

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Tuotanto

2010

Rami Raekangas

LAIVAAN JÄLKIASENNETTAVAN VEDENPUHDISTUSJÄRJESTELMÄN PROJEKTOINNIN ESISUUNNITTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Tuotanto

Joulukuu 2010 | Sivumäärä 25

Yngvar Wikström, Ins. (YAMK)

Rami Raekangas

LAIVAAN JÄLKIASENNETTAVAN VEDENPUHDISTUS- JÄRJESTELMÄN PROJEKTOINNIN ESISUUNNITTELU

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella järjestelmä erääseen matkustaja-alukseen siellä syntyvien erilaisten jätevesien puhdistukseen ja kartoittaa voimassa olevat vaatimukset sekä määräykset, jotka järjestelmän tulisi täyttää.

Työssä selvitettiin millaisia määräyksiä jäteveden puhdistuslaitoksen tulisi täyttää, mistä järjestelmä koostuu ja miten sen prosessi toimii. Järjestelmä ja sen toiminta suunniteltiin aluksella syntyvien jätevesivirtojen mukaan ja mitoitettiin kattamaan aluksella syntyvien jätevesien puhdistus tarpeet. Myös järjestelmän asennuksesta aiheutuvia mahdollisia ongelmia kartoitettiin.

Työstä saaduilla tiedoilla pystytään arvioimaan jälkiasennettavan vedenpuhdistuslaitoksen kannattavuutta asentaa jo suhteessa iäkkääseen matkustaja-alukseen. Työssä arvioitiin jälkiasennettavan järjestelmän kannattavuutta niin operationaaliselta kuin taloudelliseltakin kannalta.

Saatujen tietojen perusteella voidaan vertailla olemassa olevia mahdollisuuksia tulevaisuuden toimintatavoista ja jopa tehdä päätöksen mahdollisen jälkiasennettavan jäteveden puhdistuslaitoksen hankkimisesta.

ASIASANAT:

matkustaja-alus, vedenpuhdistuslaitos, jälkiasennus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Production

December 2010 | Total number of pages 25

Yngvar Wikström, M.Eng

Rami Raekangas

SHIP RETROFITTING WATER TREATMENT SYSTEM PROJECTION PRE-PLANNING

The aim of this thesis was to design a water treatment system to a passenger vessel on board and to identify existing requirements and regulations, which the system should meet.

The thesis examined what the provisions of wastewater treatment plant should comply with what components the system consists of and how the process works. System and its operation was designed to ship-generated waste water, and dimensioned to cover the ship-generated waste water treatment needs. Also, the installation of the system arising from the potential problems was identified.

With data from the thesis gives possibility to figure out is it worth to install retrofitted water treatment plant to relatively old passenger vessel. The thesis evaluated also the profitability of retrofitted water treatment plant by operational and economic terms.

Data based on thesis gives a change to compare the existing possibilities for the future practice, and even take a decision on a possible retrofitting sewage treatment plants in the acquisition.

KEYWORDS:

Passenger vessel, water treatment plant, retrofitted

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 YMPÄRISTÖNSUOJELUMÄÄRÄYKSET	2
2.1 MARPOL 73/78 -yleissopimus	2
2.2 MEPC 159(55)	3
2.3 Helsingin sopimus	3
3 ASENNUSKOHDE	5
3.1 M/S Silja Europa	5
3.2 Vanha jäteveden käsittelyjärjestelmä	6
4 ADVANCED WASTEWATER PURIFICATION	9
4.1 Toimintaperiaate	9
4.1.1 Biologinen kalvopuhdistus	9
4.1.2 Aktiiviliete-flotaatio menetelmä	10
5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	12
5.1 Järjestelmän valinta	12
5.2 Järjestelmän mitoitus	12
5.2.1 Jäteveden määrä	13
5.2.2 Järjestelmän säiliöiden mitoitus	15
5.3 Järjestelmän toimintakaavio	16
5.4 Sähköistys	16
5.4.1 Laivasähkö	17
5.4.2 Järjestelmän sähköistys	18
5.5 Asennus	18
5.6 Kannattavuus	19
6 JÄRJESTELMÄN TIEDOT	21
6.1 Memrod® biologinen kalvopuhdistuslaitos	21
6.2 Ekologisuus	22
7 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24
LIITTEET	

Liite 1: Järjestelmän prosessikaavio

1 JOHDANTO

Ympäristön suojeleminen on tänä päivänä muun muassa niin ilmastosta lämpenemisen kuin Itämeren heikon tilanteen vuoksi jatkuvasti esillä. Laivaliikenne kasvaa jatkuvasti ja se asettaa huolenaiheita alusten aiheuttamien päästöjen suhteen. Merenkulkua koskevat uudet ympäristömääräykset asettavat aluksille entistä tiukempia rajoja koskien aluksilla syntyvää jätevedettä. Laivoista laskettavien vesien puhdistaminen onkin yksi merkittävimmistä toimista ympäristönsuojelun puolesta.

M/S Silja Europan, joka toimi opinnäytetyössä suunnitellun järjestelmän kohteena, rakennettiin jo valmistusvaiheessa jätevedettä käsittelevä järjestelmä. Järjestelmää ei kuitenkaan koskaan saatu toimimaan halutulla tavalla ja aluksen vedet onkin varastoitu alukselle ja puhdistettu vasta maissa. Järjestelmän asentamista alukselle tutkittiin vaihtoehtona jäteveden satamaan kuljettamiselle, jolloin alus voisi entistä itsenäisemmin hävittää jätevetensä riippumatta sataman jäteveden vastaanotto mahdollisuuksista. Myös taloudellisen kannattavuuden aiheuttamat kysymykset ovat mukana järjestelmää suunniteltaessa alukseen.

Työn tarkoituksena oli suunnitella järjestelmä M/S Silja Europan syntyvien erilaisten jätevesien puhdistamiseksi uusimpien määräysten vaatimalla tavalla. Työhön kuului järjestelmän mitoitus aluksen tarpeisiin sopivaksi, sopivimman prosessin valinta ja lopullisen prosessin suunnittelu. Työn tavoitteina oli selvittää järjestelmän vaatimukset Silja Europan kohdalla, millaisia toimenpiteitä asennus edellyttäisi ja olisiko järjestelmän asennus kannattavaa taloudellisesti.

Työssä verrattiin erilaisia tapoja toteuttaa sopivin mahdollinen jätevedenkäsittelylaitos. Sopivin tapa valittiin kahdesta yleisimmästä vaihtoehdosta, joita nykyaikaisissa aluksissa käytetään. Prosessi suunniteltiin täyttämään kaikki uusimmat ympäristönsuojelumääräykset.

2 YMPÄRISTÖNSUOJELUMÄÄRÄYKSET

Nykyaikana kun puhutaan paljon ilmaston lämpenemisestä ja itämeren heikentyneestä tilasta, ympäristön suojeluun kiinnitetään huomattavasti enemmän huomiota. Onneksi kaikki Itämeren alueen suurimmat laivanvarustamot, joiden joukossa muiden muassa Tallink Silja ja Viking Line ovat allekirjoittaneet WWF:n vetoituksen jätevesien kuljettamisesta satamiin vapaaehtoisesti. Lisäksi edellä mainituilla yhtiöillä on käytössä ISO 14001 -ympäristösertifikaatti. [1]

Jäteveden laskemista mereen säätelee useat ympäristönsuojelua edistävät määräykset ja järjestöt. Määräyksistä merkittävin on MARPOL 73/78 -yleissopimus (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) liitteinen, jota kehitetään YK:n alaisen Kansainvälisen Merenkulkujärjestön IMO:n (International Maritime Organization) meriympäristön suojelukomitean MEPC:n (Marine Environment Protection Committee) kokouksissa. [2]

2.1 MARPOL 73/78 -yleissopimus

MARPOL -yleissopimus on seurausta vuonna 1954 hyväksytylle OILPOL -yleissopimukselle (International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil). OILPOL -yleissopimuksen tarkoitus oli kieltää tankkereiden öljyä sisältävien painolastivesien tyhjentämisen rannikon läheisyydessä. Sopimusta tiukennettiin vuonna 1969 ja uudelleen vielä 1971. Vuonna 1973 Lontoossa pidetyn konferenssin tuloksena syntyi MARPOL 73 -yleissopimus. Tällaisenaan sopimus ei kuitenkaan koskaan tullut voimaan, vaan vasta vuonna 1978 pidetyssä TSPP:n (International Conference on Tanker Safety and Pollution Prevention) konferenssissa laaditiin sopimus valmiiksi. Tästä johtuu sopimuksen nimi MARPOL 73/78. Yleissopimus astui voimaan 2.10.1983 ja samalla OILPOL -yleissopimus lakkasi olemasta voimassa. [2]

MARPOL 73/78 -yleissopimus sisältää kuusi liitettä.

- Liite I Öljy ja öljytuotteet
- Liite II Irtolastina kuljetettavat vaaralliset nestemäiset aineet
- Liite III Meriympäristölle vaaralliset pakatut aineet
- Liite IV Alusten käymäläjätevedet
- Liite V Kiinteät jätteet
- Liite VI Ilmansuojelu

MARPOL 73/78 -yleissopimuksen liite IV koskee alusten käymäläjätevesiä ja se astui voimaan 27.9.2003. Käymäläjätevesiksi luetaan kaikenlaisista käymälöistä, wc-viemäreistä ja kaikki tyhjennykset lääkintätiloista sekä eläimiä sisältävistä tiloista. [3]

Rannikkovaltio saa itse päättää omilla aluevesillä käymäläjätevesien päästökiellosta. Mikäli valtio sallii käymäläjäteveden päästämisen käsittelemättömänä omilla aluevesillään, se ei ole veloitettu rakentamaan näille tarkoitettua vastaanottolaitetta satamiinsa. Käsittelemätöntä käymäläjätevettä on luvallista laskea mereen vähintään 12 meripenikulman eli noin 22 -kilometrin päässä lähimmästä maasta, sen tapahtuessa kohtuullisella nopeudella ja laivan ollessa liikkeessä. Suurimman sallitun päästämisenopeuden hyväksyy merenkulkulaitos kullekin laivalle. Hienonnetun ja desinfioidun käymäläjäteveden päästämisen mereen rannikkovaltio voi kieltää 3 meripenikulman eli noin 5500 metrin päässä lähimmästä maasta. Käsiteltyä käymäläjätevettä voi päästää mereen missä vain. [3, 4]

2.2 MEPC 159(55)

MEPC 159(55) on meriympäristön suojelukomitean vuonna 2006 hyväksymä päätöslauselma, joka määrittelee käymäläjätevesien käsittelylaitteiden hyväksyntää ja käsitellyille käymäläjätevesille uudet päästönormit. Päätöslauselma määrittelee myös seuraavat normit, jotka 1.1.2010 tai sen jälkeen alukselle asennetun käymäläjäteveden käsittelyjärjestelmän tulee täyttää:

- kuumaa sietävien kolibakteerien määrä enintään 100/100 ml
- lietteessä olevan kiintoaineen määrä enintään 35 mg/l
- biokemiallinen hapen (BOD)5 kulutus ei ylitä 125 mg/l
- kemiallisen hapen (COD) kulutus ei ylitä 125 mg/l
- pH arvon oltava 6,0 - 8,5
- klooria enintään 0,5 mg/l. [3]

2.3 Helsingin sopimus

Helsingin sopimus astui voimaan vuonna 1980 ja se on vanhin kokonaisen merialueen käsittävä merensuojelusopimus. Vuonna 2000 sopimus uudistui ja siitä tuli entistä sitovampi suojelusopimus Itämeren hyväksi.

Helsingin sopimuksen tärkeimpiä tehtäviä on muun muassa valvoa Itämeren rannikkovaltioiden aiheuttamia päästöjä ja tarpeen mukaan rajoittaa niitä. Helsingin sopimuksen on allekirjoittanut kaikki Itämeren rannikkovaltiot sekä Euroopan unioni vuonna 1992. [5, 6]

Helsingin sopimus on siinä missä MARPOL 73/78 –yleissopimuskin, hyvin merkittäviä sopimuksia ympäristönsuojelun kannalta. On hyvä, että määräyksiä tiukennetaan, koska esimerkiksi Itämeren tila on selvästi heikentynyt ja yksi syy tähän on laivaliikenteen aiheuttamat päästöt. Yhä tänäkin päivänä yli puolet Itämerellä risteilevistä aluksista laskee jätevetensä luvattomasti suoraan mereen. [7] Seuraavaksi meriympäristön suojelukomitean kokoontuessa voisivatkin he päättää tiukemmista rangaistuksista luvatta jätevettä laskeville aluksille.

3 ASENNUSKOHDE

Työssä suunniteltiin jälkiasennettava jätevesijärjestelmä kattamaan jo olemassa olevan aluksen jäteveden puhdistus. Tässä työssä järjestelmän kohdealuksena toimi M/S Silja Europa matkustaja-alus.

3.1 M/S Silja Europa

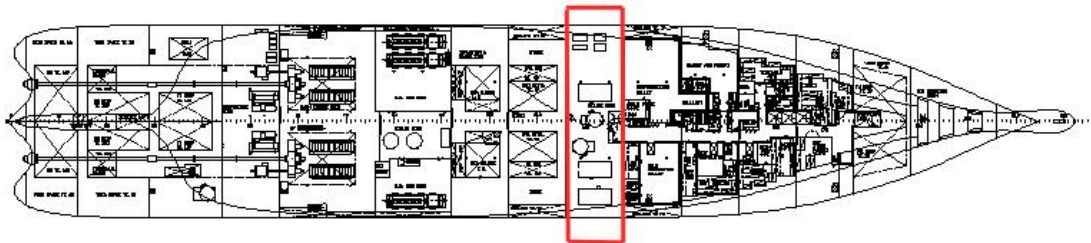
M/S Silja Europa on Tallink Siljan omistama risteilijäalus, joka liikennöi tällä hetkellä välillä Turku-Maarianhamina-Tukholma. Kotisatamana Silja Europalla toimii Maarianhamina. M/S Silja Europa valmistui vuonna 1993 Meyer Werftin telakalla Saksassa. [8] Alus oli alun perin rakennettu Viking Linen käyttöön ja maalattu jo sen väreihin, mutta Ruotsin kruunun devalvoitua 10 % varustamo ajautui taloudellisiin vaikeuksiin. Tämän seurauksena telakka piti laivan ja vuokrasi sen Silja Linelle. [8] Europa oli valmistumisvuodestaan aina vuoteen 2001 maailman suurin autolautta. Alukseen mahtuu 340 henkilöautoa tai 60 rekkaa, hyttejä laivalla on 1152, matkustajia mahtuu 3013 ja noin 300 miehistön jäsentä. Pituutta alukselta löytyy 202 metriä, leveyttä 32 metriä ja syväys on 6,8 metriä. [8]



Kuva 3.1 M/S Silja Europa

3.2 Vanha jäteveden käsittelyjärjestelmä

M/S Silja Europalla oli entuudestaan eräänlainen jäteveden käsittelyjärjestelmä. Tämän järjestelmän tarkoituksena oli puhdistaa aluksessa syntyvät erilaiset jätevedet. M/S Silja Europalla syntyy kahdenlaista jätevettä, niin sanottua mustaa ja harmaata vettä. Mustalla vedellä tarkoitetaan WC:ssä syntyviä käymäläjätevesiä ja harmaalla vedellä Silja Europan tapauksessa suihkuista, lavuaareista ja keittiöistä syntyvät jätevedet. Harmaata vettä voisi muun muassa olla myös pesulavedet, mutta Europalla ei ole omaa pesulaa käytössä, vaan kaikki likapyykki pestään maissa. Aluksen nykyistä jäteveden puhdistusjärjestelmää ei kuitenkaan saatu toimimaan tarkoituksen mukaisesti, lukuisista yrityksistä huolimatta. Puhdistettu vesi ei saavuttanut koskaan vaadittuja arvoja ja kaikkia keinoja on kokeiltu aina bakteeriviljelyitä myöden. [9] Prosessi ei myöskään lähtenyt käyntiin laivalla syntyvien jätevesien avulla, vaan aluksi jouduttiin pumppaamaan jätevettä satamasta alukseen, jotta prosessi saatiin käynnistymään. Nykyään järjestelmä on monilta osin purettu, koska sitä ei saatu toimimaan. Aluksen entinen järjestelmä sijaitsi laivan keskiosassa olevassa tilassa nimeltään ”sewage room”, kannella yksi. (kuva 3.2) [10, 11]



Kuva 3.2 M/S Silja Europa kansi 1 pohjakuva [9]

Kun aluksen puhdistusjärjestelmää ei saatu toimimaan, luovuttiin sen käytöstä kokonaan. Nykyään laivassa syntyvä jätevesi varastoidaan matkan ajaksi laivaan ja tyhjennetään satamassa. Musta vesi kerätään koko laivasta yhteen paikkaan. Ensin jätevesi kerätään erilliseen pyöreään keräilytankkiin (kuva 3.3). [10, 11]



Kuva 3.3 Mustan veden keräilytankki

Keräilytankin täytyttyä musta vesi pumpataan entisessä järjestelmässä käsittelsäiliöinä toimineisiin 38 m³:n säiliöihin, joita laivassa on kolme kappaletta (kuva 3.4). Käsittelyä näissä säiliöissä ei enää tapahdu, vaan jätevesi varastoidaan niihin kunnes ne pumpataan satamassa pois. [11]



Kuva 3.4 Mustan veden käsittelsäiliö

Harmaat vedet varastoidaan tällä hetkellä keulassa oleviin kahteen tilavuudeltaan noin 140 m³:n painolastitankkiin. Jätevesi pumpataan satamassa pois. Aluksella syntyvän jäteveden määrä on sen verran vähäinen, että aluksen säiliökapasiteetti riittää siihen, että jätevesi pumpataan alukselta kerran vuorokaudessa ja hiljaisempina aikoina harvemmin. Tällä hetkellä jäteveden pumppaaminen satamaan Tukholmassa maksaa kuutiometriltä noin puolet siitä mitä Turussa. Jäteveden pumppaaminen satamaan on siis taloudellisesti huomattavasti kannattavampaa Tukholmassa kuin Turussa. [10, 11]

4 ADVANCED WASTEWATER PURIFICATION

Advanced wastewater purification (AWP) järjestelmän tarkoitus on puhdistaa laivassa syntyvät erilaiset jätevedet. Erilaisia jätevesiä syntyy muun muassa keittiöistä, WC-tiloista, suihkutiloista, pesutiloista ja eläimille tarkoitetuista tiloista. Veden kuljettua järjestelmän läpi, tulisi sen täyttää arvoiltaan annetut määräykset, jolloin se voidaan laskea suoraan mereen.

4.1 Toimintaperiaate

AWP -järjestelmiä valmistaa useat eri vedenkäsittelyyn erikoistuneet yritykset. Tavoitteellinen lopputulos kaikilla järjestelmillä on sama, mutta pääpiirteittäin toteutustapoja on kaksi. Vaihtoehtoina vedenpuhdistukselle ovat membrane bioreactor -biologinen kalvopuhdistuslaitos tai vaihtoehtoisesti aktiiviliete-flotaatio periaatteella toimiva puhdistuslaitos. [12]

4.1.1 Biologinen kalvopuhdistus

Tässä prosessissa (kuva 4.1) musta ja harmaa vesi tulevat omia kanaviaan pitkin eräänlaiselle esisuodatus filterille tai kalvolle. Joissain tapauksissa ennen filteriä tai kalvoa saattaa olla säiliö jossa musta ja harmaa vesi sekoitetaan keskenään. Tämä toimenpide poistaa vedestä suuren osan kiinteästä jätteestä ja ohjaa sen sille tarkoitettuun säiliöön. Suodatuksen jälkeen, ennen kuin jätevesi menee MBR (Membrane BioReactor) -yksikköön jätevesi käy vielä keräilytankissa, jonka avulla pystytään tarpeen vaatiessa rajoittamaan veden virtausta MBR:lle. MBR koostuu kahdesta erillisestä osiosta ja tässä tapahtuvassa prosessissa jäteveteen puhalletaan ilmaa ja vedestä suodatetaan nyt erittäin tarkasti jäljelle jäänyt kiinteä aine. [13, 14, 15]



Kuva 4.1 Biologisen kalvopuhdistusprosessin periaate

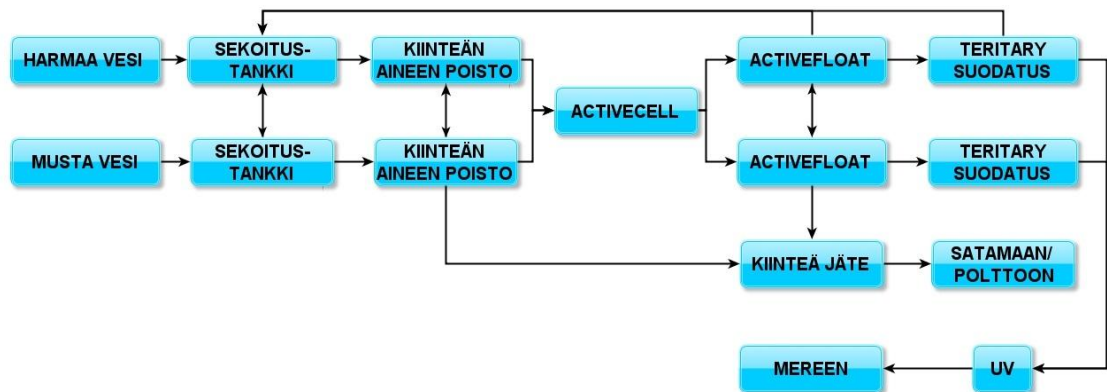
MBR -yksiköltä tuleva vesi on jo hyvin puhdasta, mutta vielä ennen mereen laskemista vesi kulkee ultravioletidesinfiointiyksikön läpi. Tässä käsittelyssä vesi yksinkertaisesti kulkee ultravioletivalon kautta varmistaen veden viimeistellyn puhtauden. Tämän jälkeen vesi on valmista laskettavaksi mereen. [14, 15]

Kiinteälle jätteelle on kaksi sijoitusvaihtoehtoa. Joko kiinteä jäte säilytetään laivassa satamaan saapumiseen asti, jossa se voidaan jättää pois tai sitten jos aluksella on mahdollisuus polttaa nämä kiinteät jätteet, ne voidaan hävittää myös siten. Kiinteän jätteen polttomahdollisuus on todennäköisempi uudisrakennus laivassa, jossa tällaiseen jätevedenpuhdistukseen on alusta asti varauduttu kuin aluksessa johon puhdistusjärjestelmä on asennettu jälkeinpäin. [14, 15]

Vikatilanteen sattuessa järjestelmässä on mahdollisuus varastoida syntyvä jätevesi siihen asti, kun alus pääsee satamaan pumppaamaan jäteveden ulos sitä varten suunnitellun hätätyhjennysreitit kautta.

4.1.2 Aktiiviliete-flotaatio menetelmä

Tälle menetelmälle valmistajia on vähemmän kuin kalvopuhdistusmenetelmälle. Seuraava esimerkkiprozessi on Hydroxylin CleanSea[®] -järjestelmän toimintaperiaate (kuva 4.2). Musta ja harmaa vesi kulkevat sekoitustankkeihin, joista vesi siirtyy ensimmäisille kiinteän aineen poistoyksiköille, jotka poistavat kiinteää ainetta hienojakoisen seulan avulla. Näiltä yksiköiltä jätevesi menee Hydroxylin ActiveCell[™] monivaiheiseen biofilmikuljetusprosessiin. Tässä prosessissa biofilmin kuljettimet toimivat sekoitettuna ilmatun veden kanssa ja tiheä bakteerikanta takaa korkean biohajoavuuden tason. Seuraavaksi vesi kulkee Hydroxylin ActiveFloat[™] kiinteän jätteen poistolaitteistolle. Tämä laite poistaa biologisessa prosessissa syntyneen kiinteän aineen sekä hiukkaset jotka eivät poistuneet ensimmäisillä kiinteän aineen poistoyksiköillä. Tämän jälkeen vesi virtaa teritary-suodatuksessa erityisen hienojakoisen suodatusmateriaalin läpi, jonka jälkeen vedestä on saatu poistettua haitallinen haju. Lopuksi vielä ennen mereen laskemista vesi saa ultravioletivalokäsittelyn. Tämä käsittely desinfioi veden ja samalla se takaa, biohajoamattomien virusten, muiden taudinaiheuttajien ja lääkkeiden jäämien mahdollisimman täydellisen tuhoutumisen. [16]



Kuva 4.2 CleanSea® prosessin toimintaperiaate

Kuten kalvopuhdistusmenetelmässäkin lopputulos on sama, eli puhdistettu vesi lasketaan suoraan mereen ja kiinteä jäte voidaan polttaa tai kuljettaa satamaan. Tässä kuten MBR -laitoksessakin on tietysti mahdollisuus jäteveden hätäyhjennykseen satamassa jos tilanne niin vaatii. [16]

5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Ennen varsinaisen suunnittelutyön alkamista tutustuttiin jo olemassa oleviin, valmiisiin vedenpuhdistusjärjestelmiin. Opeteltiin järjestelmien toimintakaavioissa käytettäviä piirrosmerkkejä ja tutustuimme laivanrakennusalalla käytettäviin termeihin ja sanontoihin. Lisäksi tutustuimme prosessikaavioihin sen verran kattavasti, että ymmärsimme miten prosessi toimii ja etenee sekä mitä kukin komponentti prosessin missäkin vaiheessa tekee.

5.1 Järjestelmän valinta

Järjestelmän toimittajaa valittaessa piti ensiksi päättää millä toimintaperiaatteella AWP järjestelmä haluttaisiin toteuttaa. Vaihtoehtoisia menetelmiä olivat biologinen kalvopuhdistus ja aktiiviliete - flotaatio. Oleellisena valintaperusteena konversiotyönä tehtävässä AWP järjestelmän asennuksessa on järjestelmän tilan tarve, koska aluksessa on jo olemassa tila johon järjestelmän on mahdollista asentaa. Valittiin näistä kahdesta kalvopuhdistus menetelmän, koska arvioitiin sen vievän vähemmän tilaa. Tilan tarve oli merkittävänä tekijänä valinnassa mukana myös kun valittiin MBR tekniikkaa käyttävistä valmistajista tarkoitukseen mielestämme sopivimman.

Tässä työssä käytettäväksi AWP järjestelmäksi valittiin RWO:n Memrod® kalvopuhdistuslaitoksen. Tämä AWP - järjestelmä on kerännyt kiitosta nykyisiltä käyttäjiltään ja sen tilavaatimukset ovat pienemmät kuin kilpailijoidensa vastaavilla järjestelmillä. [12]

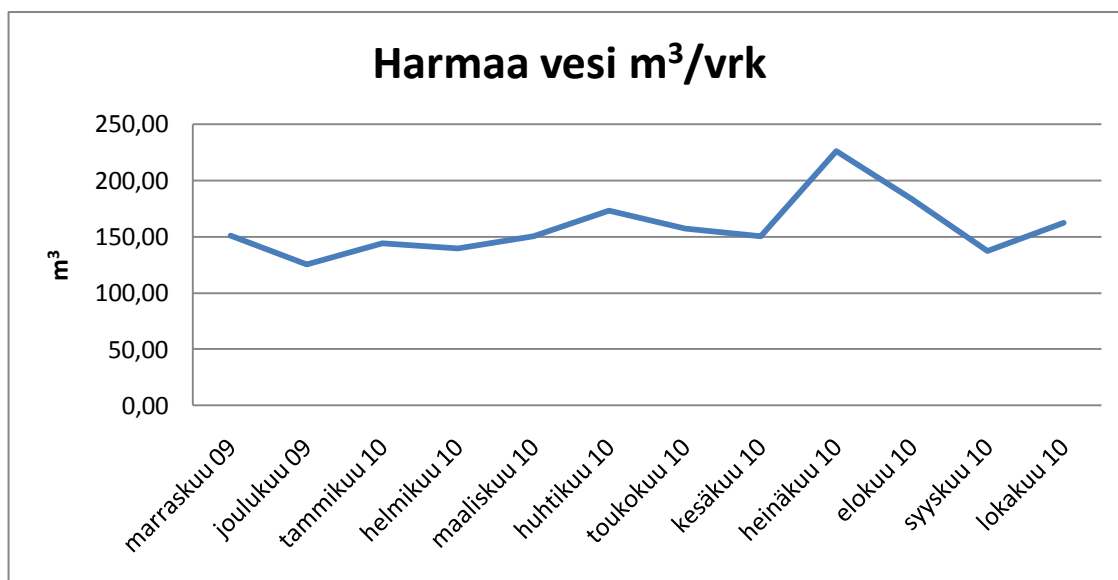
5.2 Järjestelmän mitoitus

AWP järjestelmää mitoittaessa oleellisimpana vaikuttavana tekijänä on erilaisten käsiteltävien jätevesien kokonaismäärä. Jätevesien määrään vaikuttaa matkustajien ja miehistön määrä sekä tilat hyttien lisäksi joissa syntyy käsiteltäviä jätevesiä. Tällaisia tiloja M/S Silja Europalla ovat muun muassa ravintolat keittiöineen, yökerhot, saunatilat ja yleiset WC-tilat.

5.2.1 Jäteveden määrä

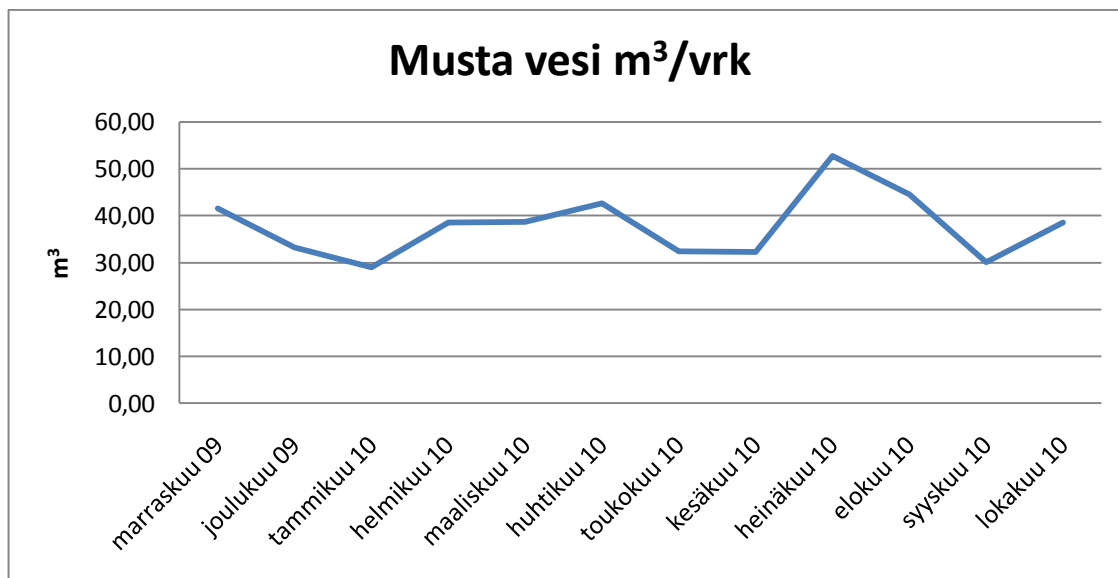
M/S Silja Europalla syntyvän jäteveden määrä vaihtelee hyvin paljon vuodenajan sekä viikonpäivän mukaan. Kesäkuukausina jätevettä syntyy huomattavasti enemmän kuin talvikuukausina ja viikonloppuisin selvästi enemmän kuin arkipäivinä.

Aluksella syntyvän harmaan veden kokonaismäärä vaihtelee kuukaudesta riippuen noin 4000 m³:stä jopa yli 7000 m³:iin kuukaudessa. Kuten alla olevasta kuvasta (kuva 5.1) huomataan, on heinäkuu selvästi muita kuukausia vilkkaampi harmaan veden tuotossa. Heinäkuussa harmaata vettä syntyy keskimäärin 226 m³ vuorokaudessa, mutta viikonloppuisin veden määrä voi olla jopa 265 m³. Vuoden 2009 heinäkuussa saavutettiin täysin samat maksimiarvot harmaan veden syntymisessä, joten näitä huippuarvoja voidaan käyttää järjestelmää mitoitettaessa harmaan veden osalta. [17]



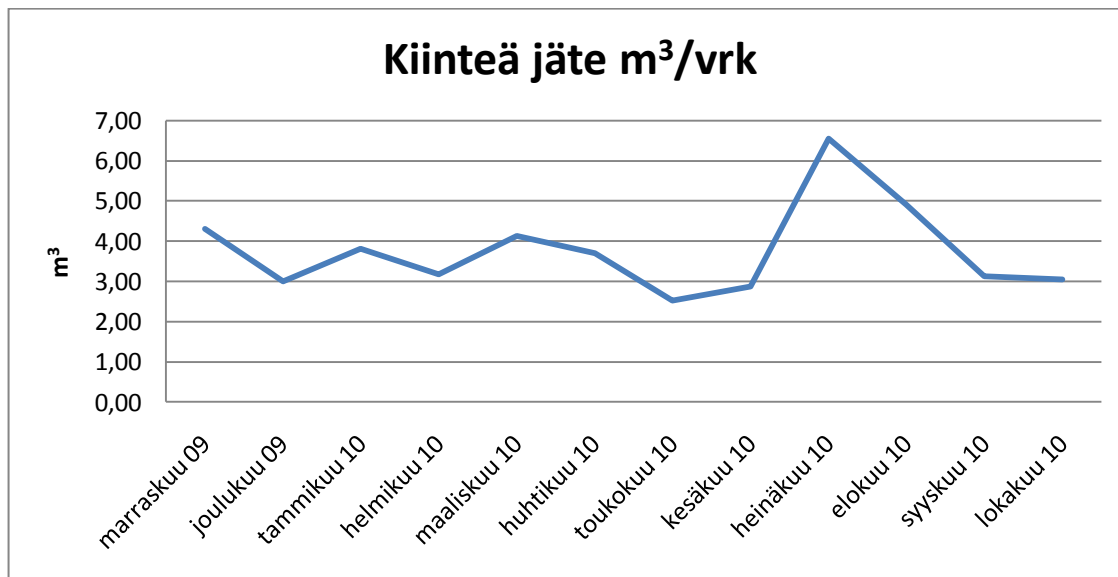
Kuva 5.1 Harmaan veden vuorokautinen määrä keskimäärin kuukausittain

Vuoden ajalta tarkastelemalla, mustaa vettä Silja Europalla syntyy kuukaudessa 900m³ – 1630m³ kuukaudesta riippuen. Kuten mustan veden syntymistä kuvaavasta kuvasta (kuva 5.2) huomataan, on heinäkuu myös mustan veden tuotetussa määrässä selvästi vilkkaampi. Keskimääräinen vuorokaudessa syntyvän mustan veden määrä on 29,0 m³ – 52,7 m³, mutta vuorokautinen minimiarvo voi olla niinkin vähän kuin 15 m³ ja maksimiarvo jopa 70 m³. Myös vuonna 2009 vuorokautinen maksimiarvo syntyi heinäkuussa ja se oli sama kuin vuonna 2010, joten myös tätä arvoa voidaan käyttää mitoituksessa. [17]



Kuva 5.2 Mustan veden vuorokautinen määrä keskimäärin kuukausittain

Mustan ja harmaan veden lisäksi aluksella syntyy muuta kiinteää jätettä. Tämän jätteen määrä vaihtelee näistä kolmesta huomattavasti eniten. Kuukautisen keskiarvon mukaan (kuva 5.3) määrä vaihtelee 2,5 m³:n ja 6,5 m³:n välillä, mutta heinäkuussa voidaan saavuttaa jopa 10 m³. [17]



Kuva 5.3 Märän kiinteän jätteen vuorokautinen määrä keskimäärin kuukausittain

5.2.2 Järjestelmän säiliöiden mitoitus

Järjestelmä tarvitsee runsaasti säiliökapasiteettia. Alukselta löytyykin entiseen järjestelmään kuuluneita säiliöitä, joita voidaan hyvin uudelleen käyttää uuden järjestelmän säiliöinä.

Harmaa vesi kulkee ennen puhdistusta samaan paikkaan kuin tälläkin hetkellä, eli keulassa oleviin kahteen 140 m³:n painolastitankkiin. Näiden tankkien kapasiteetti riittää hyvin kattamaan harmaan veden asettaman tilantarpeen, joten sitä varten ei tarvitse uusia säiliöitä alukselle lisätä.

Järjestelmässä olevat keräilyssäiliö ja kiinteän jätteen säiliö voidaan helposti toteuttaa kahdella aluksella jo olevalla noin 25 m³:n säiliöllä. Kiinteälle jätteelle tämä säiliö riittää hyvin ja keräilyssäiliöksi kapasiteettia on noin kaksinkertainen määrä tarvittavaan nähden.

Bioreaktorisäiliötä mitoitettaessa täytyy huomioida veden koostumus. Aluksella syntyvän jäteveden maksimimäärä on noin 335 m³:n luokkaa. Tästä voidaan laskea jäteveden biologinen kuorma seuraavien yleisten nyrkkisääntöjen avulla:

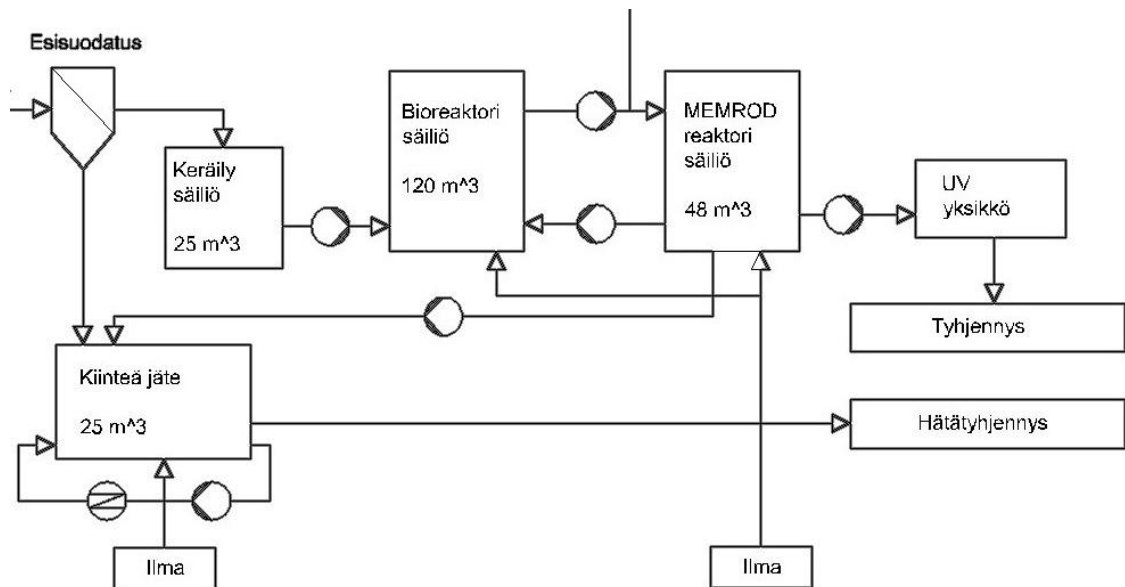
- musta vesi: 3000 mg (BOD)5/litra
- harmaa vesi: 200 mg (BOD)5/litra
- keittiövesi: 2000 mg (BOD)5/litra

Mustan veden biologiseksi kuormaksi maksimimäärällä 70 m³/vrk saadaan 210 kg (BOD)5/vrk. Harmaan veden maksimimäärästä 265 m³/vrk voidaan olettaa noin 65 m³ syntyvän keittiövesistä ja loput 200 m³ muualta. Harmaan veden biologiseksi kuormaksi saadaan täten 40 kg (BOD)5/vrk. Keittiöveden kuormaksi samalla laskutavalla saataisiin 130 kg (BOD)5/vrk, mutta koska keittiövesi täytyy kierrättää ”oil&grease separator” rasvanpoistoyksikön läpi, jää loppupuhdistukseen menevän keittiöveden biologinen kuorma murto-osaan lasketusta. Kokonaiskuormaksi saadaan täten noin 260 kg (BOD)5/vrk. Tämänkokoiselle kuormalle riittää tilavuudeltaan noin 120 m³:n säiliö. Säiliön tulisi olla mahdollisimman korkea ilmastuksen tehostuksen maksimoimiseksi. [12]

Memrod reaktorin säiliön tilavuudeksi riittää <50 m³:n säiliö. [11] Entisessä järjestelmässä toiminut 48 m³:n mustan veden käsittelyssäiliö (kuva 3.4) voidaan muuttaa tähän käyttöön sopivaksi.

5.3 Järjestelmän toimintakaavio

Lopullinen järjestelmä ja sen prosessikaavio (liite 1) suunniteltiin käyttäen apuna jäteveden puhdistuksen ammattilaista ja valmista prosessikaaviota aluksesta jossa samantyyppistä järjestelmää oli käytetty. Tätä kaaviota ja saatuja tietoja soveltamalla saimme suunniteltua M/S Silja Europan vaatimukset täyttävän puhdistusprosessin.



Kuva 5.4 Osa järjestelmän prosessikaaviosta

Harmaa vesi on jaettu kahteen linjaan, muuhun harmaaseen veteen ja keittiövedeen, koska se täytyy kierrättää rasvanerotimen kautta ennen sekoittamista muuhun harmaaseen veteen. Musta ja harmaa vesi sekoittuvat ennen esisuodatusta jossa kiintoaine poistetaan vedestä. Esisuodatuksen jälkeen vesi kiertää keräilysäiliön kautta bioreaktorille ja jatkaa siitä memrod reaktorille. Memrod reaktorilla vedestä poistuu loppukin kiinteä aines. Tämän jälkeen vesi vielä UV - desinfioidaan ennen mereen laskemista.

5.4 Sähköistys

Laivassa käytettävä sähköjärjestelmä eroaa tavallisesta maalla käytettävästä systeemistä.

5.4.1 Laivasähkö

Suurin ero laivasähkössä on se, että vaiheen lisäksi käytössä ei ole 0-potentiaalia vaan toinen vaihe. Kolmijohtimisessa kaapelissa on siis kaksi vaihetta sekä suojamaadoitus. 220 voltin vaihtojännitejärjestelmässä vaiheen ja suojamaan väliltä mitattuna saadaan mittaustulokseksi 110 volttia. Yksisäikeisen MMJ tyyppisen kaapelin sijaan laivassa käytetään halonivapaata, monisäikeistä kaapelia sen paremman taipuvuuden ja kestävyuden vuoksi. Lisäksi ainakin uudisrakennuslaivoissa kaapeleiden vetämiseen ja kiinnittämiseen on nykyään olemassa lukuisia sääntöjä.

- Kaapeli kiinnitetään kaapelikiskoon.
- Sisätiloissa kaapeloitaessa voidaan käyttää muovisia nippusiteitä kiinnitykseen.
- Ulkotiloissa kaapeloitaessa on käytettävä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja nippusiteitä.
- Sisätiloissa kaapeloitaessa kaapelin kulkiessa pystysuunnassa tai kaapelikiskon alapinnalla, on joka neljännen nippusiteen oltava metallinen.
- Heikko- ja vahvavirtakaapelien kulkiessa samalla kaapelikiskolla, vahvavirtakaapelit kulkevat perästä katsottuna radan vasemmalla puolella tai poikittain kulkiessa keulan puolella.
- Heikkovirtakaapelit kulkevat perästä katsottuna radan oikealla puolella tai poikittain kulkiessaan perän puolella.

Laivat on rakennettu siten, että tulipalon sattuessa tulen eteneminen pystytään rajoittamaan mahdollisimman hallitusti. Kaapelit kulkevat parhaimmillaan kymmeniä jopa satoja metrejä ja kaapeleille tehdyt läpiviennit on eristettävä siten, ettei tulipalo pääse etenemään niiden kautta. Nykyään läpivienneistä kulkevat kaapelit voidaan pakata esimerkiksi veden, kaasun ja palonkestävillä läpivienti komponenteilla (kuva 5.5) tai joissain tapauksissa palon kestäväällä eristysvaahdolla. [18]



Kuva 5.5 Läpiviennin eristys tuotteita (Roxtec)

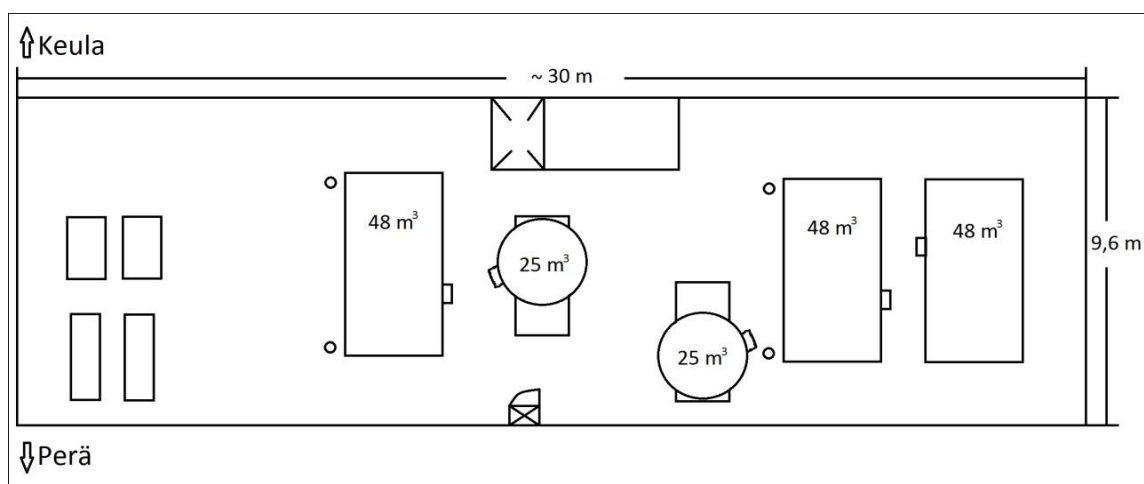
5.4.2 Järjestelmän sähköistys

Suunnitellun järjestelmän arvioitu sähkönkulutus olisi noin 2-3 kWh/m³, eli suurimmillaan noin 1000 kWh/vrk. [12] M/S Silja Europalla pääsähkökeskus sijaitsee konevalvontahuoneen luona ja se on hyvin lähellä tilaa johon mahdollinen järjestelmä sijoittuisi. Tilaan tulee tällä hetkellä entiselle järjestelmälle tarkoitettu 660 voltin järjestelmä, joten kaikki järjestelmää varten tulevat sähkötyöt muodostuisivat tilan sisällä tapahtuvissa kaapeloinneissa ja kytkennöissä. [11] Järjestelmälle tulee oma sähkökeskus, josta järjestelmän sähköjä ohjataan. Järjestelmässä lähestulkoon kaikki komponentit tarvitsevat sähköä toimiakseen tai ainakin ohjaukseen, joten jonkin verran kaapelin vetoa ja kytkemistä järjestelmän toimintakuntoon saaminen edellyttää.

5.5 Asennus

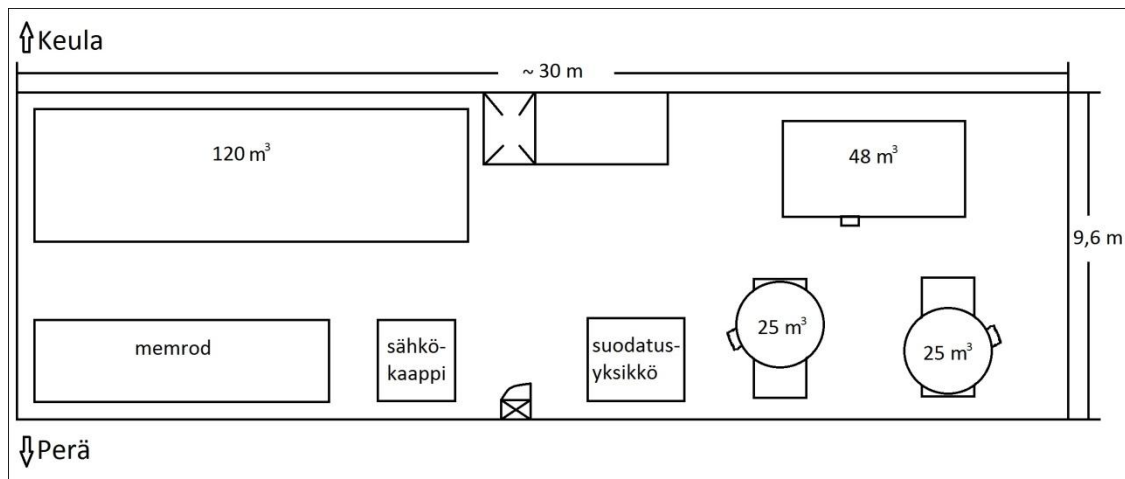
Järjestelmän mahdollinen asennus alukselle asettaa monenlaisia haasteita. Entisen järjestelmän osia joudutaan purkamaan uuden järjestelmän tieltä. Vanhojen osien ulossaamiseksi ja uusien osien sisään saamiseksi tilaan tarvitsisi tehdä reitti josta tavaran vieminen ja tuominen onnistuisi. Tila johon järjestelmä rakennettaisiin, sijaitsee ensimmäisellä kannella ja sen yläpuolella on matkustajille tarkoitettuja hyttejä, joten ainoa mahdollinen vaihtoehto olisi tehdä suhteellisen suuri aukko laivan kylkeen.

Tilasta johon järjestelmä asennettaisiin (kuva 5.6), joudutaan purkamaan pois kaikki ylimääräinen entiseen järjestelmään kuulunut sekä kaksi kappaletta 48 m³:n säiliötä, joita ei voida hyödyntää uudessa järjestelmässä. Lisäksi tilan optimoimiseksi tilaan jäävät säiliöt joudutaan asettelemaan uudelleen.



Kuva 5.6 Sewage room -tilan pohjapiirros alkutilassa

Järjestelmän asennuksen jälkeen huomataan, että asennustilaan on käytetty hyvin tehokkaasti (kuva 5.7). Lisäksi täytyy muistaa, että tilassa on myös järjestelmän pumput, putkitukset ja kaapelointi jotka eivät pohjakuvassa näy.



Kuva 5.7 Sewage room -tilan pohjapiirros asennuksen jälkeen

Asennusta varten alus on kuivatelakoiva, koska tila johon järjestelmä asennettaisiin, sijaitsee alimmalla kannella ja se on merenpinnan alapuolella. Järjestelmän toimintakuntoon saattaminen on kokonaisuudessaan niin iso projekti, ettei sitä voitaisi toteuttaa telakoimatta alusta. Kun alus kerran telakoidaan, sille voidaan samalla tehdä kattavia huoltotöitä.

5.6 Kannattavuus

Järjestelmä on toimintansa kannalta ehdottomasti kannattava hankinta. Järjestelmä mahdollistaa lähestulkoon täysin itsenäisen jätevesien hävittämisen, pois lukien kiinteän jätteen hävittäminen. Tämä poistaa riippuvuuden sataman jäteveden pumppaus mahdollisuuksista. Satamien jätevesilaitteistotkaan eivät ole täydellä varmuudella toimintakunnossa laivan saapuessa ja jos tyhjentäminen ei onnistu on alus vaikeuksissa.

Täysin riskitöntä järjestelmän asentaminen ei tietenkään ole. Sen sovittaminen alukseen on hankalaa ja sen toimivaksi saattaminen näin vanhaan alukseen asettaa ison haasteen. Täytyy muistaa, ettei edellistikään prosessia saatu aluksella toimimaan toivotulla tavalla, mutta vedenpuhdistuslaitokset ovat ottaneet ison harppauksen eteenpäin teknologian kehittyessä viimeisten 17-vuoden aikana.

Järjestelmän kannattavuutta taloudellisesti onkin huomattavasti vaikeampi arvioida, koska kustannuksia aiheuttavia tekijöitä on lukuisia. Suurimmat kustannuksia aiheuttavat tekijät ovat järjestelmän hinta ja sen asennuksesta koituvat kulut. Lisäksi niin sanotuiksi kuluiksi voidaan lukea telakoinnin aikana aiheutuvat tulonmenetykset.

Taloudellista kannattavuutta täytyy tarkastella myös siltä kannalta, että alus on jo 17 vuotta vanha ja saattaa hyvinkin olla jo poistumassa tämänhetkisen varustamonsa risteilijävalikoimasta.

6 JÄRJESTELMÄN TIEDOT

Memrod® on Saksalaisen RWO:n biologinen kalvopuhdistuslaitos, joka sijoittuu AWP markkinoilla kärkisijoille. RWO on maailman suurin vedenkäsittelyyn erikoistunut yritys. Sillä on yli 35 vuoden kokemus laivojen vedenpuhdistuksesta ja 15 vuoden kokemus kalvopuhdistusjärjestelmistä. [15]

6.1 Memrod® biologinen kalvopuhdistuslaitos

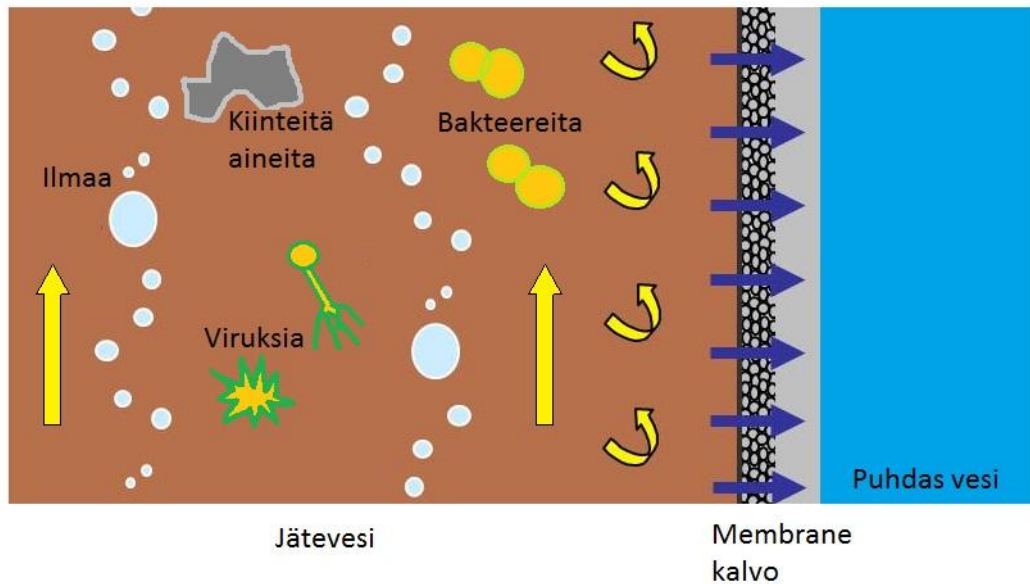
Järjestelmä voidaan asentaa yhtä lailla jälkiasennettuna vanhaan laivaan kuin uudisrakennus alukseenkin. Memrod® (kuva 6.1) laitosten kokovalikoimasta löytyy puhdistusjärjestelmä monen kokoiselle alukselle vain 25 hengen pienaluksista aina yli 4000 hengen loistoristeilijään, jossa jäteveden maksimivirtaus voi olla jopa yli 2000 m³/vrk. [15]



Kuva 6.1 Memrod®

Memrod® puhdistusprosessi sisältää kaksi vaihetta. Nämä vaiheet ovat biologinen epäpuhtauksien hajottaminen ja kiintoaineksen mekaaninen poisto kalvojen avulla. Kalvoprosessissa (kuva 6.2) tarvittava ilma puhalletaan erittäin hienoina kuplina säiliön pohjasta, kalvomoduulien alapuolelta. Tällä varmistetaan, että mikro-organismit saavat happea samalla kun virtaava ilma poistaa kaiken mahdollisen kertyvän aineen kalvon pinnalta. Kalvot ovat niin tehokkaita, että edes bakteerit eivät pääse sekoittumaan

puhtaaseen veteen. Ultrasuodatuskalvossa on erittäin tehokas huokoskoko, niiden ollessa kooltaan alle $0,1\mu\text{m}$. Suodatusprosessin jälkeen vesi on niin puhdasta, ettei sitä välttämättä tarvitse enää millään tavalla käsitellä. [19]



Kuva 6.2 Memrod® kalvon suodatus periaate

6.2 Ekologisuus

Memrod® biologinen puhdistusjärjestelmä saavuttaa helposti IMO:n päätöslauselmassaan MEPC 159(55) asettamat vaatimukset. Esimerkiksi biologisen hapen (BOD)5 suurin sallitun kulutuksen ollessa 25 mg/litra, saadaan memrod® järjestelmällä puhdistetusta vedestä täksi arvoksi 3 mg/litra. Kemiallisen hapen kulutukseksi saadaan 25 mg/litra, vaatimuksen ollessa 125 mg/litra. [15, 20] Lisäksi memrod® takaa seuraavat ominaisuudet:

- kiintoaine vapaa jätevesi
- ei tarvetta kloori desinfiointille
- kompakti suunnittelu, pienet ulkomitat
- täysin automaattinen toiminta, helppo ja halpa ylläpitää
- sopii kaikille laivalla syntyville jätevesille
- ei hajupäästöjä. [21]

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella jälkiasennettava jätevedenpuhdistusjärjestelmä kattamaan matkustaja-aluksella syntyvien erilaisten jätevesien puhdistus. Järjestelmä suunniteltiin täyttämään kaikki voimassaolevat meriympäristön suojelukomitean asettamat määräykset jätevesien puhdistuksesta.

Työ osoittaa, että ympäristönsuojeluun halutaan kiinnittää entistä enemmän huomiota. Kaikki Itämerenalueen suurimmat laivanvarustamot osoittavat kiinnostuksensa ympäristönsuojeluun allekirjoitettuaan sopimuksen jätevesien kuljettamisesta satamaan käsiteltäväksi. Joillakin isoimmilla laivanvarustamoilla on käytössään myös ISO 14001 -ympäristösertifikaatti. Ympäristönsuojelun edistämiseksi varustamoilla on varmasti mielessä myös matkustajamäärien kasvatus mainostamalla omia vihreitä arvojaan.

Työstä saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä päätelmiä jälkiasennettavan vedenpuhdistuslaitoksen kannattavuudesta asentaa lähes 20 vuotta vanhaan alukseen.

Puhdistusjärjestelmän jälkeensä tehtävä asentaminen matkustaja-alukseen voisi kannattaa niin operationaalisesti kuin taloudellisestikin. Järjestelmä sallisi huomattavasti itsenäisemmän keinon päästä eroon syntyvistä jätevesistä ja se niin sanotusti maksaisi itsensä takaisin jo 2-3 vuodessa. Eri asia onkin onko se kannattavaa näin vanhaan alukseen kun M/S Silja Europa. Kysymys siitä kuinka kauan kyseinen alus on enää käytössä nykyisellä varustamolla, varsinkin kun kilpailija saattaa uudistaa kalustonsa seuraavien vuosien aikana.

Työstä saatavia tietoja voidaan hyvinkin soveltaa muihin aluksiin, joihin ollaan suunnittelemassa jälkiasennettavaa jäteveden puhdistusprosessia.

LÄHTEET

- [1] Suomen matkatoimistoalan liitto ry, Laivaliikenne [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.smal.fi/index.php?453> (24.10.2010)
- [2] Merenkululaitos, MARPOL 73/78 –yleissopimus [www-dokumentti] saatavilla: http://www.trafi.fi/merenkulku/ympariston_suojelu/marpol_73_78_-_yleissopimus (6.4.2010)
- [3] Merenkululaitos, Liite IV Alusten käymäläjätevedet [www-dokumentti] saatavilla: http://www.trafi.fi/merenkulku/ympariston_suojelu/marpol_73_78_-_yleissopimus/liite_iv_alusten_kaymalajatevedet (6.4.2010)
- [4] WWF, Taustamuistio medialle 19.3.2010 [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.wwf.fi/villiplaneetta/wp-content/uploads/2010/03/IMO-taustamuistio.pdf>. (25.8.2010)
- [5] Merenkululaitos, Helsingin sopimus [www-dokumentti] saatavilla: http://www.trafi.fi/merenkulku/ympariston_suojelu/helsinki_sopimus (2.11.2010)
- [6] Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu, Helsingin sopimus [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=12390> (2.11.2010)
- [7] Lähdevuori L., Tekniikka&Talous, Ympäristö [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/ymparisto/article505549.ece> (25.11.2010)
- [8] Tallink Silja, M/S Silja Europa [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.tallinksilja.com/fi/ships/europa/technicalInformation/>. (28.9.2010)
- [9] Faktaomfartyg, M/S Silja Europa [www-dokumentti] saatavilla: http://www.faktaomfartyg.se/europa_1993.htm. (28.9.2010)
- [10] Tom Wickström, henkilökohtainen keskustelu (15.7.2010)
- [11] Matti Nurmi, henkilökohtainen keskustelu (25.10.2010)
- [12] Pekka Pohjanen, sähköpostikeskustelu (30.6.2010)
- [13] Hamworthy, Membrane bioreactor [www-dokumentti] saatavilla: <http://www.hamworthy.com/PageFiles/191/Membrane%20Bioreactor%20BROCHURE.pdf> (3.11.2010)
- [14] Jari Kauttonen, henkilökohtainen keskustelu (23.3.2010)
- [15] Veolia water, tuote-esitelmä (7.7.2010)

[16] Hydroxyl, CleanSea® -prosessi [www-dokumentti] saatavilla:
http://www.hydroxyl.com/site/products_cleansea_activecell.php

[17] M/S Silja Europa, Sewage water disposals taulukko (25.10.2010)

[18] Raimo Pirttipерä, henkilökohtainen keskustelu (16.11.2010)

[19] Veoliawaters, Memrod® process [www-dokumentti] saatavilla:
<http://www.veoliawaterst.com/memrodlt/en/>

[20] RWO, Marine wastewater treatment Memrod® [www-dokumentti] saatavilla:
<http://www.rwo.de/lib/rwo/F313JRDJy0BQ7ecAms63Dkh1.pdf>

[21] Nagamarine, RWO Memrod® membrane bioreactor [www-dokumentti] saatavilla:
<http://www.nagmarine.com/products/watertreatment/memrod.html>

