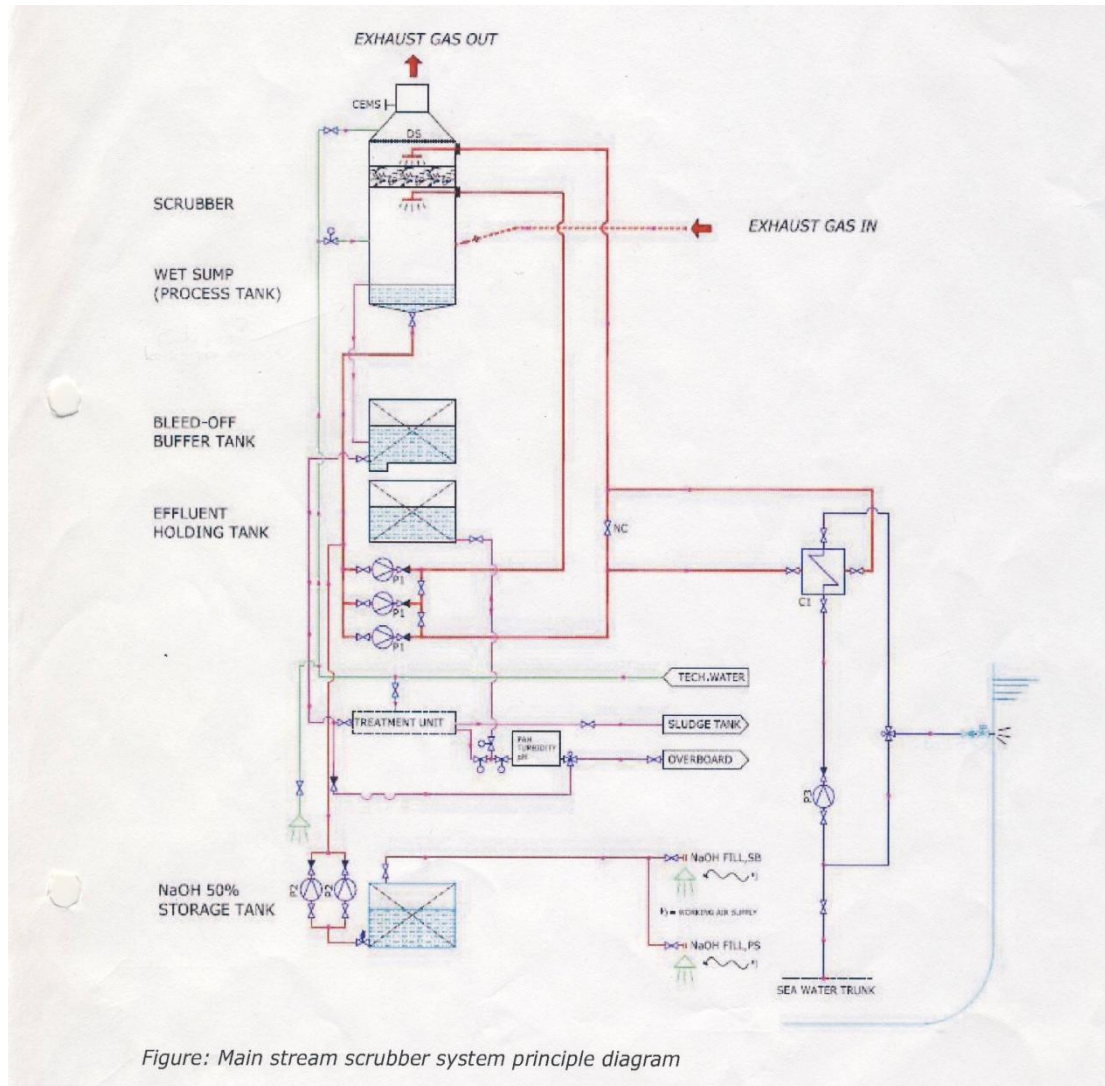


Kuva 7. Basic system layout (Filancia 2009, 15)

6.1 Pesuprosessi

Pakokaasupesurin toiminta perustuu järjestelmään, jossa rikkioksidit otetaan haltuun ja neutralisoidaan pesuedellä. Pesuvetenä on suolaton makea vesi, johon on lisätty alkalia, tässä tapauksessa natriumhydroksidia (NaOH). Pesuvesi kiertää suljetussa kierrossa ja sen virtausnopeus riippuu yksikön mitoista ja suunnittelusta. Vettä puskuroidaan erillisessä tankissa tai laitteen pohjalla märkäsäiliössä, joissa sen laatua tarkkaillaan ja säädellään pesueden pH-arvoa mittaamalla sekä alkalia lisäämällä. Samaa vettä kierrätetään kiertopumpulla tankista tai märkäsäiliöstä jäähdytyslämmönvaihtimen kautta pesuriin ja takaisin. Pääkoneen pakokaasut ajetaan laitteeseen alhaalta tai sivusta pystysuoraan ylöspäin ja pesuvesi ruiskutetaan ylhäältä alaspäin (vastavirtaoperointi) pesusuuttimien kautta. Puhdistetut pakokaasut poistuvat laitteen yläosasta ja edelleen ulos korsteenista. Pesuvettä syötetään myös laitteen keskiosaan puhdistuste-

hokkuuden parantamiseksi. Lopuksi puhdistetut pakokaasut ajetaan pisaranerotin läpi kosteuden vähentämiseksi. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 3; Lehikoinen 2009a, 5)



Kuva 8. Suljetun kierron makeavesipesurin periaatekaavio (Wärtsilä Finland Oy 2010, 4)

6.2 Makeavesijärjestelmä

Pakokaasujen mukana pesurista poistuu vesihöyryä. Makeaa vettä tarvitaan kompensimaan pesuveden haihtumishäviöitä ja korvaamaan poistettu poistovesi. Tarvittavan lisäyksen määrä on yhtä suuri kuin ilmakehään haihtunut kosteus plus poistoveden määrä. Pakokaasujen sisältämä vesipitoisuus (tyypillisesti noin 5 %) vaikuttaa vähen-

tävästi lisäysveden määrään. Vesilaaduksi suositellaan teknistä ja vähäkloridista vettä kulutuksen vähentämiseksi. Evaporoitu vesi, maista otettu hyvälaatuinen vesi tai käänteisosmoosilla tuotettu puhdas vesi ovat sopivia tähän tarkoitukseen, sen sijaan sadevesi, käsittelemätön merivesi tai harmaavesi eivät. Makean veden kulutus riippuu myös osittain vallitsevista olosuhteista, kuten jäädyttävän meriveden lämpötilasta ja sitä kautta pesuveden lämpötilasta. Pesuvettä jäädytetään veden evaporoitumisen minimoimiseksi. Luonnollisesti sisään tulevien pakokaasujen lämpötila vaikuttaa kulutukseen, ja siksi pakokaasukattilan teholla on merkitystä veden haihtumismäärän kannalta. Jos pakokaasujen lämpötilasta osa siirtyy lämmitettävään aineeseen pakokaasukattilassa, vähentää se veden haihtumista pesurissa. Koska osa vedestä haihtuu joka tapauksessa pakokaasujen lämpötilan vaikutuksesta, häviötä kompensoidaan tuomalla lisää vettä kiertoon. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 16.) Ailalla käytettävissä on evaporaattorilla tuotettua laatuvaatimukset täyttävää makeaa vettä.

Lisäysveden kloridipitoisuudella on merkitystä vaadittuun poistoveden määrään ja lisäysveden kulutukseen. Näin ollen makean veden kulutus voi vaihdella; se on joissain tapauksissa vähemmän kuin $0,1 \text{ m}^3/\text{MWh}$. Lisäysveden linja on normaalisti yhdistetty prosessitankkiin tai märkäsäiliöön riippuen pesurin rakenteesta. Makeaa vettä käytetään myös pesurin yläosassa sijaitsevan pisaranerotin puhdistamiseen. Takaiskuventtiili ja tarvittaessa alipaineenrikkoja tulisi asentaa makeavesilinjaan estämään pesuveden pääsy takaisin laivan makeavesijärjestelmään. Putkiston materiaaleiksi suositellaan kuparia tai laivan muissa makeavesiputkistoissa käytettyä materiaalia ja venttiileiksi palloventtiileitä pronssirungolla ja sisuksilla. Järjestelmän suunniteltu paine on 10 baaria. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 16 ja 17.)

6.3 Merivesijärjestelmä

Pakokaasujen lämpö siirtyy pesuvedeen, josta se edelleen poistetaan merivedellä lämmönvaihtimessa jäädyttämällä. Jäädyttämisen tarkoitus on minimoida veden kulutus sekä puhdistettujen pakokaasujen vesipitoisuus pesurin jälkeen, jolloin korsteenista ulos tulevan savupilven sameus vähenisi ja pakokaasujen näkyvyys pienenesi. Jäähdytys ei vaikuta rikinpoistotehokkuuteen. Korkein meriveden lämpötila, johon järjestelmä on tyypillisesti suunniteltu toimimaan, on $32 \text{ }^\circ\text{C}$. Kylmissä olosuhteissa meriveden

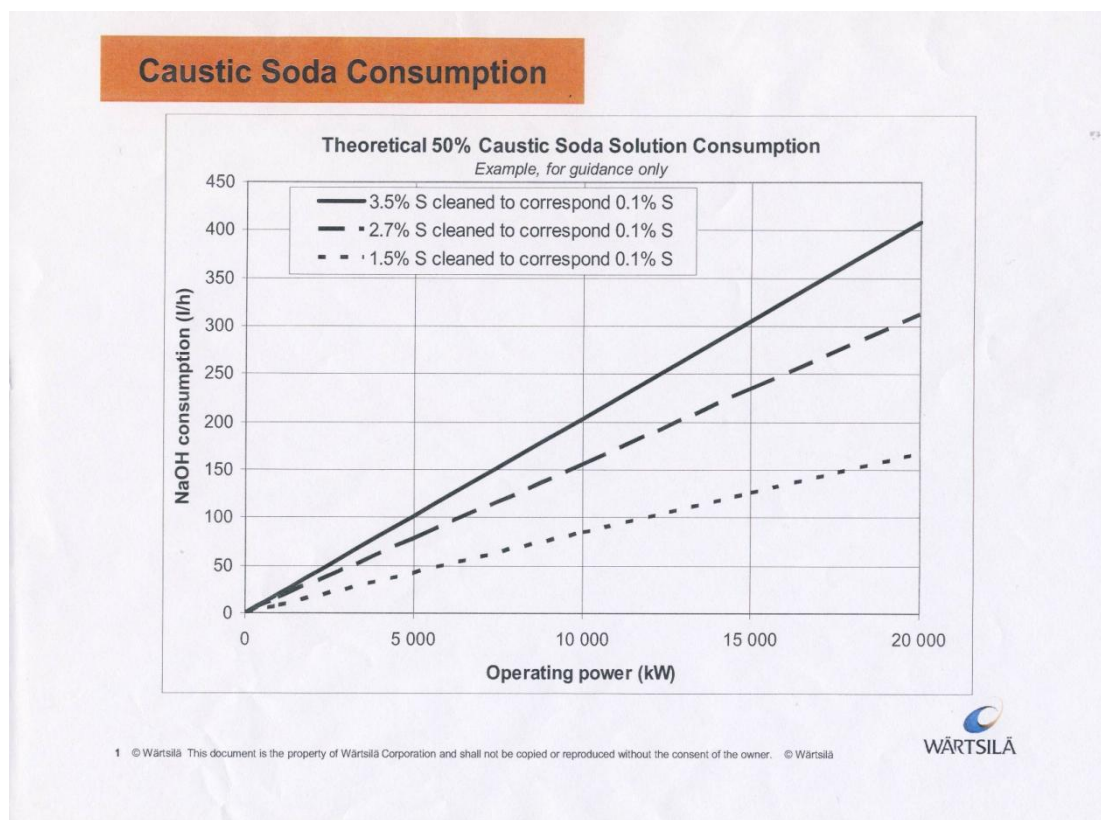
lämpötilaa tulisi tarkkailla, sillä pesuvedessä olevien sulfaattien kristallisoitumisen estämiseksi minimilämpötilaa tulisi välttää. Lämpötilaa voidaan säädellä termostaattiventtiilillä ja uudelleenkiertolinjalla. Riittävän suuri meriveden virtausmäärä on taattava kaikissa olosuhteissa. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 18.)

6.4 Alkalijärjestelmä

Järjestelmän pääkomponentit ovat alkalipumppu, syötönhallintalaite ja varastotankki. Tärkeimmät hallintalaitteelle tulevat parametrit ovat polttoaineen rikkipitoisuus ja koneen kuormitus, jotka kertovat riittävän tarkasti puhdistettavien pakokaasujen ja niiden sisältämän rikin määrän. Polttoaineen rikkipitoisuus tulee määritellä järjestelmälle polttoaineen ominaisuuksien mukaan. Alkalin säännöstely on automaattisesti säädetty vastaamaan mitattua pesuliuoksen pH:ta mahdollisten polttoaineen rikkietojen vaihteluiden ja epätarkkuuksien kompensoimiseksi. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 19.)

6.4.1 Kulutus

Alkalin kulutus riippuu pesuveden konsentraation suuruudesta, koneen kuormituksesta, polttoaineen rikkipitoisuudesta ja halutusta rikkioksidien vähennystehokkuudesta. Alkalin automaattinen syötönhallinta perustuu näihin parametreihin. Koneen polttoaineen kulutukseen verrattuna 50-prosenttisen NaOH:n kulutus on painossa mitattuna noin 6-15 prosenttia riippuen juuri edellä mainituista tekijöistä. Esimerkiksi puhdistettaessa rikkipitoisuudeltaan 2,5-prosenttista polttoainetta 0,1 prosentin rikkipäästöjen tasolle alkalin kulutus olisi noin 15 litraa/MWh. Verrattuna dieselmoottorin polttoainekulutukseen tämä vastaisi karkeasti noin seitsemää prosenttia kulutuksesta. Jos ratkaisussa päädytään käyttämään 20-prosenttista NaOH:a, kulutus on suhteellisesti suurempi kuin 50-prosenttista NaOH:a käytettäessä. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 19.) Kuvassa 9 on hahmotettu ohjeistukseksi alkalin kulutusta suhteessa konetehtoon ja polttoaineen rikkipitoisuuteen.



Kuva 9. Natriumhydroksidin kulutus suhteessa konetehoon ja polttoaineen rikkipitoisuuteen (Wärtsilä Finland 2010, 20)

6.4.2 Varastointi

50-prosenttisen NaOH:n ominaisuudet ovat tiheys $1,52 \text{ t/m}^3$, jähmettymispiste $12 \text{ }^\circ\text{C}$ ja pH 14, ja se tulisi pitää alle $20 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa pumpattaessa. Alkalitankkien kapasiteetti määräytyy alkalin kulutuksen sekä aluksen autonomian, toimintaprofiilin ja toiminta-alueen mukaan. Mitä epäsäännöllisempiä ja pitempiä reittejä laiva kulkee, sen suurempia täytyy tankkien olla. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 20.)

Kahta erillistä, mielellään vierekkäistä, rakenteellista tankkia suositellaan varattavaksi alkalille. Tämä järjestely sallisi jatkuvan pesurin käytön tankkien tarkastusten ja huoltojen aikana. Tankkien sijaintia ja tilavuutta hahmoteltaessa tulisi ottaa huomioon 50-prosenttisen NaOH:n suuri tiheys ja 15-20 prosentin raja ylitäyttöä vastaan. Suositeltu väli tankkien pesulle on neljä vuotta. Yhden tankin ratkaisua voidaan käyttää, jos ope-

rointi ja säännösten noudattaminen sallivat ja mahdollistavat vähärikkisen polttoaineen käytön huoltotoimenpiteiden aikana. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 20.)

Lämpötilarajat tulee myös ottaa huomioon, sillä yli 49 °C:n lämpötilassa hiiliteräksellä on taipumus raskasmetallien korroosiohalkeamiin ja NaOH:n syövyttävät ominaisuudet pahenevat. Jos on odotettavissa, että lämpötilat ovat korkeampia kuin 49 °C, tulee harkita erityisiä menetelmiä hitsausjännitysten poistamiseksi ja vaihtoehtoisten materiaalien käyttöä tapauskohtaisesti. Mikään tankin osa, joka on kosketuksissa lipeän kanssa, ei saisi sisältää seuraavia metalleja tai seosaineita: alumiinia, magnesiumia, sinkkiä, messinkiä tai tantalumia. Lipeä syövyttää näitä materiaaleja ja reaktiona voi syntyä helposti syttyvää vetykaasua. On suositeltavaa tarkastaa laitteen toimittajalta tiivistysten, manusluukkujen ja laippojen yhteensopivuus alkalin kanssa. Tankkia suositellaan sisältä pinnoitettavaksi tankin yläosissa tapahtuvan korroosion välttämiseksi. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 20-23.)

6.4.3 Alkalin varastotankin lämmitys

50 prosenttinen NaOH jähmettyy 12 °C:ta matalammissa lämpötiloissa. Jos tankin lämpötilan voidaan olettaa laskevan alle 16 °C:seen, täytyy tankkia lämmittää. Suositeltu varastointilämpötila on +25...+35 °C. Koska NaOH:n syövyttävät ominaisuudet pahenevat yli 49 °C:n lämpötiloissa hiiliterästä käytettäessä, varastotankilla ei tulisi olla yhteisiä rakenteita esimerkiksi lämmitetyn polttoainekierron tai setlinkitankin kanssa. Myös muut lämpölähteet, jotka voivat paikallisesti nostaa tankin lämpötilaa yli mainitun rajan (esimerkiksi pakokaasu- tai höyryputket), tulisi eristää tankista. Syöpymisen välttämiseksi sisään tulevan lämmitysveden lämpötilan tulisi pysyä 49 celsiusen alapuolella. Esimerkiksi palaavaa LT-jäähdytysvettä voidaan hyödyntää lämmityksessä ja lämmityskierukat voidaan yhdistää toimimaan rinnakkain keskusjäähdytyksen kanssa. Lämmityskierukat tulisi sijoittaa lähelle imuputken suuaukkoa. Vaihtoehtoisesti lipeä voidaan lämmittää viemällä erillinen lipeäkierto ulkoisen lämmönvaihtimen läpi. Näin lämmitysaineena voidaan käyttää matalapainehöyryä tai korkealämpötilaista paluuvettä. Tällaisissa tapauksissa täytyy valita sopiva materiaali lämmönvaihtimeen, esimerkiksi nikkeli. Jos tankin lämpöhäviöt eivät ole kovin suu-

ria, voidaan käyttää myös ulkoista sähköistä lämmitystä. Lämmityselementit kiinnitetäisiin tankin seinämään eristeen alle. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 23.)

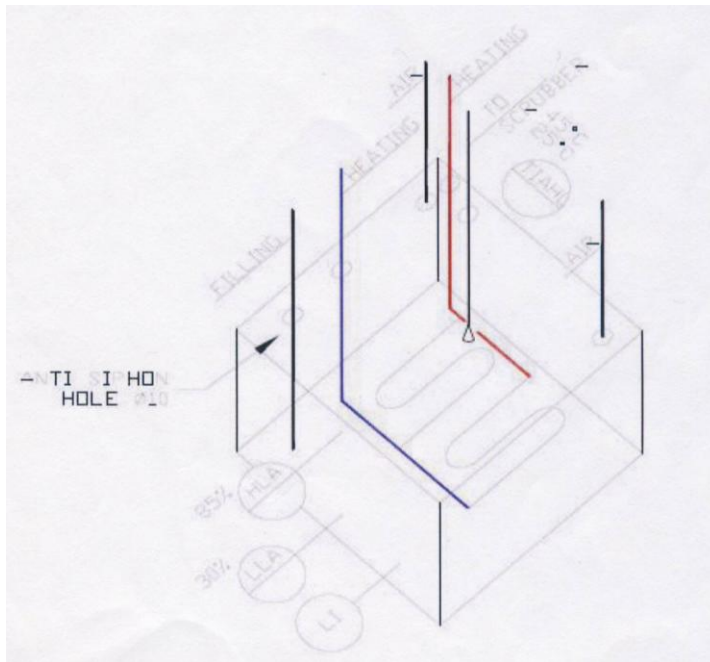
6.4.4 Varastotankin lisävarusteet ja laitteet

Jos missä tahansa alkalisysteemin osassa (bunkraus, siirto, syöttö) sen putket sijaitsevat alempana kuin varastotankki, täytyy linjan olla varustettuna hätäsulkuventtiilillä. Hätäsulkuventtiili on joko yhteydessä hätästoppiin tai sillä on oma käyttöpainikkeen sa. Pääimaukon tulee sijaita noin 100 millimetrin korkeudella tankin pohjasta. Tankit tulisi myös varustaa alemmalla imuaukolla tankin kokonaan tyhjennyksen mahdollistamiseksi huoltoa varten. Myös jokainen maksimipinnankorkeuden alapuolella oleva liitäntä tulee varustaa hätäsulkuventtiilillä. Alkalitankin täyttölinja tulee ohjata minimikäyttöpinnankorkeuden alapuolelle ja se tulee varustaa alipaineenrikkojareillä yläpäästään. Materiaaliksi ovat suositeltavia AISI 316 L tai musta teräs DIN 2448.

Alkalin varastotankki tulee varustaa seuraavilla hälytyksillä:

- korkea lämpötila (asetusarvo 45 °C, jos varustettu lämmityksellä)
- alhainen lämpötila (asetusarvo 25 °C, jos merkityksellinen)
- alhainen pinnankorkeus (esimerkiksi 30 prosenttia)
- korkea pinnankorkeus (esimerkiksi 85 prosenttia)

Tankki tulee myös varustaa paikallisilla pinnankorkeus- ja lämpötilamittareilla. Jokaisessa tankissa tulee olla standardin mukainen 600 mm x 400 mm:n manusluukku. Kuvassa 10 on kaikki tankissa tarvittavat elementit piirretty näkyviin.



Kuva 10. Varastotankin elementit (Wärtsilä Finland 2010, 24)

6.4.5 Alkalinsyöttömoduuli

Alkalinsyöttömoduulin tulisi sijaita alkalin varastotankin ja pesuvesikierron välissä. Imulinjan pituuden minimoimiseksi suositellaan, että alkalinsyöttömoduuli olisi lähellä varastotankkia. Syöttömoduulin kapasiteetti on mitoitettu lipeän ja pesurin täyden kuorman mukaan. (Wärtsilä Finland 2010, 25.)

6.5 Poistovesijärjestelmä

Wärtsilän suljetun kierron makeavesipesurissa pesuveteen kertyy pakokaasusta rikkidisteitä ja epäpuhtauksia. Pieni määrä vettä erotetaan kierrosta liiallisen väkevöitymisen estämiseksi. Pesuveteen kerääntyneet epäpuhtaudet saadaan poistettua laitteistoon kuuluvassa poistovedenkäsittelylaitoksessa. Sieltä ulos tulevaa puhdistettua poistovettä tarkkaillaan laatuvaatimusten mukaisesti ja pH:n valvonta takaa sen, että poistoveden pH on aina suurempi kuin 6,5. Laitteelta tuleva puhdistettu vesi voidaan laskea mereen tai tarvittaessa pumpata varastotankkiin, josta edelleen maihin jatkokäsittelyyn. Puhdistetun poistoveden mereen laskeminen ei jäljelle jääneiden rikkidisteiden osalta ole ongelma ympäristölle, sillä ne ovat sulfaattimuodossa harmittomia.

Meressä on sulfaatteja luonnostaan 10^{15} tonnia. Tähän määrään verrattuna pesurin tuottamat sulfaattilisäykset olisivat merkityksettömiä.

Poistovedestä poistetut epäpuhtaudet muodostavat lietettä, joka pumpataan lietetankkiin. Syntyvän lietteen määrä riippuu polttoaineen laadusta ja sen määrän on arvioitu olevan 0,1 – 0,4 kg/MWh. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 30 ja 31; Lehikoinen 2009a, 5.) Makeavesipesurin etuna on se, että poistoveden määrä on pieni ja jos vesi satamassa-oloaikana varastoidaan laivan säiliöihin, laiva on poistovesien osalta päästötön (Lahtinen 2008, 2). Esimerkki Wärtsilän pesurin poistoveden arvoista, joita mitattiin M/T Suulan testeissä, on luvussa 6.8.

6.6 Sääto ja valvonta

Pesurin hallintajärjestelmä koostuu hallintamoduulista (main control module), sisään/ulostulomoduulista ja käyttöliittymästä, joka voidaan yhdistää ulkoisiin järjestelmiin. Päästöjä jatkuvasti valvova järjestelmä (Continuous Emission Monitoring System – CEMS) seuraa pakokaasujen rikki- ja hiilidioksidipitoisuutta jatkuvilla mittauksilla. Poistovedenvalvontajärjestelmä mittaa jatkuvasti poistoveden PAH-pitoisuutta, sameutta, pH:ta ja lämpötilaa. Molemmat järjestelmät ovat yhteydessä pesurin hallintajärjestelmään. Hallintajärjestelmä hallitsee siis automaattisesti laitteiston turvallisuutta, operontia ja valvontaa. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 32 ja 34.)

6.7 Asennuksessa huomioon otettavia seikkoja

Pesuri asennetaan tyypillisesti korsteeniin pakokaasujen virtauksen suuntaisesti äänenvaimentimen ja pakokaasukattilan jälkeen. Järjestelmä tulisi aina asentaa pystyasentoon, sillä pakokaasujen puhdistusprosessi vaatii vastavirtaisen vuorovaikutuksen pakokaasuvirran ja pesuveden välille. Näin ollen järjestelmän vaakatasoon asentaminen ei onnistu. Avoimelle kannelle asennettaessa pesurin ympärille rakennetaan kehikko ja korsteeniin asennettaessa se tulee varustaa kiinnitystuilla ja -elementeillä. (Wärtsilä Finland 2010, 3 ja 9.)

Joissakin tapauksissa pesuri voi korvata äänenvaimentimen riittäväällä äänentason vaimennuksella. Koska äänenvaimennuksen vaatimukset ja pakokaasujen ominaisuudet ovat jokaiselle koneelle ominaisia, tarvitaan niistä erilliset arviot etenkin matkustaja-aluksilla. Wärtsilä suosittelee, että jälkiasennustapauksissa olemassa oleva äänenvaimennin säilytettäisiin entisellään. (Lehikoinen 2009a, 6; Wärtsilä Finland 2010, 11.)

Pesurin mitat riippuvat sen moottorin, jonka pakokaasut on tarkoitus puhdistaa, koosta ja halutusta rikinoksidien poistotehokkuudesta. Esimerkiksi teholtaan 8400 kW:n suuruisen moottorin pesuriyksikön korkeus olisi 8,0 metriä, halkaisija 2,9 metriä ja paino operoitaessa 13,4 tonnia. (Henriksson 2007, 58.) Tyypillisesti pakokaasujen sisääntuloaukko on pesurin sivussa märkäsäiliön yläpuolella. Pesuri on valmistettu hyvin korroosiota kestävästä materiaaleista, sillä se altistuu matalalämpötilaisille pakokaasuille ja niiden sisältämille happamille yhdisteille, jotka ovat voimakkaasti korrosoivia. (Wärtsilä Finland 2010, 9 ja 3.)

Pakokaasujen paineen alentuminen pesurissa on tyypillisesti noin 800 - 1000 pascalia. Yleensä tällainen paineenmenetys voidaan hyväksyä, sillä se mukautuu sallittuihin paineenmenetyksarvoihin. Järjestelmän jälkiasennuksissa paineenmenetys tulisi kuitenkin selvittää laitetoimittajan ja laivahenkilökunnan yhteistyönä. (Wärtsilä Finland Oy 2010, 9; Lehikoinen 2009a, 6.) Ailalla pakokaasujen vastapaineet mitattiin eri kuormitustehoilla ahtimen turbiinin jälkeen keväällä 2010. Seuraavassa taulukossa on Wärtsilän edustajien mittaamat vastapaineen arvot eri kuormitustehoilla.

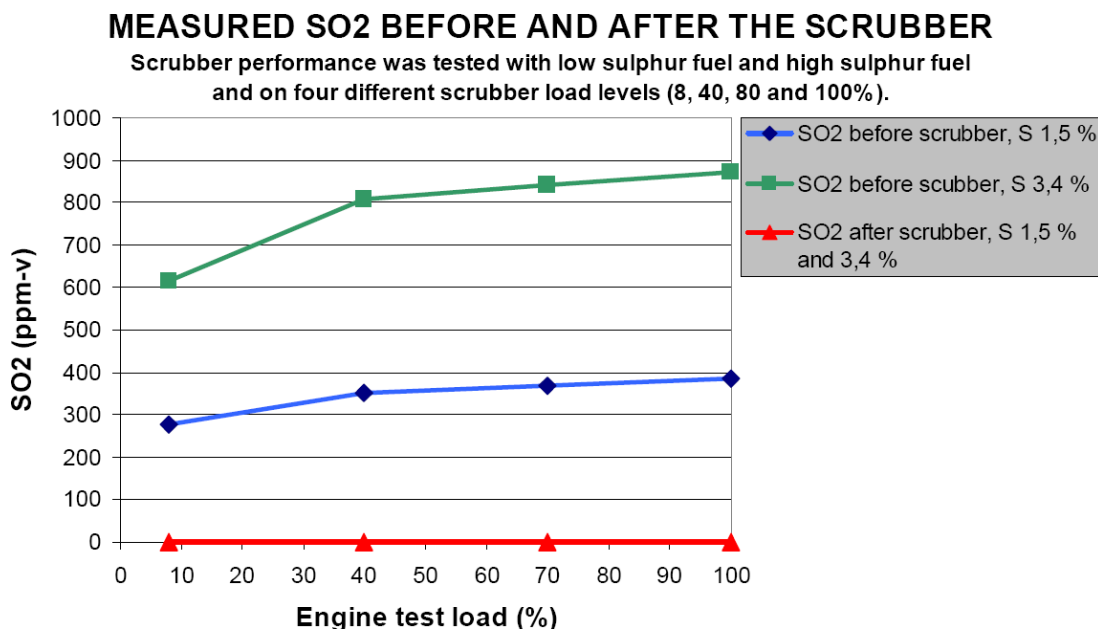
Taulukko 1. Vastapaineiden arvot eri kuormitustehoilla

ME. Load/% of MCR	Vastapaine (pascal)
50 %	294
75 %	588
85 %	716
90 %	774

Suurin sallittu pakokaasujen vastapaineen arvo Wärtsilän 8L46C -dieselmoottorissa on 30 mbaria eli 3000 pascalia (Wärtsilä Corporation 2001, 110). 800 - 1000 pascalin lisäys suurimpaan vastapaineen arvoon eli 90 % kuormituksen tuottamaan 774 pascaliin nostaisi kokonaisvastapaineen arvon 1574 - 1774 pascaliin. Tähän pitäisi vielä lisätä pakokaasukanavan, pakokaasukattilan ja äänenvaimentimen tuottama vastapaine. Niiden vaikutuksesta vastapaineen suuruuteen ei saatu tietoa opinnäytetyöhön tarpeeksi ajoissa.

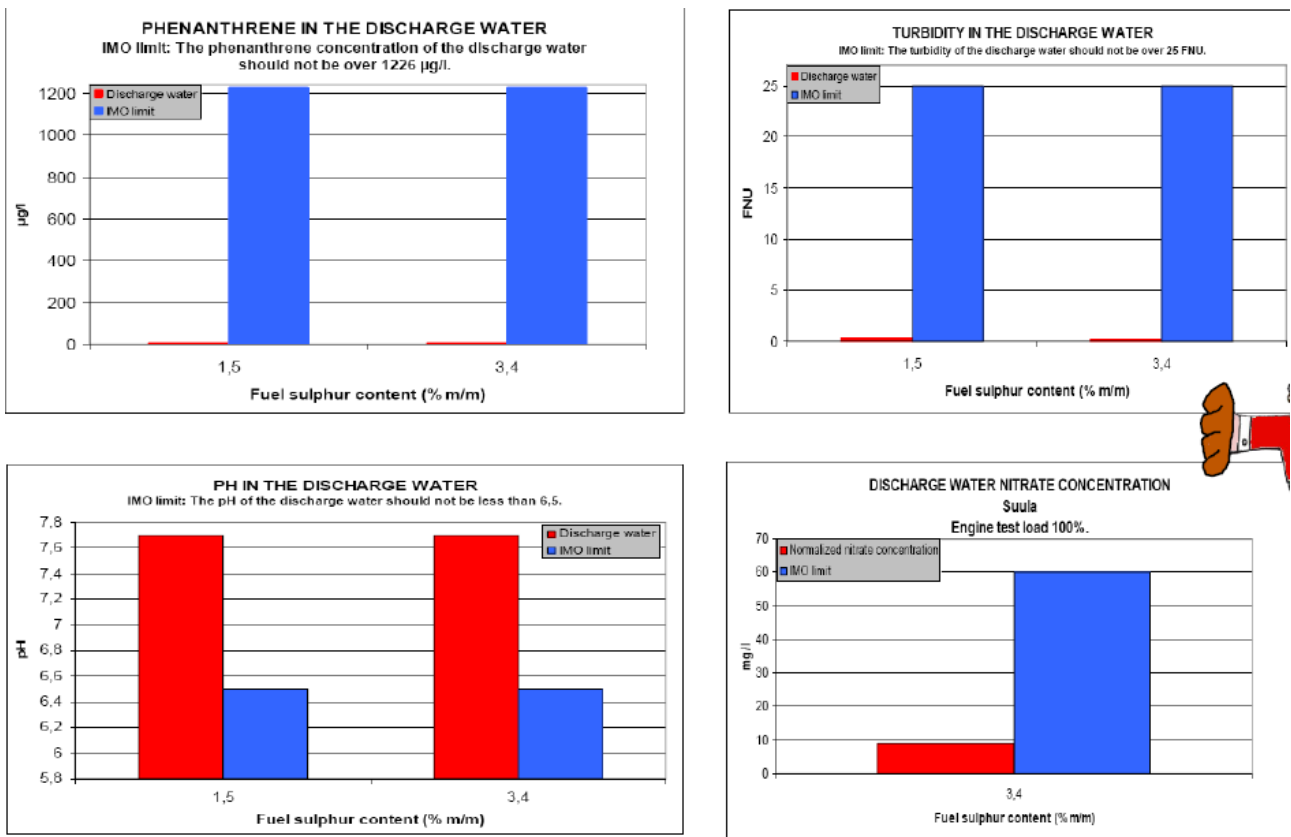
6.8 Esimerkki Wärtsilän makeavesipesurin asennuksesta

Wärtsilä testasi makeavesipesuria Neste Oilin M/T Suulalla. Asennus ja testaukset olivat osa sertifiointiprosessia. Pakokaasujen sisältämää rikinoksidien määrää mitattiin käytettäessä rikkiptoisuudeltaan 1,5- ja 3,5-prosenttisia polttoaineita. Mittaukset tehtiin pakokaasukanavasta ennen ja jälkeen pesurin, ja kuten kuvasta 11 käy ilmi, rikinoksidien määrä pesurin jälkeen oli lähes nolla molemmilla polttoaineilla koneen kuormituksesta huolimatta. (Filancia 2009, 37-38.)



Kuva 11. Rikinpoistotehokkuus suhteessa koneen kuormitukseen (Filancia 2009, 38)

Makeavesipesurin poistovesiä mitattiin ja tarkkailtiin M/T Suulalla tehdyissä kokeissa. Poistovedestä, pesuedestä ja makeasta vedestä otettiin yhteensä 61 näytettä, jotka sertifioitu laboratorio analysoi. Pääkomponentit, joita vesistä mitattiin, olivat pH, sameus, tiheys, metallit, PAH-pitoisuus, hiilivedyt, kloridit, rikkijäänteet, nitraatit ja nitriitit. (Filancia 2009, 46.) Kuvan 12 taulukoiden tuloksista näkee, että poistoveden PAH-pitoisuuden, sameuden, pH:n ja nitraattien arvot noudattivat IMO:n asettamia rajoituksia.

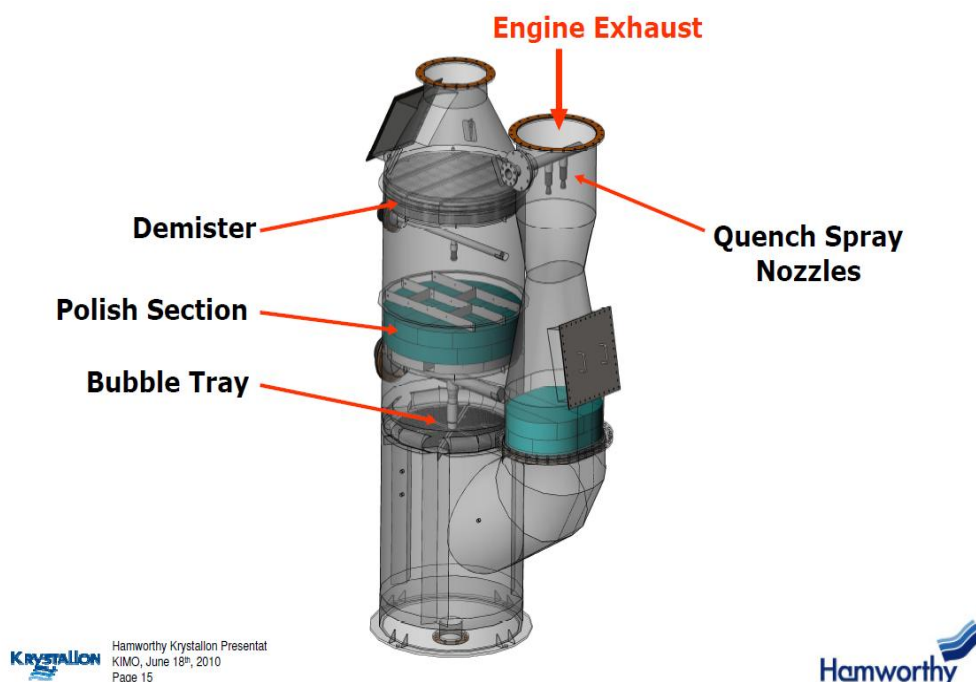


Kuva 12. Poistoveden PAH-pitoisuus, sameus, pH-arvo ja nitraattipitoisuus suhteessa polttoaineen rikkipitoisuuteen (Filancia 2009, 50)

7 HAMWORTHYN MERIVESIPESURI

Englantilais-norjalainen yhtiö Hamworthy osti Krystallon-nimisen yhtiön marraskuussa 2009. Krystallon oli kehittänyt merivesipesurin, jolle vuonna 2007 myönnettiin Seatrade award merenkulun ilmastopäästöjä vastaan taistelemisesta. (About Hamworthy 2010.) Hamworthy Krystallon -merivesipesurin kerrotaan kykenevän pesemään rikkipäästöt pakokaasuista 99-prosenttisesti käytettäessä rikkipitoisuudeltaan

3,5-prosenttista HFO 380 polttoainetta. Näin ollen päästään 0,1 prosentin rikkipäästöihin ja samalla saadaan 70 - 80 prosentin vähennys hiukkaspäästöihin. (Hamworthy 2010.) Pesuriyksikkö on valmistettu runsaasti nikkelillä ja kromilla seostetusta teräksestä kestävyden ja luotettavan operoinnin takaamiseksi. Normaalisti pesuri on suunniteltu operoimaan viileänä jatkuvan merivesivirtauksen jäähdyttäessä sitä, mutta hätätilanteessa se voi toimia 450 °C:n lämpötilassa. Pesuri toimii myös äänenvaimentimenä, jolloin laivan olemassa oleva äänenvaimennin voidaan korvata pesurilla. (Hamworthy Krystallon1, 2.) Kuvassa 13 on Hamworthyn pesuriyksikkö pesuvesi- ja pakokaasuliitoksineen.



Kuva 13. Hamworthy Krystallon seawater scrubber. (Young 2010, 15)

7.1 Pesuprosessi

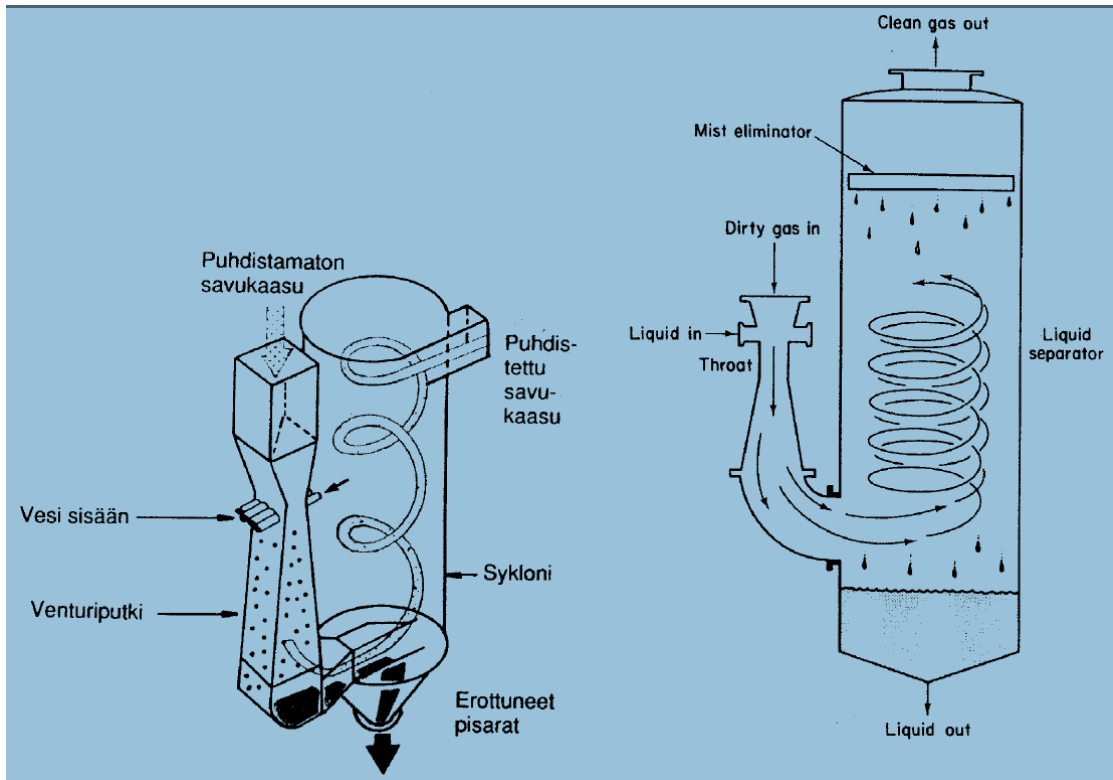
Hamworthyn merivesipesuri on niin sanottu venturipesuri(kuva14). Pakokaasut johdetaan venturiputkeen, jossa on suppilomainen kavennus. Pakokaasujen virtausnopeus kasvaa merkittävästi kavennuksen avulla. Putken kapeimmassa kohdassa pakokaasuvirtaa jäähdytetään ja kostutetaan merivettä suihkuttamalla. Veden jakautuessa su-

muksi saadaan hyvä kosketus pakokaasujen ja veden välille. Lisäksi merivesisuihkutus synnyttää ejektori-ilmiön, joka vähentää pesurin paineenmenetystä. Putki laajenee diffuusoriosaksi, jolloin pakokaasujen virtausnopeus hidastuu, mikä johtaa siihen, että niiden viipymisaika pesurissa pitenee. (Hamworthy Krystallon2, 4; Ohlström 1998, 51.)

Pakokaasuvirtaus kääntyy ylöspäin, ja se johdetaan kuplalevy-asetelman läpi, johon myös syötetään merivettä. Asetelmaan sisältyy pyöriviä pakokaasua sekoittavia siipiä, jotka rikkovat pakokaasuvirtauksen pieniksi kupliksi. Syntyy erittäin turbulenttinen sekoitus veden ja pakokaasukuplien välille, minkä seurauksena hiukkaset kostuvat syntyneen vesihöyryn tiivistyessä niiden pinnalle ja rikinoksidit absorboituvat. Vesipisaroihin törmänneet hiukkaset ja veden kanssa reagoineet rikinoksidit putoavat pesurin pohjalle, josta tämä kiintoainepitoinen vesi pumpataan puhdistettavaksi. Kuplalevy tekee mahdolliseksi sen, että kaasun nopeus on korkeampi kaasun mennessä pesurin läpi. Tämä edesauttaa myös paineenmenetyksen vähentämisessä. (Hamworthy Krystallon2, 4; Ohlström 1998, 51.)

Kuplalevyn jälkeen järjestelmässä on märkäfilteri, jolle myös pumpataan merivettä. Se poistaa viimeiset jäljelle jääneet rikinoksidit pakokaasuista. Puhdistetuista pakokaasuista poistetaan ylimääräinen kosteus kuivaimella. Höyrypilvi korsteesta on ei-toivottu ja siksi pakokaasujen näkyvyyttä säädellään vielä estämällä höyrypilven muodostuminen. (Hamworthy Krystallon2, 4; Ohlström 1998, 51.)

Pesurin läpi pumpattavan meriveden määrä riippuu paikallisen meriveden alkaliniteetistä, käytettävän polttoaineen rikkipitoisuudesta, koneen kuormituksesta ja halutusta rikinoksidien vähennystehokkuudesta. Pakokaasujen jäähdyttämistarve vaikuttaa pesurin vaatimaan minimivesimäärään, jonka suuruus on noin 25 tonnia/MW. Todellisuudessa merivesipesurin läpi ilmoitetaan pumpattavan jopa 50 m³ tunnissa yhtä MW:a kohden. (Hamworthy Krystallon limited 2007, 4; Filancia 2009, 14.)



Kuva 14. Venturipesuri (Ohlström 1998, 51)

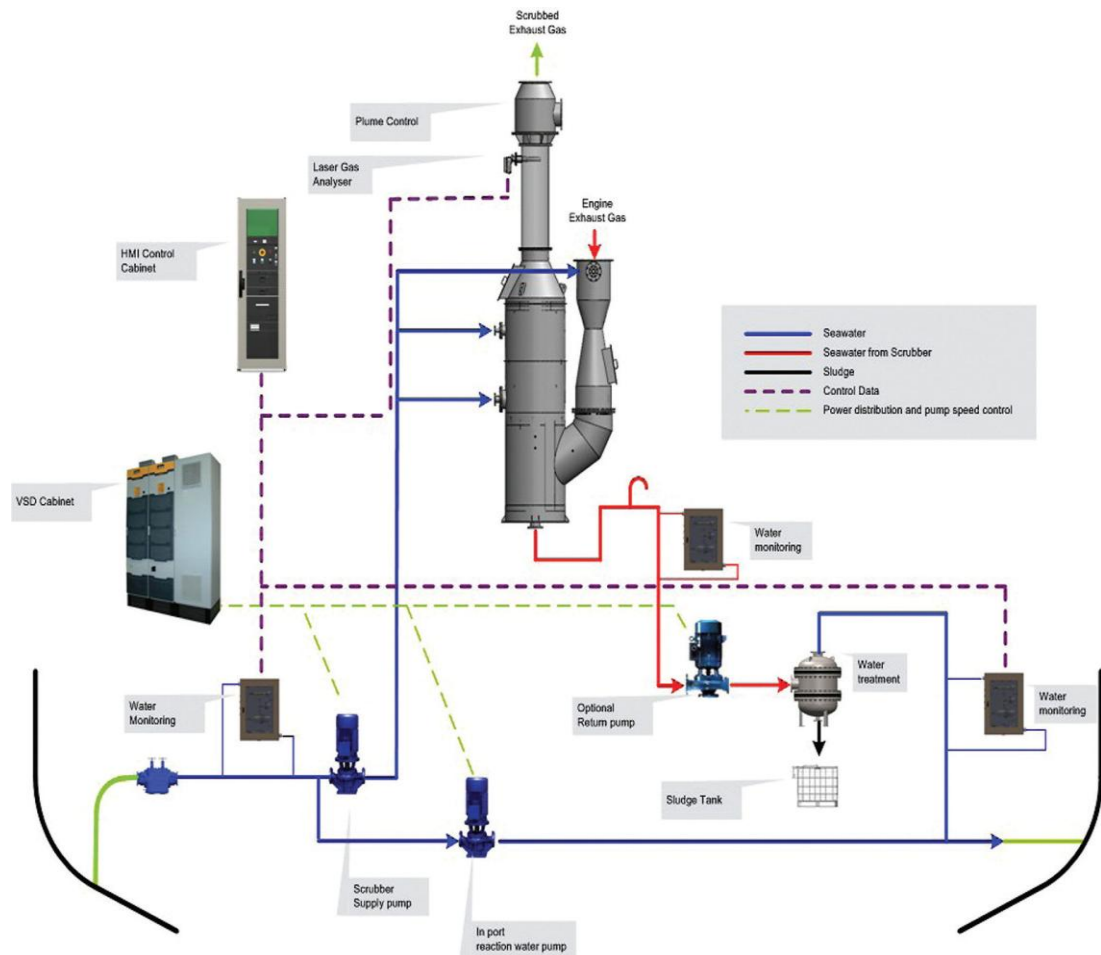
7.2 Järjestelmän pumput

Järjestelmä vaatii toimiakseen tyypillisesti kolmenlaiset pumput: pesuveden syöttöpumput, paluupumput ja reaktiopesipumput. Pesuveden syöttöpumput ovat tavallisia merivesipumppuja, joilla on hyvä imu- ja nostokorkeus ja ne pumppaavat pesuveden pesurille. Paluupumppuja tarvitaan nostamaan pesurilta lähtevän veden poistolinjan painetta, koska poistolinjan paine voi olla riittämätön mukautumaan poistovedenkäsittelylaitteiston aiheuttamaan paineen alenemaan. Tämä taas voi johtua esimerkiksi siitä, että järjestelmän korkeusero pesurin ja poistovedenkäsittelylaitteiston välillä on liian pieni. (Bracegirdle 2010, 3 ja 5)

Satamassa tai ankkurissa oltaessa reaktiopesipumput pumppaavat merivettä poistovesivirtaukseen neutralisoidakseen poistoveden pH:n ennen laidan yli pumppaamista. Laivan ollessa liikkeellä tämä ei välttämättä ole tarpeellista, koska poistovesi sekoittuu jatkuvasti meriveteen eikä jää yhteen paikkaan vaikuttamaan. Reaktiopesipumppuja ei välttämättä tarvita, jos laivan muista järjestelmistä, kuten jäähdytys- tai painolastijärjestelmistä, saadaan vettä edellä mainittua tarkoitusta varten järjestettyä. M/S Ai-

lalla pakokaasut puhdistetaan pääkoneesta, joka ei käy satamassa eikä ankkurissa olta-
essa, joten reaktiovesipumppuja ei tarvita. (Bracegirdle 2010, 3 ja 5)

Sekä pesuveden syöttöpumppuja että paluupumppuja tarvitaan kaksi kappaletta, joista
toinen on käytössä ja toinen valmiudessa. Pumput on siis kahdennettu ja niiden pump-
pauskapasiteetti on $400 \text{ m}^3/\text{h}$. Paluupumput painavat 705 kg kappale ja pesuveden
syöttöpumput 882 kg kappale. (Bracegirdle 2010, 3 ja 5). Kuvasta 15 käy ilmi järjes-
telmä kokonaisuudessaan ja pumppujen sijainti järjestelmässä.



Kuva 15. Basic system layout. (Young 2010, 14)

7.3 Sääto ja valvonta

Päästöjen valvontaa ja järjestelmän operointiparametrejä käsitellään erillisen käyttöliittymän (HMI – human machine interface) kautta, joka tyypillisesti sijoitetaan konevalvomoon. Kaikki tieto päästöistä mereen ja ilmaan tallennetaan myöhempää tarkastelua varten. Järjestelmä toimii automaattisesti parametrien asettamisen jälkeen. (Bracegirdle 2010, 3.)

7.4 Poistovesijärjestelmä

Vedenkäsittelylaitos on ensisijaisesti suunniteltu hapettamaan poistovettä eli edesauttamaan rikinoksidien muutosta sulfaateiksi. Järjestelmän on myös tarkoitus poistaa haitalliset partikkelit ennen veden laidan yli pumpaamista. Hamworthyn merivesipesurissa merivesikaivosta pumpattavan veden pH:ta, PAH-pitoisuutta, sameutta ja lämpötilaa valvotaan ennen veden pumpausta pesurille. Kaikki virtaukselle altistuvat materiaalit ja pesuvedensiirtoputkistot on valmistettu lasilla vahvistetusta epoksisista, mikä takaa hyvän korroosionvastustuskyvyn, pienet virtaushäviöt, kevyen painon ja helpon asennuksen. (Bracegirdle 2010,3; Hamworthy Krystallon, 2.)

Poistettava pesuvesi johdetaan pesurin pohjalta vedenkäsittelylaitteelle painovoiman avulla tai pumpaamalla. Laitteen läpi ajetaan koko pesurilta tuleva pesuvesivirtaus. Laite on suunniteltu poistamaan niin kiinteät partikkelit kuin nestemäiset hiilivetyyhdisteet. Puhdistetun veden laatua valvotaan ja sitä verrataan sisään tulevan veden laatuun poistoveden kriteerien täyttämiseksi. Vedenpuhdistusprosessissa erotetut kiinteät ja haitalliset jätteet siirretään lietetankkiin, josta ne myöhemmin pumpataan maihin. Muodostuvan lietteen määrä riippuu veden sisältämästä lietteestä ja sen kooneen, jonka pakokaasuja puhdistetaan, käyttöprofiilista. Lietettä on arvioitu muodostuvan 0,1- 0,2 g/kWh. Vettä pumpataan keskipakopumpuilla läpi järjestelmän. (Hamworthy Krystallon, 2 ja 4; Johannessen & Gannefors 2010, 17.)

Poistovesi, josta haitalliset jätteet on poistettu, pumpataan takaisin mereen. Poistoveden pH-arvoa mitataan poistovesivirtauksesta ja laidan ulkopuolelta asennuksen jälkeisissä toimivuuden tarkastuksissa. Jos pH-arvo ei ole tarpeeksi suuri, voidaan sitä

kohottaa sekoittamalla lisää merivettä poistovesivirtaukseen tai lisäämällä lipeää siihen. Lipeän lisäyksen tarve pH-arvon kohottamiseksi on todennäköinen Itämeren alueilla, joilla alkalisuuden määrä on pienimmillään. Näillä alueilla meriveden oma alkalisuus ei riitä puskuroimaan rikin oksideja tarpeeksi vaan poistovesi happamoituu. (Verosaari 2010, Johannessen & Gannefors 2010, 15.)

7.5 Asennuksessa huomioon otettavia seikkoja

Hamworthy ilmoitti pesurin mitoiksi M/S Ailalle seuraavat arvot: leveys 2,5 metriä, pituus 4,5 metriä, korkeus kuivaimen kanssa 7,7 metriä, pesurin kuivapaino 5 tonnia ja märkápaino 7 tonnia. Pesurin asennuspaikan ja pumppuaseman välille suositellaan 30 metrin korkeuseroa tai pesurin tulisi sijaita vähintään 25 metriä lastatun aluksen syväyden yläpuolella. Tällöin saadaan eliminointua tarve kalliille paluupumpuille, joita tarvittaisiin muuten tuottamaan tarpeeksi korkea paine poistolinjaan vedenkäsittelylaitoksen tehokkaan operoinnin takaamiseksi. Poistolinjan putkien materiaali täytyy valita huolellisesti, koska vesi on syövyttävää alhaisen pH-pitoisuuden vuoksi. Pesurin toimivan jälkiasennuksen takaamiseksi suositellaan seuraavia asioita:

- Meriveden imu- ja poistoaukkojen on oltava sopivan kokoisia.
- Kaikilla merivesilinjoilla on yhteinen ulostulo reaktioveden saamisen mahdollistamiseksi satama-ajossa.
- Korsteenissa on tarpeeksi tilaa pesurin jälkiasennukselle.
- On tarpeeksi tilaa putkistoille, joita tulee asentaa konehuoneen pohjalta ylös korsteeniin asti.
- Konehuoneen pohjakerroksissa on tilaa vedenkäsittelylaitteistolle ja pumpuille. (Bracegirdle 2010, 5.)

7.6 Esimerkki Hamworthyn merivesipesurin asennuksesta

Matkustaja-alus Zaandamille asennetun merivesipesurin teho on 8,5 megawattia ja pesuri asennettiin puhdistamaan pakokaasut yhdestä laivan viidestä dieselmoottorista. Asennus suoritettiin osittain telakassa huhtikuussa 2007. Telakointiaika oli liian lyhyt asennuksen valmiiksi saattamiseksi, joten pumput, putkityöt ja sähkötyöt tehtiin laivan

palattua normaaliin liikenteeseen. Asennus saatiin valmiiksi elokuussa ja syyskuussa 2007 alkoivat laitteiston testaukset. (Holland America Line and Hamworthy – Krystallon 2010, 5, 8,10 ja 11.)

Alkuvuodesta 2008 alkoi ilmestyä laitteistojen toimintahäiriöitä ja ongelmaksi muodostui poistoveden mukana mereen päätyneet näkyvät nokipäästöt, joita ei saatu puhdistusjärjestelmässä poistettua. Pesuri oli poissa käytöstä suuskuusta 2008 joulukuuhun 2009 lukuun ottamatta lyhyttä testauskautta helmikuussa 2009. Syyskuussa 2007 tehdyissä testeissä pyrittiin selvittämään pesurin toimintaa erilaisissa tyypillisissä opeointiolosuhteissa. Huomiota kiinnitettiin rikinoksidi-, typenoksidi-, hiukkas- ja häkäkaasupäästöihin. Tässä vaiheessa rikinoksidit saatiin pestyä pakokaasuista 75-prosenttisesti ja hiukkaspäästöt 57-prosenttisesti. Typenoksidi- ja häkäkaasupäästöihin pesurin käytöllä oli mitätön vaikutus. Rikinoksidien puhdistuksessa ei päästy tavoitteeseen siksi, että yksi pesurin kolmesta pesuvaiheesta oli poissa päältä. Myös meriveden alhainen alkalisuus vaikutti pesutehokkuuteen eri alueilla, jolloin pesuria opeoitaessa rikinoksidien pesutehokkuus väheni. (Holland america line and Hamworthy – Krystallon 2010, 5, 8,10 ja 11.)

Eri merialueilla liikuttaessa merivedestä ja pesurilta tulevasta vedestä otettiin näytteitä määrääjain sekä jatkuvasti riippuen siitä, mitä näytteistä haluttiin saada selville. Vesitesteissä mitattiin sisään tulevan ja ulos menevän veden pH:n muuttuneen keskimäärin noin kaksi pH-yksikköä. Sameuden ja PAH-pitoisuuden tuloksia pidettiin epäluotettavina, koska pesuveden sisältämät ilmakuplat häiritsivät partikkelien ja PAH:n havaitsemista. Testien tuloksien perusteella järjestelmään tehtiin parannuksia. Mereen päätyneet nokipäästöt saatiin poistettua asentamalla öljyisen veden separaattori ennen varsinaista pesuvedenpuhdistusjärjetelmää ja pesurin kolmas pesuvaihe saatiin päälle, kun asennettiin järjestelmään kuivain. Kuivain edesauttoi vähentämään vesipisaroiden määrää pesurilta ulos tulevasta pakokaasuista. (Holland america line and Hamworthy – Krystallon 2010, 12-14) Vuoden 2010 loppuun mennessä pesuri on ollut toiminnassa yli 4000 tuntia vesilaadultaan vaihtelevilla Pohjois-Amerikan merialueilla. Pesurin toiminta on osoittautunut luotettavaksi niin lämpimissä ja suolapitoisissa vesissä kuin kylmissä murtovesissä, ja sen rikinpoistotehokkuuden mainostetaan olevan 99 prosenttia. (Johannessen & Gannefors 2010, 24 ja 25.)

8 PAKOKAASUPESURIN ASENTAMISEN VAATIMAT MUUTOSTYÖT LAIVALLA

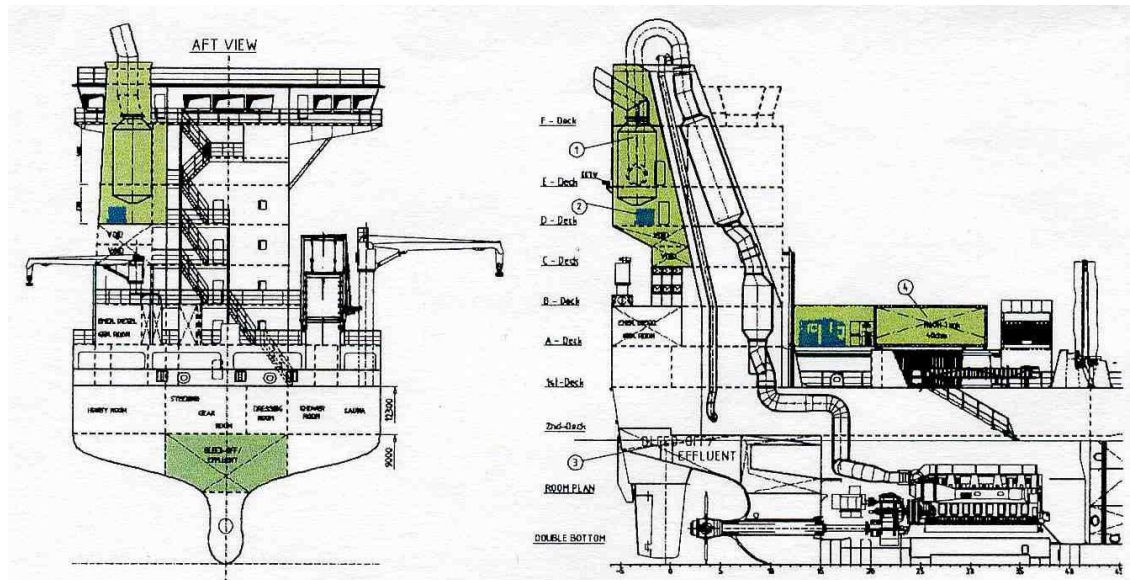
Tässä luvussa on tarkoituksena hieman hahmottaa yleisiä asennusasioita molempien pesurien kannalta. Osittain asennusta jo käsiteltiin pesurikohtaisesti pesureiden omissa luvuissa.

Laiva on telakoitava pesurin jälkiasennusta varten. Telakointi voitaisiin suorittaa normaalin huoltotelakoinnin kanssa samaan aikaan, jolloin se lisäisi luonnollisesti suoritettavien töiden määrää, mutta ei veisi laivaa pois liikenteestä erikseen. On otettava huomioon myös, voiko osan asennustöistä tehdä laivan ollessa jo normaalissa liikenteessä. Sekä Hamworthy että Wärtsilä kykenevät mainostensa mukaan toimittamaan pesurin oheislaitteineen telakoille Itämeren alueella.

Laivalla tarvittavien muutosten suuruuteen vaikuttaa lisättävien laitteiden määrä ja koko. Tila laivalla on rajattua, ja se vaikuttaa laitteiden sijoittelun suunnitteluun. Myös luokituslaitoksen säännökset on otettava huomioon. Wärtsilän ja Hamworthyn pesurit asennetaan korsteeniin, joten niiden korkean painopisteen vaikutus laivan vakavuuteen tulee laskea erikseen.

Wärtsilän makeavesipesurin asennusohjeissa sanotaan, että pesuri tulee asentaa korsteeniin pakokaasukattilan ja katalysaattorin jälkeen. Ailalla ei katalysaattoria ole, mutta pakokaasukattila on. Pakokaasukattilan jälkeen pakoputkistossa on äänenvaimennin, jonka jälkeen pesuri tulisi Ailalla asentaa. Tila ei äänenvaimentimen jälkeen riitä, joten korsteenia on laajennettava leveys- ja korkeussuunnassa (Verosaari 2010). Ulkomittoja on kasvatettava perään päin, sillä korsteeni sijaitsee aivan paapurin puolella ja toiselta puolelta vastaan tulevat torpan rakenteet. Tarkasteltaessa laivaa tämä osoittautuu hankalaksi, sillä koska korsteeni sijaitsee paapurin puolella, tulee mahdollinen peränsuuntainen laajennus paapurin provianttikraanan tielle. Wärtsilän vuonna 2010 tekemässä alustavassa suunnitelmassa laitteiston sijoittelun osalta korsteenia on laajennettu niin, että korsteenin laajennus on provianttikraanan yläpuolella (kuva 16). Laajennus luonnollisesti vaikuttaa melko paljon asennuskustannuksiin (Verosaari 2010).

Hamworthyn pesuri vaimentaa riittävästi ääntä, joten se voitaisiin asentaa nykyisen äänenvaimentimen tilalle. Tilantarve on siis pienempi eikä kallista korsteenin modifiointityötä tarvitsisi tehdä (Verosaari 2010)



Kuva 16. Wärtsilän makeavesipesurin alustava suunnitelma (Henriksson 2010)

Pesurin myötä laivalla lisääntyvät tarvittavien laitteistojen määrät. Poistoveden puhdistuslaitokset sekä makeavesipesurin jäähdytysmerivesilämmönvaihdin vaativat oman tilansa ja putkityönsä. Myös pumpit ja niiden putkistot vievät jo vähissä olevaa tilaa, jota ei ole saatavissa lisää. Konevalvomoon tarvitsee järjestää tilaa pesurin monitorintilalaitteistolle ja käyttöpaneelille. Koska kyseessä on varsin suuren laitteiston jälkiasennus on laitteistot, putkistot, kaapeloinnit ja rakennemuutokset saatava mahtumaan jo olemassa oleviin tiloihin. Tämä rajoittaa suunnittelua, joka onkin tehtävä huolella ja ottaen huomioon tilan rajattu määrä.

Pesurit tulevat toimiakseen tarvitsemaan tankkitilaa. Makeavesipesuri vaatii NaOH:lle oman tankin ja poistovesikin on kyettävä varastoimaan alukselle. Pesuprosessista ja veden puhdistuslaitokselta tuleva liete voidaan varastoida laivassa jo olemassa olevaan lietetankkiin. NaOH:lle voitaisiin ottaa käyttöön ahteripiikkitalankki eli perän painolastitalankki. Sen tilavuus on 138 kuutiometriä ja se voitaisiin jakaa kahteen vieressä olevaan tankkiin varastointitalankkien suositusten mukaisesti. M/S Ailan perämiesten mukaan tankkia ei käytetä painolastitarkoituksissa ollenkaan ja se pidetään aina tyhjänä. Tankin viettäessä loivasti keulaan päin voidaan sen tyhjennys järjestää keulapään

pohjalta. Merivesipesurin mahdollisesti vaatima NaOH voidaan varastoida pienempään tilaan sen käyttömäärän ollessa selkeästi pienempi käyttötarpeen ilmetessä vain tietyillä alueilla. Wärtsilän pesurin yhteydessä käsitelty NaOH:n varastointi- ja lämmitysnäkökohdat soveltuvat käytettäväksi myös Hamworthyn pesurin tapauksessa. Wärtsilän alustavassa suunnitelmassa ahteripiikkitanke on varattu poistoveden varastointitankiksi. NaOH:n tankille, sen syöttölaitteistolle, päästöjen tarkkailulaitteille ja poistovedenpuhdistuslaitokselle on varattu tilaa kannelta (Henriksson 2010).

9 KUSTANNUSLASKELMAT

Tässä luvussa käsitellään tarkemmin pesurien hankinnan taloudellisuutta. Investointina pesurin on tarkoitus maksaa itsensä takaisin muun hyödyn lisäksi. Hankkeen kannattavuus muodostuu halvemmän polttoaineen käytön mukanaan tuomista vuodessa saaduista säästöistä, joiden avulla pesurin hankintakustannukset maksavat itsensä takaisin. Takaisinmaksuajan pituus ja investoinnin suuruus vaikuttanevat varustamon päätökseen pesurimallin hankinnasta. Tässä opinnäytetyössä kustannuslaskelmien mallina käytetään Wärtsilältä saatua mallia, joka toimiakseen tarvitsi molemmilta valmistajilta pesureiden hinnat. Valmistajilta saatiin alustavat suunnitelmat ja arviot asennus- sekä laitteistokustannuksista, joista muodostuu yhteensä kokonaishankintakustannuksen arvo pesurille.

9.1 Pesureiden kokonaishankintakustannukset

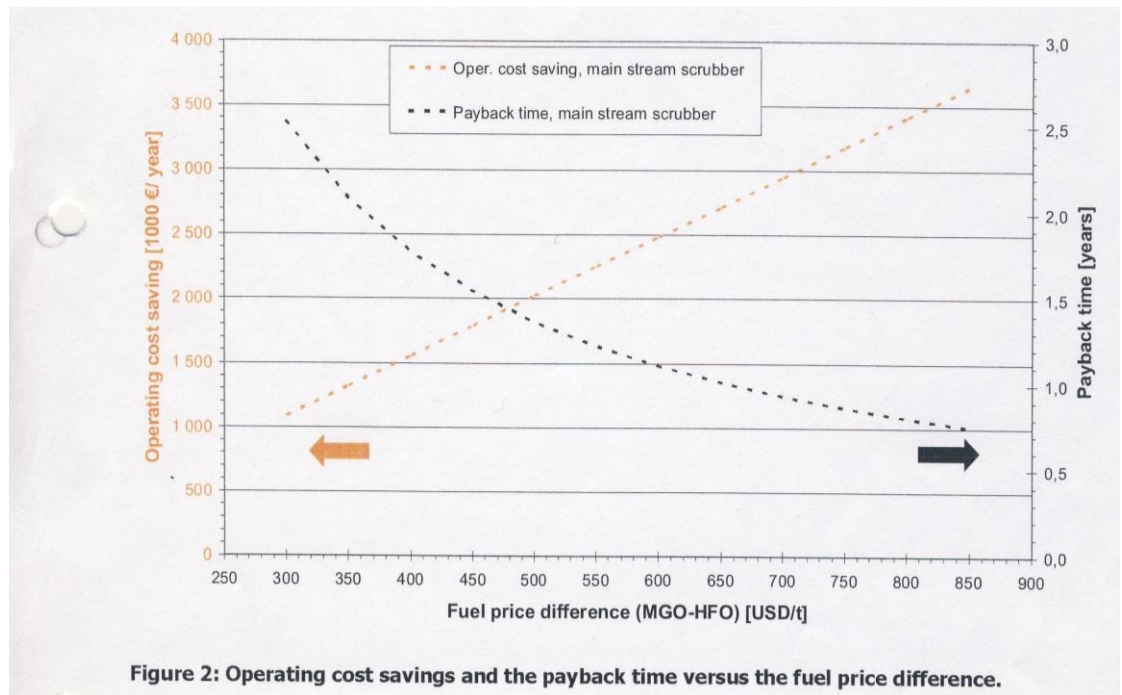
Wärtsilä teki M/S Ailalle pesurin taloudellisuustutkimuksen, jossa suunniteltiin makeavesipesurin asennusta alukselle. Tutkimuksessa keskityttiin taloudellisen kannattavuuden selvittämiseen, mistä johtuen asennuksen edellyttämät muutostyöt käsiteltiin vain osana asennuskustannuksia. Tämän lisäksi asennuskustannuksiin on sisällytetty pesurin laitteiston asentaminen, materiaalit, putkistot ja kaapeloinnit. Lopuksi tutkimuksessa on maininta, että asennuskustannukset ovat vain hyvin alustavia ja että lisäsuunnittelu sekä insinööriä on tarpeen. Vuonna 2009 tehdyssä tutkimuksessa Wärtsilä arvioi asennuskustannuksiksi 920 000 € (Lehikoinen 2009b, 3-5). Vuonna 2010 Wärtsilältä pyydettiin tarkempaa tarjousta, jolloin pesurin asennuskustannuksiksi arvioitiin 1 300 000 ja laitteiston kustannuksiksi 1 900 000 € (Verosaari 2010). Käytet-

täessä vuoden 2010 arvion mukaisia arvoja Wärtsilän makeavesipesurin kokonaishankintakustannukseksi tulee yhteensä 3 200 000 €, ja tätä arvoa käytetään tämän opinnäytetyön laskelmissa.

Hamworthyta pyydettiin tarjousta merivesipesurin asennuksesta vuonna 2010. Yritykselle lähetettiin M/S Ailan piirustuksia, joiden pohjalta Hamworthy teki tarjouksensa. (Verosaari 2010.) Laitteiston kustannuksiksi Hamworthy ilmoitti 7 240 000 Norjan kruunua, joka 11.12.2010 vastasi 912 000:ta euroa Norjan kruunun kurssin eu-roon nähden ollessa 7,9375 (Valuutat.fi 2010, Johannessen 2010, 3). Hintaan sisältyvään laitteistoon määriteltiin kuuluvaksi järjestelmän pumput, pesuri, monitorointi, vedenkäsittelylaitos ja jatkuvaan pakokaasujen sekä pesuveden arvojen mittaukseen tarvittava laitteisto. Hamworthy ei määritellyt asennustöiden kustannuksia. (Johannessen 2010, 4). Langh Shipin konetarkastaja arvioi asennustöiden kustannuksiksi 300 000 € (Verosaari 2010). Hamworthyn merivesipesurin kokonaishankintakustannukseksi tulee yhteensä 1 212 000 €, ja tätä arvoa käytetään tämän opinnäytetyön laskelmissa.

9.2 Kustannuslaskelmien malli ja sen käyttö

Wärtsilän tekemässä taloudellisuustutkimuksessa on vertailtu polttoainekustannuksia ajettaessa vähärikkisellä kevyellä polttoöljyllä ja normaalirikkisellä polttoaineella pesurin ollessa asennettuna. Pesurin asennuskustannukset on ensin lisätty koko laitteiston ja sen asennuspaikalle kuljetuksen hintaan, minkä jälkeen on laskettu vuotuisen kulutuksen sekä normaalirikkisen raskasöljyn sen hetkisen hinnan mukaan polttoainelasku koko vuodelle. Sitten on laskettu vuotuisen kulutuksen ja sen hetkisen kevyen polttoöljyn hinnan mukaan arvo vähärikkisellä operoinnille. Kevyen polttoöljyn korkeampi lämpöarvo ja energian kulutuksen erot on huomioitu laskelmissa. Lopuksi polttoainelaskujen arvoja on vertailtu ja niiden erotuksen avulla saatu takaisinmaksuaika. Lisäksi on vertailtu eri arvoja kevyen polttoöljyn ja raskaan polttoöljyn hintaeron mukaan. Mitä suuremmaksi hintaero näiden välillä kasvaa, sitä lyhyemmäksi takaisinmaksuaika muodostuu. (Lehikoinen 2009b, 1-6.)



Kuva 17. Takaisinmaksuajan pituus verrattuna polttoaineiden hintaeroihin (Lehikoinen 2009b, 6)

Tässä opinnäytetyössä vertailu tehdään samalla tavalla. Lukuarvot päivitetään ja määritellään uudestaan vuotuisen kulutuksen arvon ollessa suurempi kuin jo mainitussa tutkimuksessa on käytetty. Vuotuinen polttoainekulutuksen arvo 7500 tonnia saatiin laivalta sen oman kirjanpidon mukaan (Verosaari 2010).

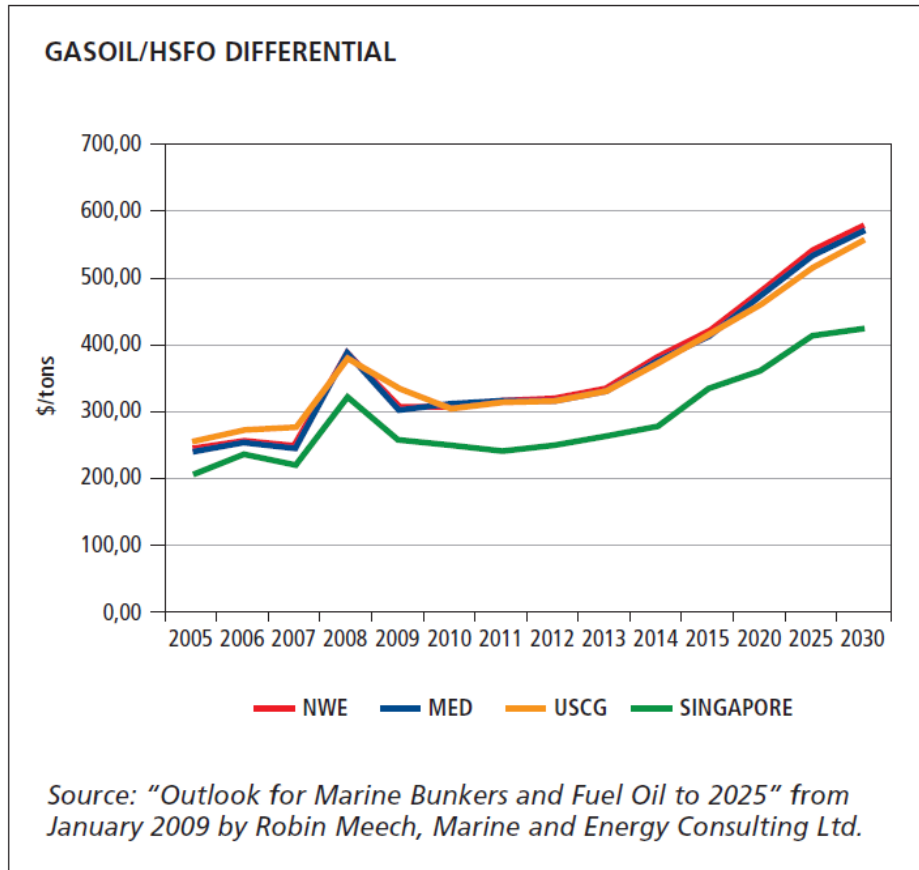
Kustannuslaskelmia pyritään hahmottamaan kahden esimerkin avulla, joissa polttoaineiden hinnat ja rikkiarvot vaihtelevat.

Ensimmäisessä esimerkissä kalliimman käytettävän polttoaineen LS180:n rikkiarvo on 1,0 prosenttia. Pesurin ollessa asennettuna käytetään runsaampirikistä ja halvempaa IFO380-polttoainetta. Wärtsilän ja Hamworthyn pesureiden kokonaishankintakustannukset, eli asennus- ja laitteistokustannukset, ovat selvillä. Seuraavaksi määritetään IFO380:n polttoainekulutuksen summa ja siihen lisätään valmistajien ilmoittamat vuotuiset huoltokustannukset sekä Wärtsilän tapauksessa makean veden ja lipeän kustannukset. Tästä muodostuvaa summaa vertaillaan rikkiarvoiltaan 1,0 prosenttisen LS180-polttoaineen käytön vuotuisen summaan. Summien erotuksesta saadaan vuotuinen säästö, jota verrataan pesurin kokonaiskustannuksiin takaisinmaksuajan selvittämiseksi. Esimerkki 1

kuvastaisi suurin piirtein nykyhetken tilannetta sallitun polttoaineen rikkipitoisuuden ollessa 1,0 prosenttia.

Esimerkissä 2 verrataan rikkipitoisuudeltaan 0,1-prosenttisen kevyen polttoöljyn (MGO) käytöstä muodostuvaa laskua molempien valmistajien arvioimiin kokonaishankintakustannuksiin ja polttoainekustannuksiin. Pesureiden ollessa asennettuna käytettäisiin samaa IFO380-polttoainetta. Esimerkeissä 1 ja 2 polttoaineiden tämänhetkiset hinnat saadaan Bunkerworld-sivustolta ja ne otetaan Rotterdamin alueelta. Wärtsilän vuotuiset laitteistonhuoltokustannukset on arvioitu 20 000 euron suuruisiksi. Hamworthyilta vastaavaa tietoa ei ole, joten vuotuiset huoltokustannukset oletetaan saman suuruisiksi, ettei Hamworthyn merivesipesuri saisi etua kustannuslaskelmissa huoltokustannusten puuttumisesta. Kevyen polttoöljyn kulutus saadaan suoralla verrannolla Wärtsilän taloudellisuustutkimuksen arvoista, kun tiedetään M/S Ailan tämän vuoden polttoainekulutus (7575 tonnia HFO:ta), Wärtsilän käyttämä vuotuinen kulutus (7070 tonnia HFO:ta) ja Wärtsilän laskema vuotuinen kulutus kevyelle polttoöljylle (6639 tonnia MGO:ta). Kevyen polttoöljyn vuotuiseksi kulutukseksi saadaan näin 7113 tonnia. Polttoainekulutuksien määrissä on otettu huomioon pesurijärjestelmien energiantarpeen tuoma lisäys kulutukseen, joka merivesipesurin tapauksessa on kolmen prosentin lisäys ja makeavesipesurin tapauksessa yhden prosentin lisäys polttoainekulutukseen (Filancia 2009,14 ja 15).

Lopuksi esimerkissä 1 oletetaan hintaeron polttoaineiden välillä kasvavan 200 dollariin ja 400 dollariin esimerkissä 2. Uusilla arvoilla lasketaan toinen vaihtoehto takaisinmaksuajan pituudelle. Oheisesta kuvasta 18 käy ilmi, että raskaan polttoöljyn ja MGO:n hintaeron odotetaan kasvavan ja useilla alueilla hintaero olisi jo 400 dollaria vuoteen 2015 mennessä.



Kuva 18. Kevyen polttoöljyn ja raskaan polttoöljyn hintaeron suuruus ajankohtaan nähden eri alueilla (Hamworthy Krystallon2)

9.3 Esimerkki 1

Ilman rikkipesuria laivaa operoidaan LS180-polttoaineella, jonka rikkipitoisuus on 1,0 prosenttia. Sen lämpöarvo on lähes sama kuin runsaampirikin IFO380:n, jota käytetään pesurin ollessa asennettuna. Lämpöarvojen ollessa samansuuruiset käytetään halvemman polttoaineen vuotuisen kulutuksen arvona Wärtsilän tapauksessa 7575 tonnia ja Hamworthyn tapauksessa 7725 tonnia. Ilman rikkipesuria operoitaessa vähärikkisen LS180:n vuotuinen polttoainekulutus on 7500 tonnia. Erot arvojen suuruudessa johtuvat pesurin suuremmasta polttoainekulutuksesta. Rotterdammassa LS180:n hinta oli 512,50 \$/MT(metric ton) ja IFO380:n hinta 480,00 \$/MT 9.12.2010 (Bunkerworld 2010). Samaan aikaan euron kurssi dollariin nähden oli 1,3244 (Valuutat.fi 2010).

Wärtsilän 20 000 euron arvio pesurin vuotuisista huoltokustannuksista lisätään IFO380:n polttoainelaskuun. Laskuun lisätään myös makean veden tuottamisen ja lipeän kustannukset. Lipeän kulutukseksi saadaan suoralla verrannolla Wärtsilän taloudellisuustutkimuksessa käytetyistä arvoista 816 m^3 ja makean veden kulutukseksi 7351 m^3 vuodessa. Samasta lähteestä saadaan lipeän hinnaksi 190 €/m^3 ja makean veden 3 €/m^3 . Tällöin Wärtsilän makeavesipesurin ollessa asennettuna vuotuiseksi käyttökustannukseksi saadaan 2 942 400 euroa. Käytettäessä LS180:tä vuotuiseksi polttoainelaskuksi saadaan 2 902 300 euroa. Näillä arvoilla säästöä ei Wärtsilän makeavesipesurilla muodostu ollenkaan, vaan operointi pesurin kanssa tulee noin 40 000 euroa kalliimmaksi vuodessa. Jos arvioidaan hintaeron kasvavan tulevaisuudessa 200 dollariin LS180:n ja IFO380:n välillä, tulee vuodessa säästöä 908 400 euroa ja takaisinmaksuajaksi saadaan 3,5 vuotta.

Hamworthy pesurin ollessa asennettuna vuotuiset käyttökustannukset saadaan laskettua lisäämällä polttoainekulutuksen muodostamaan summaan arvioitu merivesipesurin vuotuinen 20 000 euron suuruinen huoltokustannus. Merivesipesurin ollessa asennettuna vuotuiseksi polttoainekulutukseksi saadaan 7725 tonnia ja vuotuisiksi käyttökustannuksiksi saadaan 2 819 800 euroa. Mahdollista lipeän kulutusta ei oteta huomioon, koska sen suuruudesta ei ole tietoa. Käytettäessä LS180:tä vuotuiseksi polttoainelaskuksi saadaan 2 902 300 euroa. Näillä arvoilla Hamworthy merivesipesurilla säästetään 82 500 euroa vuodessa ja kokonaishankintakustannuksien takaisinmaksuajaksi tulee 14,7 vuotta. Jos arvioidaan hintaeron kasvavan tulevaisuudessa 200 dollariin LS180:n ja IFO380:n välillä, tulee vuodessa säästöä 1 031 000 euroa ja takaisinmaksuajaksi saadaan 1,2 vuotta.

Taulukko 2. Kustannusvertailu IFO380:n ja LS180:n välillä

	Hamworthyn SWS:n kustannukset	Wärtsilän FWS:n kustannukset
Laitteisto	912 000 €	1 900 000 €
Asennus	300 000 €	1 300 000 €
Kokonaishankinta	1 212 000 €	3 200 000 €
Operointi IFO380:lla	2 819 800 €	2 942 400 €
Operointi LS180:lla ilman pesuria	2 902 300 €	2 902 300 €
Säästö LS180:lla operointiin verrat- tuna	82 500 €	-40 100 €
	3 %	-
Takaisinmaksuaika	14,7 vuotta	-
Takaisinmaksuaika 200 \$ hintaerolla	1,2 vuotta	3,5 vuotta

9.4 Esimerkki 2

Ilman rikkipesuria operoidaan MGO:lla, jonka rikkipitoisuus on 0,1 prosenttia. Sen lämpöarvon ollessa suurempi käytetään vuotuisen kulutuksen arvona verrannolla laskettua määrää eli 7113 tonnia vuodessa. Rotterdamissa MGO:n hinta oli 768,5 \$/MT ja vertailukohteena olevan IFO380 hinta oli 480 \$/MT 9.12.2010 (Bunkerworld 2010). Samana päivänä euron kurssi dollariin nähden oli 1,3244 (Valuutat.fi 2010). Molempien valmistajien ilmoittamat huoltokustannukset ja operoinnin vaatimat muut kustannukset lisätään polttoainelaskuun.

Wärtsilän tapauksessa MGO:lla operoinnin vuotuisiksi kustannuksiksi tulee 4 127 400 euroa ja IFO380:lla operoinnin kustannukset pysyvät samoina kuin esimerkissä 1. Summien erotus on vuotuinen säästö, jolla jaetaan kokonaishankintakustannus. Takaisinmaksuajaksi saadaan 2,7 vuotta IFO380:n ja MGO:n vallitsevan hintaeron ollessa 288,5 euroa sekä säästöjen vuodessa ollessa 1 185 000 euroa. Jos arvioidaan hintaeron polttoaineiden välillä kasvavan 400 dollariin, saadaan vuodessa säästöä 1784 800 euroa ja takaisinmaksuajaksi saadaan 1,8 vuotta.

Hamworthyn tapauksessa MGO:lla operoinnin vuotuisiksi kustannuksiksi tulee 4 127 400 euroa ja IFO380:lla operoinnin kustannukset pysyvät samoina kuin esimerkissä 1. Takaisinmaksuajaksi saadaan 0,93 vuotta IFO380:n ja MGO:n vallitsevan hintaeron ollessa 288,5 euroa sekä säästöjen vuodessa ollessa 1 307 600 euroa. Jos arvioidaan hintaeron polttoaineiden välillä kasvavan 400 dollariin, saadaan vuodessa säästöä 1 906 450 euroa ja takaisinmaksuajaksi saadaan 0,64 vuotta.

Taulukko 3. Kustannusvertailu IFO380:n ja MGO:n välillä

	Hamworthyn SWS:n kustannukset	Wärtsilän FWS:n kustannukset
Laitteisto	912 000 €	1 900 000 €
Asennus	300 000 €	1 300 000
Kokonaishankinta	1 212 000	3 200 000 €
Operointi IFO380:lla	2 819 800 €	2 942 400 €
Operointi MGO:lla ilman pesuria	4 127 400 €	4 127 400 €
Säästö MGO:lla operointiin verrat- tuna	1 307 600 €	1 185 000 €
	32 %	29 %
Takaisinmaksuaika	0,93 vuotta	2,7 vuotta
Takaisinmaksuaika 400 \$ hintaerolla	0,64 vuotta	1,8 vuotta

9.5 Laivojen ympäristötuki

Liikenne ja viestintäministeriön tiedotteen mukaan valtiolta on voinut marraskuusta 2010 lähtien hakea laivojen ympäristötukea hankkeille, joilla on ympäristöä parantavia vaikutuksia. Tuen saajan täytyy olla Suomeen rekisteröity yritys, joka harjoittaa laivanvarustustoimintaa. Tuettavat hankkeet voivat olla ympäristöystävällisten alusten käyttöönottoja tai teknisiä ratkaisuja, kuten päästönvähentämisteknologian hyödyntämistä. Tuki voidaan maksaa vasta, kun EU:n komissio on hyväksynyt hankkeen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010.) Rikkipesuri on päästönvähentämisteknologiaa, eli sille voitaneen hakea laivojen ympäristötukea valtiolta. Tuen suuruudesta ei opinnäytetyön tekovaiheessa vielä ollut tietoa. Joka tapauksessa tuki on olemassa ja se myönnettäneen rikkipesurihankkeelle, sillä Oy Langh Ship Ab ja rikkipesuri täyttävät edellä mainitut hakuehdot. Tuki vähentää investoinnin kuormaa varustamolle ja sitä kautta lyhentää takaisinmaksuaikaa.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

M/S Aila on pian neljä vuotta vanha laiva, joten se ei ole vielä vuosiin poistumassa liikenteestä. Tältä näkökannalta rikkipesurin asentaminen olisi ehdottomasti edullisempi vaihtoehto vähärikkisten polttoaineiden käyttöön verrattuna. Pian jo käytöstä poistumassa olevaan laivaan rikkipesurin asentaminen ei takaisinmaksuajasta johtuen olisi välttämättä kovin taloudellista. Tällöin voitaisiin jäljellä olevien vuosien ajan operoida laivaa vähärikkisillä polttoaineilla. Varustamon edustajien mukaan ei ole odotettavissa, että M/S Aila siirtyisi liikennöimään merialueelle, jolla polttoaineen rikkipitoisuus voisi olla korkeampi. Lisäksi on otettava huomioon, että SECA-alueet lisääntyvät tulevaisuudessa, jolloin rikkipesureilla varustettu laivasto voi olla huomattava valtti rahtaus sopimuksista neuvotellessa. Takaavathan pesurit halvempien polttoaineiden käytön, mikä puolestaan tuo säästöjä rahtauskustannuksiin.

Rikkipesuritekniikka merikäytössä on varsin uutta, ja siksi siitä on verrattain vähän tietoa olemassa. Hamworthyn ja Wärtsilän pesureita käsittelevä materiaali saatiin varustamolta. Materiaalin sisällössä, laadussa ja määrässä on paljon eroja, mistä johtuu, että toisesta pesurista on mainittu asioita, joita toisesta ei ole. Molempien valmistajien

pesureista on käyttökokemuksia, joihin on työssä viitattu laitteiden suorituskyvyn selvittämiseksi. Opinnäytetyössä esitetyt suoritusarvot perustuvat siis valmistajien omiin ilmoituksiin, koska muuta tietoa ei ole saatavilla vielä. Tästä johtuen voi suoritusarvoissa olla mainosmaisuuksia, jota on pyritty vähentämään tuomalla esiin mahdollisimman monia saatavilla olevia eri näkökantoja. Wärtsilän dokumenttien mukaan M/T Suulan testit osoittivat pesurin toimivan moitteettomasti, eikä muuta tietoa toimivuudesta ole. Myös Hamworthyn merivesipesurin käyttökokemuksista saatu informaatio perustuu Hamworthyn omiin julkaisuihin, joiden mukaan merivesipesuri puhdistaa pakokaasut tarvittavalle tasolle. M/S Zaandamilta ei tuoreimpia testituloksia ollut saatavilla opinnäytetyön tekovaiheessa, ja tämä täytyy huomioida tarkasteltaessa merivesipesurin toimintaa Zaandamin esimerkin perusteella. Molemmat pesurit ovat saaneet luokituslaitosten hyväksynnän ja ne on sertifioitu.

Opinnäytetyössä on esitetty vain suuntaa antavia ajatuksia rikkipesurin asennuksen kannalta, sillä tekijän tietotaidot ja saatavissa olevan tiedon vähyys olivat rajoittavia tekijöitä. Työhön on tyydytty keräämään valmistajien ilmoittamia asennusohjeita ja vaatimuksia, jotka määrittävät asennustöitä ja jotka pitää ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Yksityiskohtainen suunnittelutyö on tehtävä pesurikohtaisesti, jos varustamo päättää asentaa makeavesi- tai merivesipesurin M/S Ailalle. Koska M/S Aila ja M/S Linda ovat sisaraluksia ja liikennöivät samalla alueella, pätevät kustannuslaskelmat sekä alustavat asennussuunnitelmat molemmille aluksille. Varustamon kolmen pienemmän aluksen liikennealue on myös SECA-alueen sisällä, joten kustannuslaskelmia voitaneen soveltaa myös niille. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kustannuslaskelmat ovat vain suuntaa antavia.

M/S Ailan tapauksessa edullisemmaksi vaihtoehdoksi tulisi Hamworthyn merivesipesuri, vaikka sen energiankulutus on suurempi. Hamworthyn pesurin ehdottomaksi eduksi muodostui sen äänenvaimennuskyky, jonka ansiosta se voidaan asentaa laivan nykyisen äänenvaimentimen tilalle. Tämä säästää tilaa ja asennuskustannukset pienenevät huomattavasti. Myös merivesipesun yksinkertaisuus tuo säästöjä pienempien käyttökustannusten muodossa, ja lisäksi laitteistokustannukset ovat reilusti Wärtsilän laitteistokustannuksia pienemmät. Wärtsilän pesurin käyttökustannuksia kohottaa erityisesti suurempi lipeän kulutus, minkä lisäksi makean veden kulutuksella sekä

makean veden tekoon käytetyllä energialla on käyttökustannuksia kasvattava vaikutus. Asennuskustannukset ovat huomattavasti suuremmat, mikä johtuu korsteeniin vaadittavasta laajennuksesta ja tarpeesta jättää äänenvaimennin ennalleen.

Rikkipesurin asennus on suuri investointi sen takaisinmaksuajan pituudesta tai lyhydestä huolimatta. SECA-alueilla liikennöivän laivaston on vuoteen 2015 mennessä joko tapauksessa tehtävä ratkaisunsa 0,1 prosentin rikkipäästörajan alittamiseksi. Langh Ship on hyvissä ajoin liikkeellä, ja jo tälläkin hetkellä merivesipesurilla operointi toisi pieniä säästöjä vuodessa. Merkittäviä säästöjä alettaisiin kuitenkin saada vasta vuonna 2015 rikkipitoisuusrajan laskiessa 0,1 prosenttiin SECA-alueilla. Pesurin ansiosta käytettävän polttoaineen rikkipitoisuus nousee jopa 3,5 prosenttiin nykyisestä 1,0 prosentista ja halvempaa vaihtoehtona runsaampirikin polttoaineen käyttö toisi säästöjä polttoainekustannuksissa. Näillä säästöillä investointikustannukset maksettaisiin takaisin vuoden 2015 jälkeen jopa alle vuodessa Hamworthy tapauksessa.

LÄHTEET

About Hamworthy. Saatavissa: <http://www.hamworthy.com/en/About-us/About-the-company/> (viitattu 15.11.2010.)

Ahola, T. 2010. Laivaliikenteestä aiheutuvat ilmansaasteet ja niiden puhdistus. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Antila, A., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2000. Tekniikan kemia. Helsinki: Edita Oy.

Bracegirdle, L. 2010. Outline technical proposal to Oy Langh Ship Ab for fitting exhaust gas cleaning system. Hamworthy Krystallon.

Bunkerworld 2010. Prices. Saatavissa: <http://www.bunkerworld.com/markets/prices/nl/rtm/> (viitattu 30.11.2010.)

Danmarks rederiförening 2009. Exciting Danish trial with reduction of sulphur and particles from ship's Exhaust gasses. Saatavissa: <http://www.danishshipping.com/press/news/26407.html> (viitattu 30.10.2010.)

Filancia, A. 2009. Reducing emissions from shipping Wärtsilä's solutions. Saatavissa: <http://www.sustainableshipping.com/events/2009/sanfrancisco/Presentations/Filancia/filancia.pdf> (viitattu 30.10.2010.)

Friends of Earth, 2008. Marine Vessel Emissions Reduction Act of 2007. Saatavissa: http://www.foe.org/pdf/FoE_MarineVessels_QA.pdf (viitattu 14.11.2010.)

Haapasalo, T. 2010. IMO:n päätös laivojen polttoainevaatimusten kiristämisestä/ EU:n rikkidirektiivin valmistelu. Saatavissa: http://www.ek.fi/www/fi/logistiikka/imotilannekatsaus_26_3_2010.pdf (viitattu 15.10.2010.)

Haikola, P. 2008. SO_x Scrubber Pre-Study For Marjatta.

Hamworthy 2010. Exhaust gas cleaning. Saatavissa: <http://www.hamworthy.com/en/Products-Systems/Hamworthy-Marine/Emissions-Reduction/Exhaust-Gas-Cleaning> (viitattu 17.11.2010.)

Hamworthy Krystallon1. Seawater scrubbing technology. Saatavissa:
<http://www.hamworthy.com/PageFiles/1774/Seawater%20Scrubbing%20Technology.pdf> (viitattu 16.11.2010.)

Hamworthy Krystallon2. Exhaust gas cleaning systems. Saatavissa:
<http://www.hamworthy.com/PageFiles/1774/Exhaust%20Gas%20Cleaning%20Systems.pdf> (viitattu 17.11.2010.)

Hamworthy Krystallon limited 2007. Sea water scrubbing – does it contribute to increased global CO₂ emissions. Saatavissa:
<http://www.hamworthy.com/PageFiles/1774/response-to-CO2-emissions-from-sea-water-scrubbing-14nov2007.pdf> (viitattu 13.12.2010.)

Heim, K. 2008. Engine and SO_x scrubber technologies to meet IMO fuel quality requirements on sulphur SO_x. Saatavissa:
http://www.cimac.com/cimac_cms/uploads/explorer/Circle_2008_SMM/CIMAC_Circle_SMM_2008_KHeim_Waertsilae_internet_version.pdf (viitattu 25.10.2010.)

Henriksson, T. 2010. Alustavat piirustukset Wärtsilän makeavesipesurin asennuksesta.

Henriksson, T. 2009. Marine Exhaust Gas Emission Legislation. Revised Marpol Annex VI EU Directive 2005/33EC.

Henriksson, T. 2007. SO_x-scrubbing of marine exhaust gases. Saatavissa:
http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/about_us/in_detail/2_2007/SOx-scrubbing-marine-exhaust-gases.pdf (viitattu 18.10.2010.)

Hirsso, J. 2010. Marpol 73/78 -yleissopimuksen vuosien 2010 ja 2015 muutoksien vaikutus rahtikustannuksiin. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16809/Hirsso_Jenni.pdf?sequence=1 (viitattu 22.10.2010.)

Holland America Line and Hamworthy – Krystallon 2010. Seawater scrubbing technology demonstration project on the M/S Zaandam. Saatavissa:
http://www.hollandamerica.com/assets//about-best-cruise-lines/Final_report.pdf (viitattu 4.12.2010.)

Johannessen, H. & Gannefors, J. 2010. Hamworthy Krystallon.

Johannessen, H. 2010. Budget proposal to Oy Långshyttan AB for fitting exhaust gas cleaning system. Hamworthy Krystallon.

Kalli, J., Karvonen, T. & Makkonen, T. 2009. Laivapolttoaineen rikkipitoisuus vuonna 2015. Selvitys IMO:n uusien määräysten vaikutuksesta kuljetuskustannuksiin. Saa-

tavissa:

http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=339549&name=DLFE-7317.pdf&title=Julkaisuja%2020-2009 (viitattu 15.10.2010.)

Lahtinen, J. 2008. Rikkipesurit puhdistavat laivojen pakokaasuja. Saatavissa:

http://www.uwasa.fi/midcom-admin/ais/midcom-serveattachment-11050/su0911_artikkeli_lahtinen.pdf (viitattu 27.10.2010.)

Langh Shipin yritystietoa. Saatavissa: <http://www.langhship.fi/> (viitattu 13. ja 15.10.2010.)

Lehikoinen, M. 2009a. General description of Wärtsilä scrubber system.

Lehikoinen, M. 2009b. SO_x Scrubber Economical Study for Langh Ship “Aila/Linda”.

Liikenne ja viestintäministeriön tiedote 2010. Laivojen ympäristötuki hakuun marraskuussa. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/web/fi/tiedote/view/1205197> (viitattu 30.11.2010.)

Murphy S. 2007. General Information on Alkalinity. Saatavissa:

<http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NEW/info/Alk.html> (viitattu 10.11.2010.)

Ohlström, M. 1998. Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. VTT. Espoo: Libella painopalvelu Oy. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1934.pdf> (viitattu 14.11.2010.)

Oy Langh Ship Ab. Saatavissa:

<http://www.kauppalehti.fi/5/i/yritykset/yrityshaku/osuma.jsp?id=01365335&nimi=Oy+Langh+Ship+Ab> (viitattu 11.10.2010.)

Raskaan polttoöljyn käyttöopas 2006. Neste Oil Oyj.

The Marine Environment Protection Committee 2009(MEPC). 2009 Guidelines For Exhaust Gas Cleaning Systems. Saatavissa:

http://www5.imo.org/SharePoint/blastDataHelper.asp/data_id%3D26469/184%2859%29.pdf (viitattu 13.1.2011.)

Vagslid, E. 2007. Ship Air Emissions Controls – Amendments to MARPOL Annex VI. IMO. Saatavissa:

<http://www.iflos.org/media/6746/summary%20presentation%20eivind%20s.%20vagslid.pdf> (viitattu 14.11.2010.)

Valuutat.fi 2010. Päivän valuuttakurssit. Saatavissa: <http://valuutat.fi/> (viitattu 30.11.2010.)

Verosaari, R. 2010. Kirjeenvaihto ja sähköpostiviestit varustamon konetarkastajan kanssa 26.10.2010, 31.11.2010, 01.12.2010 ja 10.12.2010.

Winkler, J. One ship pollutes as much as 50 million cars. Dk Group Netherlands BV. Saatavissa: <http://www.slideshare.net/Calion/dkgroup-environment-remake-cha-v14> (viitattu 14.11.2010.)

Wright, A.A. 2000. Exhaust Emissions from Combustion Machinery. London, UK: Institute of Marine Engineers.

Wärtsilä Corporation 2001. Wärtsilä 46 Project Guide

Wärtsilä Finland Oy 2010. Wärtsilä scrubber installation guide.

Young, J. 2010. Hamworthy Krystallon presentation. Saatavissa: <http://www.kimointernational.org/Portals/0/Files/KIMO%20UK/John%20Young%20-%20Hamworthy%20Krystallon%20Ltd.pdf> (viitattu 13.12.2010.)