

Antrei Karpoff

VAIHTOEHTOISEN PUHDISTUSMENETELMÄN VALINTA MATKUSTAJA-ALUKSEN MERIVESIJÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄLLE

Opinnäytetyö
Merenkulun koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Antrei Karpoff	Insinööri AMK	Joulukuu 2020
Opinnäytetyön nimi		46 sivua
Vaihtoehtoisen puhdistusmenetelmän valinta matkustaja-aluksen merivesijähdytysjärjestelmälle		
Toimeksiantaja		
Tallink Silja Oy		
Ohjaaja		
Joel Paananen, Xamk Joni Nylander, Tallink Silja Oy		
Tiivistelmä		
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin puhdistusmenetelmiä, joita käytetään aluksien merivesijähdytysjärjestelmissä. Tutkimus tehtiin erään Tallink Siljan matkustaja-autolautan koneosaston toimeksiannosta. Tutkimuksen tekoheikellä kohdealuksella oli kasvustohaittojen torjumista vastaan käytössä kolme eri puhdistusmenetelmää. Näiden keinojen puhdistustehosta oli epäilystä sekä osa niistä oli ympäristöä kuormittavia. Tämän pohjalta tehtiin selvitys vaihtoehtoisista puhdistusmenetelmistä ja lopulta annettiin parhaasta menetelmästä suositus. Työssä tutkittiin myös kasvustohaittojen merkittävyyttä sekä niiden syntymekanismia.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä käytettiin pääsääntöisesti laadullisia eli kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä, kuten tapaustutkimusta. Aineistoa kasvustohaitoista ja puhdistusmenetelmistä on kerätty runsaasti englanninkielisistä nettilähteistä sekä kirjallisuudesta. Aineistoa kerättiin myös kohdealukselta teemahaastatteluilla sekä alukselta saatavilla olevista manuaaleista. Haastatteluihin osallistui kohdealukselta kaksi ylikonemestaria, jotka valittiin tarkoituksenmukaisesti aihepiiriin asiantuntemuksen mukaan.</p> <p>Haastattelujen perusteella mahdollisiksi vaihtoehtoisiksi puhdistusmenetelmiksi koettiin lämpökäsittely sekä anodinen suojaus. Haastatteluiden pohjalta todettiin myös, että kohdealuksella yksi puhdistusmenetelmä ei tule olemaan riittävä ja menetelmiä yhdistävää lähestymistapaa suositaan. Johtopäätöksenä todettiin, että suositusta parhaasta vaihtoehtoisesta menetelmästä oli hankalaa antaa. Tutkimustuloksena toimeksiantajalle suositeltiin kuitenkin anodista suojausta parhaimpana vaihtoehtoisena menetelmänä. Perusteluita anodisen suojauksen valinnalle olivat sillä saavutettava puhdistusteho, tunnettu teknologia ja todennettu käyttö samankaltaisessa järjestelmässä. Toimeksiantajalle suositeltiin myös merivesijärjestelmän lämpökäsittelyn kokeilua koneiden hukkalämmön avulla.</p>		
Asiasanat		
Merenkulku, kasvustohaitat, puhdistusmenetelmät, alukset		

Author (authors)	Degree	Time
Antrei Karpoff	Bachelor of Engineering	December 2020
Thesis title Selection of an alternative marine growth prevention system for a passenger ship's seawater cooling system		46 pages
Commissioned by Tallink Silja Oy		
Supervisor Joel Paananen, Xamk Joni Nylander, Tallink Silja Oy		
Abstract <p>The objective of this thesis was to investigate marine growth prevention systems (MGPS) used in the ships seawater cooling system. At the time of the study, the target vessel had three different cleaning methods to counter biofouling. The efficacy of these methods was questionable and some of them were harmful to the environment. Based on this, an investigation of alternative marine growth prevention systems was made and finally, a recommendation of the best alternative was given to the client. The study also examined the significance of biofouling and the mechanisms of their emergence.</p> <p>Research methods used in the study were mainly qualitative, such as case studies. The material on biofouling and MGPS was collected from a number of English-language online sources and literature. The data was also collected at the target vessel through interviews and manuals available. The interviews were attended by two senior engineers from the target vessel, who were appropriately selected according to the expertise of the topic.</p> <p>Based on the interviews, heat treatment and anodic protection were perceived as possible alternative cleaning methods. It was also concluded that one cleaning method would not be sufficient for the target vessel. Instead, a method combining approach was favored. In conclusion, it was difficult to give a recommendation on the leading alternative method. However, as a result of the study, anodic protection was recommended to the client as the best alternative method. Anodic protection was selected based on the achieved cleaning efficiency, known technology and the proven use in a similar seawater cooling system. The client was also given a recommendation to test heat treatment on the seawater cooling system with waste heat generated from the engines.</p>		
Keywords Maritime, biofouling, mgps, ships		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KASVUSTOHAITAT	7
2.1	Kasvustohaittojen merkittävyys	7
2.2	Kasvustojen muodostuminen.....	8
2.3	Kasvustohaitat aluksilla	10
3	SAATAVILLA OLEVAT VAIHTOEHTOISET PUHDISTUSMENETELMÄT	11
3.1	Kemiallinen käsittely	13
3.1.1	Anodinen suojaus	13
3.1.2	Klooraus	17
3.1.3	Otsonointi	19
3.1.4	Ferraatti (VI)	20
3.2	Fysikaalinen desinfiointi.....	20
3.2.1	Ultraviolettisäteily.....	21
3.2.2	Lämpökäsittely.....	22
3.2.3	Akustinen energia	23
4	TUTKIMUSMENETELMÄT	24
4.1	Tutkimusaineiston keruu ja analysointi	26
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET	28
5.1	Kohdealuksen merivesijäähdytysjärjestelmä	28
5.2	Nykyiset puhdistusmenetelmät	29
5.3	Toimeksiantajan reunaehdot	30
5.4	Vaihtoehtoiset puhdistusmenetelmät	31
5.5	Vaihtoehtoisten puhdistusmenetelmien vertailu	32
5.6	Suositus vaihtoehtoisesta puhdistusmenetelmästä	36
6	POHDINTA.....	37
7	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Kaikki meriveden kanssa kosketuksiin pääsevät komponentit ja pinnat altistuvat jonkinasteisille kasvustohaitoille. Näihin lukeutuvat mm. painolastitankit, aluksen runko sekä merivesijäähdytyksen komponentit. Kasvustohaitat koostuvat mikro- ja makro-organismeista, kuten levästä, simpukoista ja siimajalkaisista. Nämä voivat hoitamattomina tukkia putkistoja ja komponentteja, heikentää lämmönsiirtymistä lämmönvaihtimissa sekä aiheuttaa tarpeetonta kuormaa komponenteille. Pahimmillaan kasvustohaitat voi aiheuttaa merkittäviä lisäyksiä aluksen operointikustannuksissa ja vähentää aluksen operointikykyä.

Tutkimuksen kohteena olevalla aluksella näitä kasvustohaittoja torjutaan muutamain eri keinoin. Näistä pääsääntöiset menetelmät ovat kemikaaleilla tehtävät puhdistukset merivesijärjestelmälle ja lämmönvaihtimille. Tämän lisäksi merivesiputkistojen rakennusmateriaalina on käytetty CuNiFer (Kupari Nikkeli Rauta) -seosmetallia. Nykyisten puhdistusmenetelmien tehokkuudesta on epäilystä ja yksi näistä menetelmistä on ympäristöä kuormittava. Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, onko nykyisen kemikaalein tehtävän puhdistuksen tilalle saatavilla vaihtoehtoista puhdistusmenetelmää tai menetelmien yhdistelmää. Työssä keskitytään lähinnä aluksen merivesijäähdytysjärjestelmään, johon kuuluvat kohdealuksella pää- ja apukoneet sekä ilmastoinnin (AC) kompressorit.

Selvityksessä on käytetty runsaasti kasvustohaittoihin ja vaihtoehtoisiin puhdistusmenetelmiin liittyviä nettilähteitä ja kirjallisuutta. Näiden lisäksi tutkimusaineistoa kerättiin myös kohdealuksen kahdelta ylikonemestarilta teema-haastattelun puitteissa. Haastattelujen tarkoituksena oli kerätä tietoa toimeksiantajan reunaehdoista vaihtoehtoiselle puhdistusmenetelmälle sekä aluksen teknillisistä rajoituksista. Haastatteluilla pyrittiin myös selvittämään, mitä puhdistusmenetelmiä on mahdollista toteuttaa kohdealuksella sekä montako menetelmää tarvitaan riittävän puhdistustehon takaamiseksi. Toimeksiantajalta saadun aineiston pohjalta karsittiin tarjolla olevista menetelmistä kohdealukselle sopivat sekä annettiin parhaasta vaihtoehtoisesta menetelmästä suositus.

2 KASVUSTOHAITAT

Tämän luvun tarkoituksena on selvittää miten kasvustot muodostuvat, missä niitä muodostuu ja miksi ne ovat merkittävä ongelma. Kasvustojen biologian ja muodostumisen mekaniikan ymmärtäminen on välttämätöntä, kun halutaan tietää, miten niiden syntymistä voidaan ehkäistä tai jopa estää (Railkin 2003, 28). Tutustumalla myös siihen missä kasvustot herkimmin muodostuvat, auttaa ymmärtämään kuinka altis tämän tutkimuksen kohdealueselle on likaantumisen toiminta-alueella.

Kasvustohaitoilla tarkoitetaan ei haluttuja kasvustoja rakenteissa ja järjestelmissä, kuten laivojen rungoissa, öljynporauslauttojen rakenteissa sekä merivettä käyttävissä järjestelmissä. Voisi siis todeta lähes kaikkien meriveden kanssa kosketuksissa olevien käsittelemättömien pintojen altistuvan jonkinasteisille kasvustohaitoille. Kasvustot voidaan jakaa pääsääntöisesti kahteen ryhmään. Nämä koostuvat mikro-organismeista eli mikrobeista, kuten bakteereista ja paljain silmin nähtävistä makro-organismeista, kuten levistä, simpukoista ja siimajalkaisista.

2.1 Kasvustohaittojen merkittävyys

Kasvustohaitat ovat merkittäviä taloudellisesti niin kuin ympäristönkin kannalta. Ne vähentävät operointikykyä (Piola ym. 2016, 2) sekä joissain tapauksissa nämä haitat voivat luoda jopa turvallisuusriskejä, estäen tärkeiden komponenttien toiminnan (Railkin 2003, 17).

Suurimmat kulut aluksille koostuvat yleensä kasvustojen takia lisääntyneistä polttoainekustannuksista ja vastatoimista, joilla kasvustohaittoja aluksilla pyritään vähentämään. Kasvustohaittojen arvioidaankin aiheuttavan pelkästään Yhdysvaltojen laivastolle n. 1 miljardin dollarin kustannukset vuosittain (Callow & Callow 2002, 1).

Kasvustohaitat muodostavat haittoja myös voimalaitoksilla, joissa hyödynnetään merivettä jäähdytykseen esim. lämmönvaihtimissa. Lämmönvaihtimen toiminta perustuu lämmönsiirtymiseen fluidista toiseen jonkin materiaalin, kuten titaanilevyjen kautta, yleensä konvektion ja johtumisen avulla. Hyvänä indi-

kaattorina lämmönvaihtimen tehokkuudesta voidaan pitää fluidien välistä lämpötilaeroa. Toisin sanoen, mitä paremmin lämmönvaihdin siirtää lämpöä fluidista toiseen, sen parempi sen hyötysuhde on (Fakheri 2007). Tähän tehokkuuteen vaikuttaa esim. kasvustot lämmönvaihtimien pinnoilla, estäen lämmönsiirtymistä ja laskien lämmönvaihtimen hyötysuhdetta. Callow (2010, 6) toteaa luotsaamassaan 5 vuotta kestäneessä AMBIO-projektityössään, että kasvustot lämmönvaihtimien pinnoilla voivat vähentää lämmönsiirtymistä jopa 20–50 % laskien voimalaitoksen hyötysuhdetta. Tämä ongelman arvioidaan aiheuttavan globaalisti n. 15 miljardin dollarin kustannukset vuosittain.

Kasvustohaitat luovat myös riskin ympäristölle. Vieraslajien kulkeutuessa alusten painolastivesien mukana muihin vesistöihin, vähentävät ne vesistön biodiversiteettiä syrjäyttämällä vesistön alkuperäislajeja sekä tuomalla mukanaan uusia tauteja ja loisia (Helenius & Holm 2010, 34). Tämä ongelma on niinkin merkittävä, että myös kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO) on määrännyt, että kaikilla kansainvälisen liikenteen aluksilla täytyy olla 9/2017 jälkeen painolastiveden käsittelyyn jokin keino vieraslajien kulkeutumisen estämiseksi (Painolastivesiyleissopimus. IMO. 2004). Eräiden tutkimusten mukaan suurin osa vieraslajeista ei saatakaan kulkeutua aluksen painolastivesien mukana, vaan aluksen runkoihin kiinnittyneinä tai aluksen merivesikaivoissa (Lacoursière-Roussel ym. 2016; Frey ym. 2014, 1).

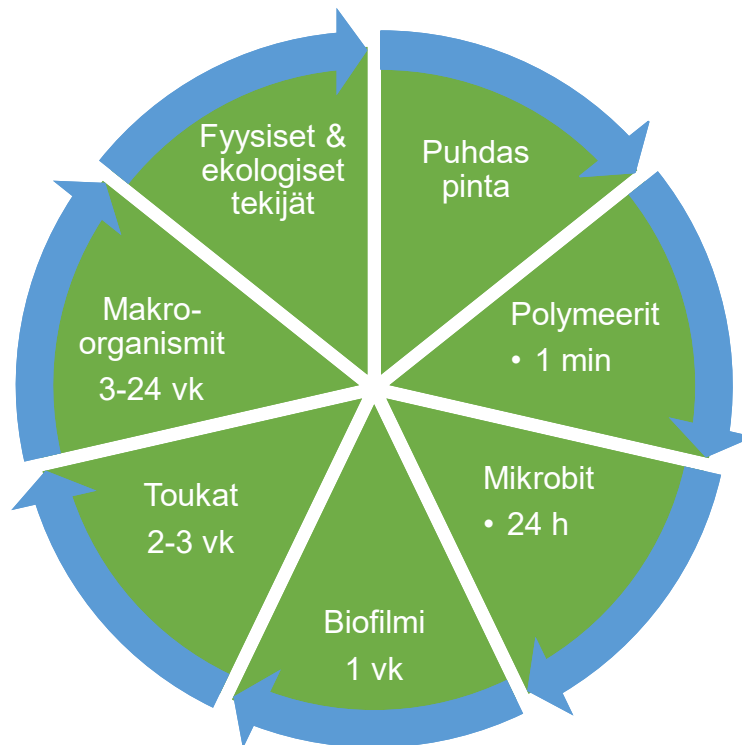
2.2 Kasvustojen muodostuminen

Kasvustojen muodostuminen pinnoille on hyvin dynaaminen prosessi. Siihen vaikuttavat ympäristölliset ja ekologiset tekijät, kuten sijainti ja muut kilpailevat lajit sekä vuodenaajat ja tartuttavan pinnan etäisyys pohjasta (Callow & Callow 2002, 2).

Railkin (2003, 10) toteaa kirjassaan suurimpien kasvustojen keskittymien sijoittuvan mannerjalustoille ja rannikoille, ja ovat jopa 10–1000-kertaiset verrattuna avomerillä esiintyviin kasvustoihin. Hän toteaa myös kirjassaan n. 80 % merenpohjissa elävistä lajeista asettuvan koville pinnoille pehmeiden sijaan. Kovat pinnat muodostuvat kivistä, kallioista sekä ihmisten tekemistä rakenteista, kuten alusten rungoista, putkistoista, poijuista yms. Pehmeät pinnat koostuvat taas lähinnä hiekasta, lietteestä ja savesta.

Taulukossa 1 on kuvattu kasvustojen muodostumisen mekaniikan pääasiallisia vaiheita. Kun puhdas pinta lasketaan meriveteen asettuvat luonnolliset polymeerit, kuten proteiinit sille minuuteissa ja tämä vaihe kestä n. 24 tuntia (Piola ym. 2016, 9). Tämän jälkeen pinnalle asettuvat esim. bakteereista muodostuvat mikrobit, luoden riittävästi ravintoa seuraavalle vaiheelle. Tätä vaihetta kutsutaan myös nimellä "microfouling" (Railkin 2003, 28). Seuraavassa vaiheessa mikrolevien itiöt ja alkueliöt muodostavat nk. biofilmin pinnalle. Tämä mahdollistaa neljännen vaiheen makro-organismien, kuten siimajalkaisten ja simpukoiden toukkien asettumisen pinnoille. Tämä vaihe kestää n. 2–3 viikkoa ja mahdollistaa tämän tapahtumaketjun huipun, eli kasvustojen, kuten simpukoiden ja selkärangattomien muodostumisen pinnoille. (Piola ym. 2016, 2.) Tämän tapahtumaketjun huipun saavuttamiseen vaikuttavat monet fyysiset ja ekologiset tekijät, hidastaen tai estäen kokonaan sitä tapahtumasta (Railkin 2003, 32).

Taulukko 1. Kasvustojen muodostuminen pinnoille



Alusten toiminta-alue ja nopeus sekä satamassa vietetty aika ovat myös kasvustojen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä. Yleisesti vähän satamissa aikaa viettävät nopeat alukset altistuvat pienemmälle likaantumiselle. (Railkin 2003, 16, Zenivan 1994 mukaan.)

2.3 Kasvustohaitat aluksilla

Suurimmat kustannukset aluksille koituvat runkojen likaantumisen myötä kasvaneista polttoainekustannuksista. Tämän lisäksi aluksien painolastivesien ja rungkon mukana voi kulkeutua vieraslajeja muihin vesistöihin. Vastakeinoista johtuvat kustannukset näiden tekijöiden minimoimiseksi ovat valtavia ja alusliikenteen kasvaessa näistä johtuvat kustannuksetkin ovat vain kasvaneet (Railkin 2003, 22, Gurevichin 1989 mukaan).

Joissain tapauksissa jopa polttoainelinjastoihin jäänyt kosteus luo kasvuston muodostumiselle suotuisat olosuhteet. Tämä voi johtaa loppukädessä linjojen tukkeutumiseen ja riittämättömään polttoaineen virtauksen koneikoille, aiheuttaen sähkönjakeluhäiriön tai propulsio- menetyksen. (Railkin 2003, 17.) Lopputuloksena saattaa olla vaaratilanne, jos alus sattuu olemaan tapahtumahetkellä ohjauskykyä vaativissa tilanteissa, kuten saaristossa tai avomerellä myrskyssä.

Kasvustohaitoille altistuvat myös alusten merivesijäähdytysjärjestelmän komponentit. Näihin lukeutuvat esim. merivesikaivot, putkistot, ja lämmönvaihtimet. Merivesijärjestelmään sisään tulevan veden määrä voi olla useita satoja kuutioita tunnissa, mikä tarkoittaa myös järjestelmään tulevien toukkien, eliöiden ja ravinteiden suurta määrää. Merivesijärjestelmää voidaan täten pitää varsin alttiina likaantumiselle. (Railkin 2003, 16–17.) Tämän lisäksi merivesijäähdytysjärjestelmä on paikoin ahdas, sisältää rakoja ja kohtia, joissa virtausnopeus on pienempi. Kaiken lisäksi siihen on hankala tai lähes mahdotonta päästä fyysisesti käsiksi. Nämä tekijät luovat kasvustolle suotuisan elinympäristön ja jos ongelmaan ei puututa, pääsevät ne suhteellisen helposti siellä kasvamaan. Kuvassa 1 näkyvästä merivesiputkesta voidaan havainnoida miten kasvustoja voi muodostua putkistojen pinnoille.



Kuva 1. Kasvustoja merivesiputkessa (Karpoff 2020)

Erityisiä ongelmakohtia merivesijärjestelmässä ovat merivesikaivot ja lämmönvaihtimet. Molemmat ovat aluksen toimintojen kannalta välttämättömiä ja näiden tukkeutuminen voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vaaratilanteen aluksella. Kasvustot lämmönvaihtimen pinnoilla vähentävät lämmönsiirtymistä sekä tehostavat metallisten komponenttien korroosiota. Nämä laskevat lämmönvaihtimen hyötysuhdetta sekä lisäävät koneikkojen, kuten pumppujen enenaikaista kulumista. (Railkin 2003, 17.)

Hoitamattomana lämmönvaihdin voi tukkeutua kokonaan ja aiheuttaa riittämättömän jäähtytyksen sitä tarvitseville koneikoille, kuten apukoneiden käytämille generaattoreille. Apukoneen jäähtytysveden lämpötilan noustessa tarpeeksi sammuttaa automaatio sen yleensä varotoimenpiteenä. Tästä johtuva sähkönjakelun keskeytys kriittisessä ohjailua vaativassa tilanteessa voi johtaa pahimmillaan aluksen karilleajoon.

3 SAATAVILLA OLEVAT VAIHTOEHTOISET PUHDISTUSMENETELMÄT

Tässä työssä on tarkoitus keskittyä nimenomaan aluksen merivesijäähtytysjärjestelmässä käytettäviin puhdistusmenetelmiin. Vaikkakin menetelmät ovat maissa ja aluksilla hyvinkin samankaltaiset on pieniä eroavaisuuksia ja rajoi-

tuksia kuitenkin olemassa. Aluksilla esim. puhdistukseen tarkoitettujen vaarallisten kemikaalien säilöntä voi olla rajoitetumpaa tai kiellettyä. Myös monet aluksilla käytettävistä puhdistusmenetelmistä pohjautuvat voimalaitoksilla käytettäviin puhdistusmenetelmiin. Tämä saattaa kuitenkin luoda ongelmia, sillä voimalaitoksilla voidaan joissain tapauksissa hyväksyä jäähdytysjärjestelmän tietynasteinen likaantuminen, kunhan laitoksen tarvittava tehokkuus ja toimivuus ylläpidetään. Alukset luovat kuitenkin omanlaisen toimintavarmuutta ja turvallisuutta vaativan ympäristön. Tämä voi vaatia puhdistusmenetelmältä jäähdytysjärjestelmän lähes täydellistä puhtautta näiden tekijöiden täytymiseksi. (Grandison ym. 2011, 15.) Tämä pätee varsinkin aluksiin, joissa odottamattomiin keskeytyksiin ei ole varaa. Näitä ovat esim. operatiiviset sotalukset sekä jatkuvaa ohjailukykyä vaativat saaristossa liikennöivät alukset.

Puhdistusmenetelmillä voi myös olla jo olemassa olevaa kasvustoa poistava tai uuden kasvuston muodostumista ehkäisevä vaikutus tai näiden yhdistelmä. Välittömän poistavan vaikutuksen antaisi lämmönvaihtimelle vetyperoksidi kemikaalilla tehtävä pesu, mutta se ei estä kasvuston uudelleen muodostumista. Kasvuston muodostumista ehkäisevän vaikutuksen ja passiivisen suojan antaisi taas CuNiFer-putkisto, joskaan kovin tehokasta poistavaa vaikutusta sillä ei ole. Näiden yhdistelmä voisi taas olla tehokkaan poistavan vaikutuksen sekä passiivisen suojan antava klooraus.

Tärkeä tekijä puhdistusmenetelmää valitessa on myös vaikutus ympäristölle. Jotkin metallit ja kemikaalit kuormittavat ympäristöä, kun taas esim. hukkalämmöllä ei ole juurikaan kuormittavaa vaikutusta ympäristölle. Tulevaisuudessa joitakin saatavilla olevista menetelmistä voidaan kieltää kokonaan käyttämästä, tai niiden käyttöä voidaan rajoittaa ja on täten tärkeää huomioida.

Puhdistusmenetelmät jaetaan yleensä mekaaniseen, kemikaaliseen ja fyysikaaliseen desinfiointiin. Näitä menetelmiä voidaan käyttää itsenäisesti, mutta myös menetelmiä yhdistävää lähestymistapaa käytetään tarvittavan puhdistustehon saavuttamiseksi.

Puhdistusmenetelmiä on varsin laaja kirjo saatavilla ja uusi teknologioita kehitetään jatkuvasti. Uusien teknologioiden vertailu ja toimivuus tosielämässä erilaisissa toimintaympäristöissä on kuitenkin varsin vähäistä ja saattaa olla

muuta kuin valmistaja ilmoittaa (Grandison ym. 2011, 4; Frey ym. 2014, 8). Tämän takia varustamot suosivat todennäköisemmin tutkittuja ja todennetun datan omaavia menetelmiä, sillä se vähentää mahdollisia riskejä menetelmään sijoittaessa. Siksi on tärkeää pyrkiä löytämään puhdistusmenetelmistä mahdollisimman paljon tutkimuksellista dataa, jotta se olisi tämän työn kannalta olennaista.

3.1 Kemiallinen käsittely

Kemiallisessa käsittelyssä puhutaan yleensä biosideista. Biosidit ovat kasvustohaittojen torjumiseen kehitettyjä kemikaaleja tai yhdisteitä. Biosidit voidaan jakaa hapettaviin ja ei-hapettaviin, joista hapettavat ovat yleisempiä. Hapettavat biosidit nimensä mukaisesti hapettavat eli toisin sanoen hajottavat organismien solurakenteita kemiallisesti. Hapettavia biosideja suositetaan yleisesti tehokkuuden ja suhteellisen alhaisten käyttökustannusten vuoksi. (Grandison ym. 2011, 7.)

3.1.1 Anodinen suojaus

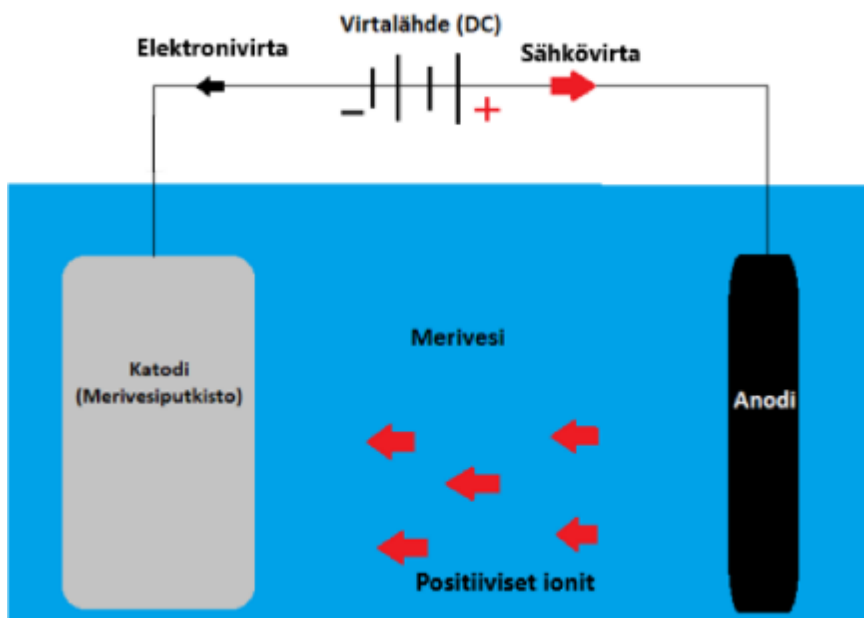
Anodinen suojaus on sinänsä hankala luokitella puhdistusmenetelmänä kemialliseksi, sillä suoranaisesti erillisiä kemikaaleja ei käytetä vaan puhdistavan vaikutuksen kasvustoja vastaan antavat kupari-ionit. Anodiselle suojuukselle luontaista on kuitenkin siinä tapahtuva sähkökemiallinen reaktio, jolloin kemiallinen käsittely kuvaa sitä ehkä tässä tapauksessa parhaiten.

Anodinen suojaus on yksi yleisimmistä aluskäytössä olevista puhdistusmenetelmistä, koska sen teknologia on tunnettua ja se on kustannuksiltaan suhteellisen halpa puhdistusmenetelmä. (Grandison ym. 2011, 16.) Kasvustoa hylkivän vaikutuksen antaa kupari. Kuparin ollessa pienissä määrin tärkeä hivenaine organismeille, on se kuitenkin suurissa pitoisuuksissa myrkyllinen tietyille meren selkärangattomille eliöille ja vähentää niiden kykyä lisääntyä ja kasvaa (Lenwood ym. 2009).

Anodinen suojaus aluskäytössä perustuu yleensä anodin kemialliseen hajoamiseen sähkövirran avulla. Hajoamisen tuotteena syntyy ioneita, jotka kulkeutuvat merivesijärjestelmään virtauksen mukana. Anodina tällaisessa järjestelmässä toimii yleensä kupari. Kuparianodin tarkoituksena on hajotessaan

vapauttaa pieni määrä kupari-ioneita, jotka muodostavat kasvustolle epäedullisen ympäristön komponenttien pinnoille. Tämä vähentää ja estää niiden asettumista ja lisääntymistä pinnoilla. Kuparia annostellaan järjestelmään pienissä määrin kytkemällä anodi erilliseen tasavirtalähteeseen (DC), jolla saadaan aikaan anodin hajoaminen. Annostelun määrä riippuu sovellettavan järjestelmän koosta, joka on minimissään keskikokoisissa järjestelmissä n. 2 ppb ($2\mu\text{g/L}$). (Cathwell 2019a.)

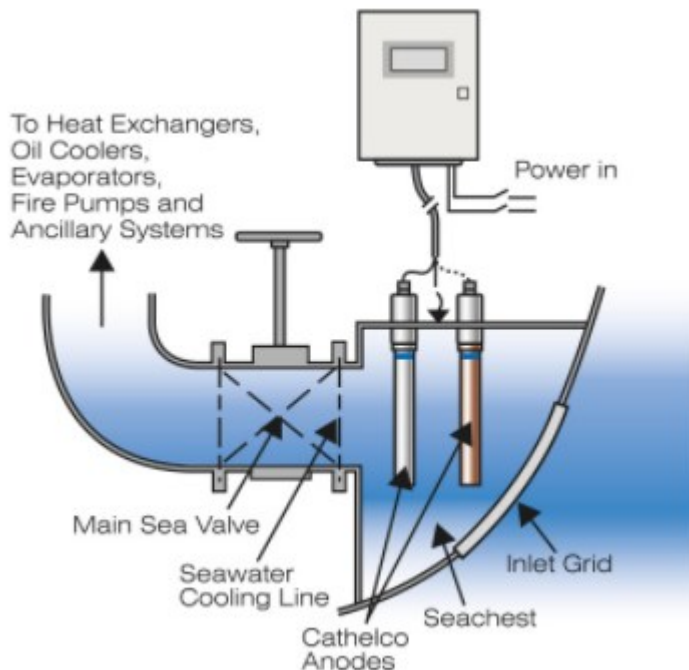
Anodisen suojauksen yhteydessä käytetään yleensä myös katodista suojausta. Katodisen suojauksen tarkoituksena on tehdä suojattavasta metallista, kuten merivesiputkistosta katodi. Tämä saavutetaan upottamalla suojattava metalli ja helpommin hapettava uhrimetalli, kuten sinkki (Zn) esim. meriveden kaltaiseen liuokseen. Tällöin sinkki toimii aktiivisempuna metallina eli anodina, hapettuen ja suojaten katodia korroosiolta. (Cathwell 2019b.) Katodinen suojaus voidaan toteuttaa pelkkiä uhrimetalleja käyttämällä, mutta yleensä merivesijärjestelmissä suositaan erillistä virtalähdettä. Kuvassa 2 näkyvä anodi vapauttaa hajotessaan positiivisesti varautuneita ioneita sekä elektroneja. Nämä tarttuvat katodin pinnalle suojaten sitä korroosiolta.



Kuva 2. Katodisen suojauksen periaate käytettäessä erillistä virtalähdettä

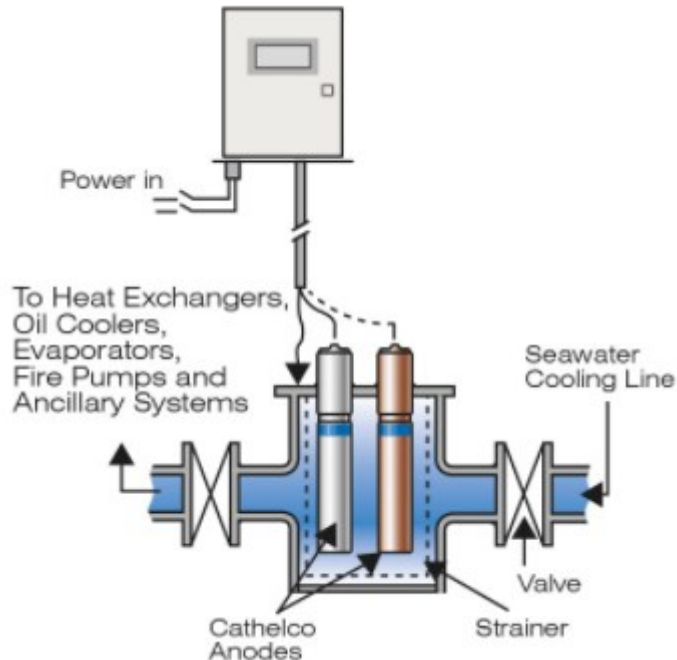
Koska aluskäytössä katodisessa suojauksessa käytetään yleensä erillistä virtalähdettä, mahdollistaa se paremman hallittavuuden anodin ja katodin potentiaalieron välillä. Tämän myötä myös anodit voidaan valita paremmin kestävämmistä materiaaleista, kuten titaania sisältävistä seosmetalleista. Tällaisten anodien elinikä on huomattavasti pidempi. Kasvustot metallipinnoilla tehostavat yleensä korroosiota niiden tasatessa anodin ja katodin välisen potentiaalieron (Railkin 2003, 19). Tämän takia anodien valvonta ja tätä kautta potentiaalieron parempi hallinta takaa varmemman suojauksen verrattuna järjestelmään, jossa suojaus tapahtuu ilman erillistä virtalähdettä. Erillisen virtalähteen käyttäminen mahdollistaa myös kuparin dynaamisemman annostelun verrattuna esim. kuparipohjaisiin anti-fouling-maaleihin. Tällöin anodinen suojaus voidaan kytkeä päälle vain tarpeen vaatiessa. Näin voidaan tehdä esim. sata-massaoloaikoina ja vastaavasti kytkeä anodinen suojaus taas pois, kun alus pääsee liikkeelle.

Anodinen suojaus voidaan toteuttaa aluksilla uudisrakennuksena, jolloin anodit sijoitetaan aluksen rakennusvaiheessa tai telakoinnin yhteydessä suoraan merivesikaivoon (kuva 3).



Kuva 3. Anodit asennettuna merivesikaivoon (Cathelco s.a)

Jos merivesilinjastossa on suodattimia, niin toinen vaihtoehto on sijoittaa anodit näiden suodattimien kansiin (kuva 5). Tämä voidaan tehdä myös jälkikäteen, jolloin telakointia asennukseen tai anodien vaihtamiseen ei tarvita.



Kuva 4. Anodit asennettuna suodattimen kanteen (Cathelco s.a)

Kolmas vaihtoehto on aluksen merivesilinjastoon liitetty erillinen elektrolyysitankki. Käsitteltävää merivettä tuodaan tankkiin, jossa tarvittava annostus ioneita anodien avulla tapahtuu. Käsitelty merivesi syötetään tämän jälkeen takaisin haluttuun järjestelmään. (Evac s.a.a.)

Anodit sijoitetaan yleensä mahdollisimman lähelle jäähdytysmeriveden sisäänottopistettä ja tällä pyritään käsittelemään mahdollisimman paljon merivesijärjestelmästä. Käsitteltävän järjestelmän ollessa kookas tulee myös huomioida anodisen suojauksen tehokkuuden laskeminen, mitä pidemmälle järjestelmässä anodeista kulkeudutaan. Täten tehokkaan suojauksen varmistamiseksi tulee kookkaaseen järjestelmään mahdollisesti sijoittaa useampia anodeita, merivesikaivoon sijoitettujen lisäksi. (Cathwell 2019c.)

Anodien suunniteltu elinikä on n. 1–2 vuotta ja on lähinnä riippuvainen järjestelmän virtausnopeudesta (Cathwell 2019d). Tämän jälkeen ne vaihdetaan yleensä telakoinnin yhteydessä. Tosin Australian laivaston tekemän tutkimuksen mukaan, kuparia voidaan joutua annostelemaan jopa kymmenkertainen

määrä valmistajan suositukseen nähden. Jotta tietyt organismit poistuvat järjestelmästä ja tarvittava puhdistusteho saavutettaisiin. Tämä lyhentää myös anodien elinikää ja lisää järjestelmän kustannuksia tiheämmän anodien vaihtotarpeen vuoksi. (Grandison ym. 2011, 4.)

Eräs tutkimus osoittaa joidenkin organismien, kuten simpukoiden, levien ja merirokkojen omaavan luonnostaan korkean vastustuskyvyn kuparille ja sille altistuessaan voivat tätä kykyään jopa kasvattaa (Hoare ym. 1995). Kuparia pidetään myös myrkyllisenä ympäristölle sen ollessa raskasmetalli. Tämän takia sen käyttöä on jo rajoitettu ja osittain kielletty, tulevaisuudessa kiellot voivat kohdistua myös merenkulkuun. (Grandison ym. 2011, 16.) Tällä hetkellä anodinen suojaus on kuitenkin sallittu puhdistusmenetelmä Euroopan aluevesillä, kunhan laitevalmistajalla on Euroopan kemikaaliviraston (ECHA) hyväksyntä (Evac s.a.b).

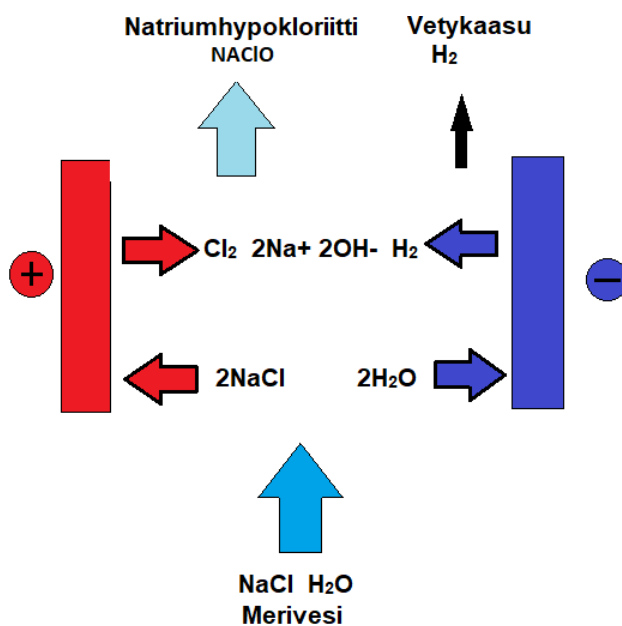
3.1.2 Klooraus

Klooraus on anodisen suojauksen ohella yksi laajimmin ja pisimpään käytetyistä puhdistusmenetelmistä aluksilla ja maissa. Kloori (Cl), klooridioksidi (ClO₂), kalsiumhypokloriitti (Ca(ClO)₂) ja natriumhypokloriitti (NaClO) ovat kaikki vahvoja hapettavia biosideja ja niitä käytetään mm. meriveden puhdistukseen sekä juomaveden desinfiointiin.

Kloorin tehokkuus on hyvin riippuvainen käsiteltävän veden lämpötilasta, pH-arvosta sekä vaikutusajasta järjestelmässä. Esimerkiksi Itämeren alhaisissa lämpötiloissa sen tehokkuus kasvustohaittoja vastaan on alhaisempi kuin tropisissa vesissä. (Helenius & Holm 2010, 46.)

Aluksilla klooraus on yleisesti suhteellisen tehokas keino useita likaavia organismeja vastaan, poistaen jopa 99 % merivedessä olevista bakteereista (Vorkapić ym. 2018, 2). Se soveltuu hyvin lämmönvaihtimien ja muiden merivesijärjestelmän komponenttien suojaukseen kasvustoilta. Klooria käytetään myös tehokkaasti simpukoiden ja merirokkojen poistoon merivesijärjestelmistä ja sillä voidaan saavuttaa jopa 100 % kuolleisuus oikealla annostelulla (Rajagopal ym. 2003; Adamson & Taylor 1976, 6).

Natriumhypokloriittia voidaan valmistaa sähkökloorauksella, eli merivedessä olevasta suolasta (NaCl) elektrolyysin avulla. Tämä tapahtuu erillisessä elektrolyysikennossa. Kuten kuvasta 6 voidaan havaita, on kennon sisällä esim. titaanista (Ti) valmistettu anodi (+) sekä katodi (-). Elektrolyysikennoon syötetään merivettä sekä tasavirtaa ja sähkökemiallisten prosessien tuloksena syntyy vetykaasuja (H_2) ja natriumhypokloriittia ($NaClO$). Lopuksi vetykaasut erotellaan natriumhypokloriitista ja valmis liuos voidaan varastoida erilliseen tankkiin, tai annostella käsiteltävään järjestelmään suoraan. Yleensä merivesikäyttöön tai useampiin annostelupisteisiin. (Idreco, s.a.)



Kuva 5. Elektrolyysikennossa tapahtuva kemiallinen reaktio (Idreco, s.a)

Sähköklooraus vaatii toimiakseen merivedeltä korkeaa suolapitoisuutta. Tämän takia sähköklooraus ei siis puhdistusmenetelmänä ole kuitenkaan sellaiseen mahdollinen Itämerellä, sillä Itämeren suolapitoisuus on liian alhainen (Peltola 2016, 22).

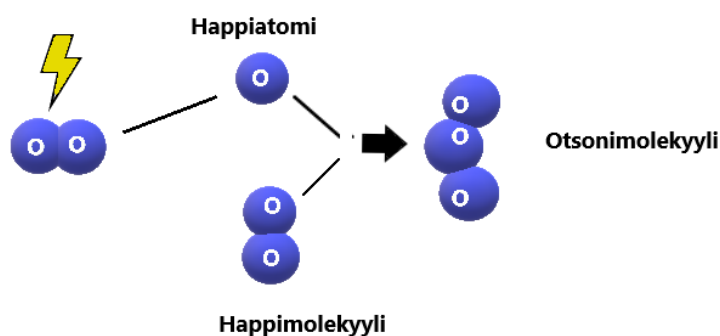
Vaihtoehtona klooraukselle on myös klooridioksidi. Klooridioksidi toimii natriumhypokloriittia laajemmalla pH-alueella ja soveltuu täten laajemmin erityyppisiin vesistöihin. Se on samalla vahvempi hapetin ja tehokkaampi biosidi sekä vähemmän ympäristöä kuormittava. Klooridioksidin käyttö biosidina on kuitenkin kalliimpaa, kuin vastaavasti kloorin tai natriumhypokloriitin. Tämän lisäksi se edellyttää kemikaalien varastointia ja käsittelyä. (Grandison ym. 2011, 17.)

Klooria liika annostellessa on sillä tutkittu olevan myös korroosiota tehostava vaikutus merivesiputkistoissa. Eräs tutkimus osoittaa, että vain 0.25 ppm (parts per million) jäännösklooria merivedessä tehostaa CuNiFer-putkiston korroosiota. (Schleich 2004, 8.) Täten klooria käytettäessä puhdistusmenetelmänä on vältettävä kloorin yliannostelua merivesijärjestelmään, jottei putkistojen tahatonta korroosiota pääse tapahtumaan. Tehokkaan kloorin annostelun saavuttamiseksi ja yliannostelun välttämiseksi olisi järkevää asentaa merivesijärjestelmään valvontalaitteisto, joka mittaa veden klooripitoisuutta.

3.1.3 Otsonointi

Otsoni (O_3) on voimakas kolmesta happimolekyylistä koostuva hapettava biosidi. Sitä muodostuu luonnollisesti mm. ilmakehässä UV-säteilyn vaikutuksesta sekä salamoinnin yhteydessä. Otsoni on voimakas hapetin ja sen tehokkuus biosidina perustuu sen epästabiilisuuteen ja erittäin nopeaan hajoamiseen. (Nylander 2015, 36, Castrénin 2012 mukaan.) Otsonia käytetään laajasti desinfiointiin sekä ilman- ja vedenpuhdistukseen erinäisissä käyttökohteissa. Se onkin tehokas keino etenkin merivedessä olevia mikro-organismeja vastaan (Videla ym. 1999).

Otsonia voidaan tuottaa ilmasta tai puhtaasta hapesta keinotekoisesti aluksilla erillisellä otsonaattorilla. Otsonaattorin toimintaperiaate perustuu yleensä koronapurkaukseen tai UV-valoon. Nämä dissosioivat happimolekyylin (O_2) happiatomiksi (O), joka taas muodostaa happimolekyylien kanssa otsonimolekyyleja (O_3)(kuva 6). (Nylander 2015, 37.) Reaktiosta syntynyt otsonikaasu syötetään sitten käsiteltävään järjestelmään pienissä määrin, tehokkaan annostelun vaihdellessa 0.1–0.3 ppm:än välillä (Videla ym. 1999).



Kuva 6. Otsonimolekyylien syntyminen koronapurkauksessa.

Otsonin pysymisaika merivesijärjestelmässä on varsin lyhyt sen nopean hajoamisen vuoksi ja onkin täten ympäristöä vähän kuormittava vaihtoehto. Otsonikaasun nopea hajoaminen tarkoittaa tosin myös sitä, että annostelun tulisi olla välitöntä. Täten tehokkaan pitkäjänteisen annostelun löytäminen saattaa olla haasteellista.

Annostelupisteitä tulisi olla myös useita tehokkaan puhdistuksen takaamiseksi ja meriveden pH-arvon vaikutus otsonoinnin tehokkuuteen tulisi myös huomioida. Suurimpina haittapuolina ovat kumminkin laitteiston suhteellisen suuret hankinta- ja ylläpitokustannukset. (Grandison ym. 2011, 9.)

3.1.4 Ferraatti (VI)

Ferraatti (FeO_4)²⁻ on rautaa, jonka hapetusluku on kuusiarvoinen ja on kloorin ja otsonin tavoin voimakas hapetin (Vesilaitosyhdistys 2016, 23). Ferraattia on mahdollista valmistaa nykyään paikan päällä itsenäisesti, tosin tällainen toteutus vaatii erillisiä kemikaaleja, kuten ferriklorideja (Ferrate Treatment Technologies 2009). Kalium Ferraattia (K_2FeO_4) on povattu parhaaksi vaihtoehdoksi ferraatille. Sen kuormitus ympäristölle on minimaalinen sekä sen valmistus on helppoa sekä sen puhdistustehon on todettu olevan hyvä. (Sharma 2002.)

Ferraatin käyttäminen puhdistusmenetelmänä on vasta viime vuosina nosta-
nut päätään ja sen teknologia ei ole vielä välttämättä tarpeeksi kypsää, siihen liittyvän kirjallisuuden ollessa myös vähäistä. Täten sen käyttöä merivesijäähdytysjärjestelmän puhdistusmenetelmänä tulisikin tutkia enemmän, ennen sen varsinaista käyttöönottoa.

3.2 Fysikaalinen desinfiointi

Fysikaalinen desinfiointi on puhdistusmenetelmä, mikä ei käytä kemikaaleja tai hapettavia aineita kasvustojen poistoon, vaan pikemminkin lämpöä, säteilyä tai kavitaatiota.

3.2.1 Ultraviolettisäteily

Ultravioletti tai UV-säteily on kemikaaliton ja varsin hyvin tunnettu puhdistuskeino. Sitä käytetään mm. veden sterilisointiin lääke- ja ruokateollisuudessa, painolastiveden käsittelyyn ja kasvustonestokeinona. (Piola ym. 2016, 3.)

Auringon tuottama UV-säteily voidaan jakaa kolmeen osaan, joita ovat UVA, UVB ja UVC. Näistä voimakkain on otsonikerroksessa pois suodattuva UVC. UVC on aallonpituudeltaan lyhyttä ja erittäin polttavaa säteilyä ja sitä voidaan tuottaa myös erikoislampuilla. Sitä käytetäänkin esim. bakteerien tappamiseen. (Säteilyturvakeskus 2020.)

Ryanin ym. (2019) mukaan Bolton & Cotton (2011) toteavat, että organismien altistuessa riittävälle UV-säteilylle, estää se niitä lisääntymästä vaikuttamalla niiden solujen molekyyliarakenteisiin. Tämä prosessi ei välittömästi hävitä organismeja, mutta pysäyttää kasvustohaittojen jatkumon eli uudelleenmuodostumisen.

Teknologian kehittyessä on markkinoille tullut LED UVC -valoja perinteisten elohopeaa sisältävien UVC-valojen sijaan. LED-lamput ovat pienempiä ja vankempia, niillä saavutetaan pienempi virrankulutus perinteisiin verrattuna sekä niiden päälle- ja poiskytkeminen ei ole niin rajoitettua. (Ryan ym. 2019, Li ym. 2017 mukaan.) Ryan ym. (2019) toteavat myös tutkimuksissaan, että UV-valolla suojatut pinnat voidaan pitää suhteellisen puhtaina likaantumiselta varsin matalalla, jopa 5 % pulssisuhteella. Tämä vähentää merkittävästi järjestelmän sähkönkulutusta tehden UV-säteilystä houkuttelevamman vaihtoehdon merivesijärjestelmän puhdistusmenetelmänä.

UV-valojen käyttämistä merivesikaivojen ja muiden haasteellisten paikkojen potentiaalisena puhdistusmenetelmänä on myös tutkittu hyvin tuloksin. UV-valot on mahdollista upottaa esim. silikonista valmistettuun pinnoitteeseen, jolla esim. merivesikaivon seinämät voidaan vuorata. Eräs tutkimus tällaisella toteutustavalla osoitti UV-valolla saavutettavan huomattava ero käsittelemättömään pintaan verrattuna 21 viikon ajalla. (Piola ym. 2016, 11–12.)

UV-valon käyttäminen puhdistusmenetelmänä sellaisenaan on kumminkin vielä suurissa merivesijäähdytysjärjestelmissä tällä hetkellä riittämätön. Tämän takia puhdistusmenetelmiä yhdistävä lähestymistapa saattaa olla tarpeellista. (Grandison ym. 2011, 10.) Erityistä huomiota tulisi kiinnittää myös UV-valojen asettelulle ja niiden toiminnan valvonnalle (Ryan ym. 2019; Piola ym. 2016, 16).

3.2.2 Lämpökäsittely

Lämpökäsittely on nimensä mukaan lämpöä hyödyntävä puhdistusmenetelmä. Siinä käsiteltävän veden lämpötilaa nostetaan tiettyyn pisteeseen ja ylläpidetään siinä eliöiden kuolemiseen asti. Lämpökäsittely voidaan toteuttaa aluksilla esim. koneiden jäähdytysveden hukkalämmöllä, mikroaalloilla, höyryllä tai kannettavilla lämpölaitteilla. (Grandison ym. 2011, 12; Boldor ym. 2008; Cahill ym. 2019.)

Tehokkaan lämpökäsittelyn saavuttamiseksi tulisi lämmön nousun olla nopeaa. Tällä saavutetaan nk. lämpöshokki, jolloin merivesijärjestelmässä olevat eliöt kuolevat. Käsiteltävän veden lämpötila vaihtelee 32–55 °C asteen välillä ja käsittelyaika jona lämpötila pysyy korotettuna, vaihtelee sekunneista tunteihin. Suuret vaihtelut lämpötiloissa ja ajoissa johtuvat eräiden eliöiden, kuten siima-jalkaisten korkeasta vastustuskyvystä korkeammille lämpötiloille. (Bolch & Hallegraeff 1993, 27; Piola & Hopkins 2012.)

Lämpökäsittelyn on todettu olevan tehokas, ympäristöystävällinen ja hukkalämpöä käyttäessä kustannuksiltaan alhainen vaihtoehto. Nostamalla meriveden lämpötilaa riittävän korkeaksi on mahdollista saavuttaa jopa täydellinen eliöiden kuolleisuus. (Helenius & Holm 2010, 50.)

Liiallista lämpöä ei tosin voi käyttää suoraan järjestelmään menevän jäähdytysveden käsittelyyn. Kohdealuksella tämän ei tosin pitäisi olla ongelma, sillä maasähköä hyödyntäessä on mahdollista nostaa merivesijäähdytysjärjestelmän lämpötilaa mahdollisesti turvallisesti.

3.2.3 Akustinen energia

Akustisen energian hyödyntämistä kasvustonestomenetelmänä on myös tutkittu aluksilla. Tämä voidaan toteuttaa ääniaaltoja tuottavilla laitteilla, jotka tuottavat ultraääntä (> 20 kHz) ja ihmiskorvin kuultavaa ääntä (20 Hz - 20 kHz) sekä ”pulssitetulla akustiikalla” (Legg ym. 2015, 5).

Akustinen energia puhdistusmenetelmä perustuu yleensä näiden laitteiden tuottamaan värähtelyyn ja kavitaatioon. Kavitaatiossa muodostuvat mikro-skooppiset kavitaatiokuplat aiheuttavat luhistuessaan paikallisesti valtavan määrän painetta ja lämpöä (1000 bar & 5000 K) tappaen ei-halutut organismit (Suslick 1998, 516).

Käyttäessä akustiikkaa aluksen merivesijäähdytysjärjestelmässä hyödynnetään yleensä pulssitettua akustiikkaa. Tämä perustuu kondensaattoreihin varautuneeseen korkeaan jännitteeseen, joka nopeasti purkautuessaan kahden elektrodin välillä aiheuttaa sähkönpurkauksen vedessä. Tämä sähkönpurkaus aiheuttaa kavitaatiota ja muodostaa akustisia shokkiaaltoja, poistaen putkistojen ja lämmönvaihtimien seinämiltä kasvustoja. (Legg ym. 2015, 5–7.)

Akustiikalla saavutettava puhdistusteho on verrattavissa erään tutkimuksen mukaan klooraukseen. Sillä on myös tutkittu saavutettavan jopa 95 % lasku mikro-organismien määrissä putkistoissa, tehokkaan suojauksen yltäessä n. 4.5 metrin päähän elektrodeista. (Brizzolara ym. 2010.)

Akustiikka voidaan hyödyntää laajoilla taajuusalueilla sen vaihdelta matalista hertsin taajuuksista jopa megahertsien taajuuksiin. Eräs tutkimus osoittaa eri taajuuksien tehoavan eri kasvustoihin paremmin ja toisiin taas huonommin. Ongelmana on kuitenkin selvien operointiparametrien puute, joilla parhain puhdistusteho saavutettaisiin. (Legg ym. 2015, 13.) Eräs tutkimus osoittaa myös alusten dieselgeneraattorien tuottavan matalia taajuuksia, jotka ovat jopa lisänneet eivätkä poistaneet kasvustoja alusten rungoissa (McDonald ym. 2014).

Vaikkakin akustiikan vaikutus ympäristölle moniin muihin puhdistusmenetelmiin verrattuna on minimaalinen, vaatisi etenkin kuulotaajuudella käytettävien taajuuksien vaikutusta eliöille vielä tutkia (Legg ym. 2015,11). Suurimmat haittapuolet akustiikan käytössä ovat kumminkin laitteistojen kallis hinta (Bott 2009, 3) sekä kavitaation myötä syntyvät mahdolliset rakenteelliset vauriot komponenteille (Grandison ym. 2011, 11).

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö on kvalitatiivinen ja siinä on käytetty pääasiallisesti kartoitettavia tutkimusmenetelmiä, kuten kenttä- ja tapaustutkimusta. Koska aineistoa kerättiin ihmisiltä, käytettiin aineistonkeruun välineenä teemahaastattelua. Haastatteluilla oli tarkoitus hakea aineistoa, jotta saataisiin vastaus tutkimuskysymyksiin, sillä pelkästään teoriapohjainen selvitys saatavilla olevista puhdistusmenetelmistä ei ole riittävä. Aineistona on käytetty myös alukselta löytyviä manuaaleja ja rakennekuvia kohdealuksen merivesijärjestelmästä.

Teemahaastattelu on haastattelutyyppi, joka ei noudattele tarkkaa kysymysluetteloja vaan pikemminkin teemoja, joiden pohjalta kysymyksiä haastateltaville esitetään. Teemahaastattelulle on oleellista haastateltavat henkilöt, joilta informaatiota pyritään kerätä haastattelijan kysymysten avulla. Koska otanta teemahaastattelussa on pieni ei haastateltavia valita satunnaisotoksella vaan tarkoituksenmukaisesti ja harkiten. Tällä pyritään hankkimaan tutkimuksen kannalta arvokasta ja luotettavaa tietoa. Haastateltavista voi tässä yhteydessä käyttää myös nimitystä informantti. (Hirsjärvi & Hurme 2011, 46.)

Ennen varsinaista haastattelua käytiin aluksen henkilökunnan kanssa vapaata keskustelua opinnäytetyöstä ja siihen liittyvistä tutkimuskysymyksistä. Tämän tarkoituksena oli testata aikaisemmin tutkimussuunnitelmassa tehtyä haastattelun runkoa ja ennen kaikkea herätellä haastateltavien kokemuksia ja mielipiteitä. Tätä voisi myös luonnehtia esihaastatteluksi. Keskusteluiden pohjalta tehtiin lopulliset muutokset haastattelurungoille sekä haastateltavien voitiin todeta olevan kyseessä olevan aihepiirin asiantuntijoita. Näillä perusteilla valittiin kohdealuksen henkilökunnasta informanteiksi kaksi ylikonemestaria. (Hirsjärvi & Hurme 2011, 72.)

Vaikka valittu otanta oli pieni, todettiin sen olevan riittävä konkreettisen vastauksen saamiseksi tutkimuskysymyksiin. Tätä pohjusti molempien haastateltavien huomattava työkokemus ja tätä kautta kerrytetty asiantuntemus aiheesta. Molemmilla haastateltavilla oli kohdealuksella kerrytetyn työkokemuksen lisäksi kokemusta myös muista aiheen kannalta oleellisista tehtävistä myös kohdealuksen ulkopuolelta. Tämä toi keskusteluihin ja haastatteluihin lisää hyviä näkökantoja.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoituksena oli taltioida haastattelut nauhoittaen, mutta pian kuitenkin työpaikalle mentäessä todettiin aikataulun ja resurssien olevan rajalliset tämän toteuttamiseksi. Tästä syystä päädyttiin lopulta sähköpostihaastatteluun, sen ollessa haastattelijalle ja haastateltavalle joustavampi ja vaivattomampi menetelmä myös ajallisesti. Molemmat haastateltavista suosivat myös sähköpostihaastattelua sen joustavuuden kannalta.

Sähköpostihaastattelun luotettavuudesta validina aineistonkeruumenetelmä on eriäviä mielipiteitä, sillä sähköpostihaastattelu saatetaan kokea vuorovaikutukseltaan ja välittömyydeltään rajalliseksi. Sähköpostihaastattelussa tunteet ja ilmeet eivät välity sähköisesti keskustelua käyvien ihmisten välillä samalla tavalla, kuin kasvotusten keskustellessa.

Tämän pohjalta tutustuttiin Jaakko Koivulan (2010) tekemään pro gradu -tutkielmaan sähköpostihaastattelun luotettavuudesta aineistonkeruumenetelmänä. Jaakko toteaa tutkimuksessaan sähköpostihaastattelun olevan validi vaihtoehtoinen aineistonkeruumenetelmä, kunhan tietyt ehdot täyttyvät haastattelijan ja haastateltavan välillä.

Perusteluita sähköpostihaastattelun soveltuvuudelle tässä tutkimuksessa pidettiin muutamaa tekijää. Haastateltavilta kysyessä vaihtoehtoista haastattelutapaa molemmat suosivat menetelmää, jossa oli mahdollista kirjoittaa vastaus esitettyihin kysymyksiin. Tästä voidaan olettaa molempien osaavan ilmaista itseään tietokoneen kautta. Tämän lisäksi molemmat haastateltavat olivat ennestään tuttuja sekä heidän kanssaan oli käyty vapaata keskustelua käsiteltävästä aiheesta. Tämän pohjalta myös tietynlainen luottamus haastattelijan

ja informantin välillä oli mahdollista luoda. (Koivula 2010, 39–42.) Tämän lisäksi haastateltavien kanssa oli mahdollisuus käydä keskustelua haastatteluiden jälkeenkin muillakin viestintävälineillä.

4.1 Tutkimusaineiston keruu ja analysointi

Kun vaihtoehtoisin puhdistusmenetelmiin oli perehdytty tarpeeksi, aloitettiin kasaamaan ennakkoaineistoa haastatteluja varten. Ennakkoaineisto koostui aikaisemmin kerätystä datasta vaihtoehtoisista puhdistusmenetelmistä, tuoden niiden ominaisuudet sekä hyvät ja huonot puolet esille. Ennakkoaineiston tarkoituksena oli helpottaa haastattelijaa kysymyksiin vastaamisessa. Tämä taas palvelee tutkijaa, koska ennakkoaineiston luettuaan haastateltavan on helpompaa antaa tutkimuksen kannalta luotettava vastaus.

Haastattelun runko oli testattu ja toteutettu jo entuudestaan, mutta haastattelutyyppin vaihduttua sähköpostihaastatteluun oli tärkeää tehdä teemoista tarkentavia kysymyksiä jo valmiiksi. Tämän tarkoituksena oli helpottaa kysymyksiin vastaamista ja vähentää tyhjiä vastauksia.

Molemmille haasteltaville tehtiin omat haastattelupohjat. Haastattelun teemat pohjautuivat tutkimuskysymyksiin sekä kohdealuksen merivesijärjestelmään ja nykyisiin käytössä oleviin puhdistusmenetelmiin. Tarkentavina kysymyksinä toiselta haastateltavalta kysyttiin varustamon reunaehtoja vaihtoehtoisen puhdistusmenetelmän suhteen. Toiselta haastateltavalta kysyttiin taas järjestelmäkuvaus merivesijärjestelmästä sekä nykyisin käytössä olevista puhdistusmenetelmistä. Molemmilta kysyttiin mielipiteitä vaihtoehtoisista puhdistusmenetelmistä. Tämän lisäksi pyrittiin selvittämään, montako menetelmää haastateltavat kokivat riittäväksi, jotta haluttu puhdistusteho kohdealuksella saavutettiin.

Sähköpostin välityksellä lähetetyssä haastattelurungossa oli myös kirjallinen suostumus, josta selviää mihin haastattelun tuloksia aiotaan käyttää eli mitä tutkitaan. Suostumuksesta selviää myös, että tuloksia käsitellään anonymisti eikä haastateltavien henkilöllisyyttä tuoda missään tutkimuksen vaiheessa ilmi. Suostumuksessa kerrotaan myös, kuinka kauan haastattelun tuloksia säilytetään, joka tässä tapauksessa oli tämän tutkimuksen ajan. Haastateltavilla

oli missä vaiheessa tahansa mahdollisuus kieltäytyä vastaamasta kysymyksiin tai perumaan vastauksensa vastausten lähettämisen jälkeenkin. (Tuomi & Sarajärvi 2017, 114.)

Haastattelut toteutettiin elo-syyskuussa 2020 sähköpostin välityksellä. Haastateltaville annettiin aikaa vastata kysymyksiin vapaasti ja vastaukset saatiin suhteellisen nopeasti, noin 2 viikon kuluessa sähköpostin lähettamisestä.

Haastatteluiden lisäksi aineistona käytettiin alukselta löytyviä manuaaleja. Manuaaleista hankittu tieto oli aluksen merivesijähdytysjärjestelmään liittyvää ja niistä saatiin tarpeelliset pohjapiirustukset ja tekniset tiedot. Manuaaleista saatua tietoa käytettiin tukena haastatteluista saadulle aineistolle. Manuaaleista ja haastatteluista kerätyn aineiston tarkoituksena oli selvittää, mihin merivesijähdytystä kohdealuksella käytetään ja tätä kautta selvittää puhdistustarpeen laajuus. Tarkoituksena oli myös selvittää, mitä menetelmiä olisi aluksella järkevää tai mahdollista toteuttaa.

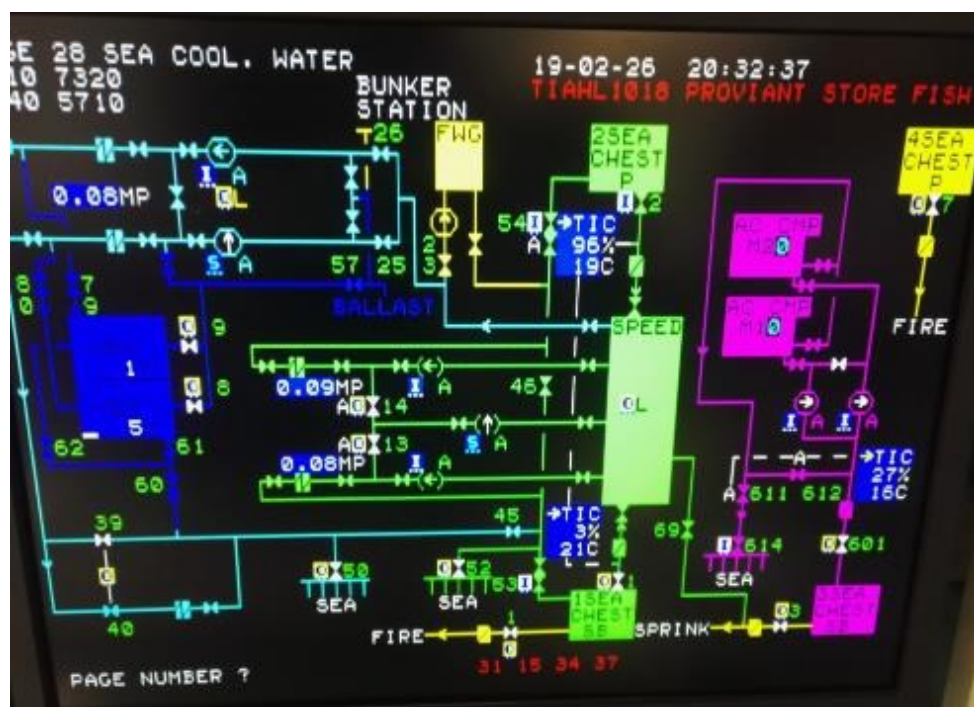
Aineisto analysoitiin aineistolähtöisesti ja tutkimus noudattelee aineistolähtöisen sisällönanalyysin vaiheita. Ensin kerätty aineisto kirjoitetaan puhtaaksi, jota tämän työn kohdalla helpotti sähköisessä muodossa vastaanotettu aineisto sekä pieni otanta. Kun aineisto on kirjoitettu puhtaaksi, se pelkistetään, eli redusoidaan. Redusoinnin tarkoituksena on karsia tutkimuksen kannalta epäolennaista tietoa pois sekä tiivistää aineistoa. Pelkistämässä luodaan myös pohja seuraavalle vaiheelle, eli klusteroinnille. (Tuomi & Sarajärvi 2017, 91–92.) Aineiston pelkistämisen jälkeen se ryhmitellään, eli klusteroidaan. Ryhmittelyssä aineistosta etsitään samankaltaisuudet sen luodessa myös pohjan tutkimuksen perusrakenteelle. Aineiston ryhmittelyn jälkeen se abstrahoidaan, eli saadun aineiston pohjalta muodostetaan tutkimuksen kannalta olennaisia uusia teorioita. (Tuomi & Sarajärvi 2017, 92–93.)

5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

5.1 Kohdealuksen merivesijäähdytysjärjestelmä

Tutkimuksen kohdealuksella merivettä käytetään laivan pää- ja apukoneiden LT (Low Temperature) -veden jäähdytykseen lämmönvaihtimien avulla sekä AC-kompressoreiden jäähdytykseen. Lisäksi palopumput ottavat vetensä merivesikaivoista. Merivesijärjestelmän putkistoissa on käytetty rakennusmateriaalina CuNiFer-seosmetallia.

Kuvassa 7 on järjestelmäkuvaus aluksen merivesijäähdytysjärjestelmästä. Siihen vihreällä ja turkoosilla merkityt osiot kuvaavat aluksen pää- ja apukoneiden merivesijäähdytysjärjestelmää. Violetit osiot kuvaavat vastaavasti AC-kompressoreiden järjestelmää ja keltainen osio palojärjestelmää. Kuvasta voi myös havainnoida, että aluksella on käytössään yhteensä neljä merivesikaivoa. Näistä apu- ja pääkoneiden käytössä on kaksi merivesikaivoa, joista käytetään myös nimityksiä kesä- ja talvikaivo. Yleensä vain yksi näistä kaivoista on kerrallaan käytössä toisen ollessa varalla. Käytettävää kaivoa voidaan vaihtaa esim. huollon ajaksi tai aluksen liikkuessa jäissä. Jäähdytysvettä kierätetään tarpeen tullen takaisin käytössä olevaan kaivoon, tällä voidaan ehkäistä jäähdytysveden liika kylmeneminen. AC-kompressorit sekä palopumput käyttävät omia merivesikaivojaan.



Kuva 7. Järjestelmäkuvaus kohdealuksen merivesijäähdytysjärjestelmästä. (Karpoff 2019)

5.2 Nykyiset puhdistusmenetelmät

Kohdealuksella kasvustohaittoja torjutaan tällä hetkellä muutamien eri keinoin, joista pääsääntöinen puhdistusmenetelmä on kemikaalein tehtävä puhdistus. Tämän lisäksi käytetään Cunifer-putkistoa sekä mekaanista suodatusta filttreiden avulla. Cunifer-putkisto sekä mekaaninen suodatus antavat passiivisen suojan ja ehkäisevän vaikutuksen kasvustohaittoja vastaan. Kemikaaleilla tehtävän puhdistuksen tarkoituksena on taas poistaa järjestelmässä jo olemassa olevaa kasvustoa.

Laivalla on käytössä näiden lisäksi Bioguard Plus -kemikaali, jota syötetään kerta-annoksina järjestelmiin (apu- ja pääkoneet + AC-järjestelmä). Käytetyn kemikaalin tulisi antaa kasvustohaittoja ja korroosiota ehkäisevän suojan merivesijärjestelmän komponenteille. Käytettävä kemikaali on tosin jossain määrin haitallinen vesieliöille, lisäksi sen tehosta on epäilystä. Moottoreiden LT-merivesijäähdyttimet "pestään" säännöllisesti Perapid-kemikaalilla (Vetyperoksidi) ja huuhdellaan saman valmistajan Marina-kemikaalilla.

Vetyperoksidi (H_2O_2) on voimakas hapetin ja sitä käytetään mm. valkaisuun ja desinfiointiin. Se hajoaa nopeasti merivedessä vedeksi ja hapeksi. Tämä nopea hajoaminen ilman haitallisia sivutuotteita on toivottua ympäristön kannalta, mutta toisaalta tämä tarkoittaa myös vetyperoksidin tehokkuuden nopeaa alenemista käsiteltäessä suuria määriä vettä. Vetyperoksidi on myös vahvoina liuoksina syövyttävää ja sen käyttö vaatii suojarusteiden käyttöä.

CuNiFer on lyhenne kuparista (Cu) nikkelistä (Ni) sekä raudasta (Fe) koostuville seosmetalleille. Cunifer-putkistoja valmistetaan yleisesti kahdesta eri seoksesta, joita ovat CuNi 90/10 sekä CuNi 70/30. Näistä kahdesta on kohdealuksella käytössä CuNi 90/10 seos, joka sisältää 90 % kuparia ja 10 % nikkeliä sekä pieniä määriä rautaa. Cunifer-putkistojen käyttö aluksilla on varsin suosittua sen korroosiota ja kasvustohaittoja ehkäisevien ominaisuuksien vuoksi. Nämä ominaisuudet perustuvat putkiston pinnalle muodostuvaan kuparioksidikerrokseen, joka antaa putkistolle passiivisen suojan kasvustoja sekä korroosiota vastaan.

Vaikka Cunifer-putkisto antaa suojan kasvustohaittoja vastaan, on sen käyttö itsenäisenä puhdistusmenetelmänä yleensä riittämätön. Tämän takia sen rinnalla käytetään yleensä muita menetelmiä, halutun puhdistustehon saavuttamiseksi. Joidenkin puhdistusmenetelmien, kuten kloorin käytön on tutkittu myös tehostavan Cunifer-putkiston korroosiota. Tämä on tärkeää huomioida myös vaihtoehtoista menetelmää valittaessa.

5.3 Toimeksiantajan reunaehdot

Toimeksiantaja vaatisi korvaavalta järjestelmän olevan vähintään yhtä tehokas tai tehokkaampi, kuin nykyinen käytössä oleva puhdistusmenetelmä. Korvaavan järjestelmän käyttökustannukset eivät saisi olla myöskään merkittävästi suuremmat kuin nykyisin käytössä olevan puhdistusmenetelmän. Käyttökustannuksiin sisältyy myös huoltoihin ja miestyötunteihin ym. kuluva aika.

Toimeksiantaja olisi valmis korvaamaan nykyisen käytössä olevan kemikaalin uudella kemikaalilla tai lisäämään nykyisen rinnalle toisen kemikaalin. Täten kemikaalien lisääntyminen ei sinänsä ole ongelma. Jos kemikaaleilla tehtävä puhdistus valitaan, tulee huomioida säilömiseen liittyvät turvallisuusnäkökulmat. Olisi myös suotuisaa, että kemikaalitoimittaja löytyy yhtiön toimittajalistalta tai olisi sinne lisättävissä.

Toimeksiantaja suosii myös kypsyyssasteeltaan kypsempää teknologiaa sen asennuksen ollessa yleisesti ottaen riskittömämpää ja täten parempi vaihtoehto. Jos kohdealukselle kuitenkin päädytään kehittämään jotain uutta menetelmää, niin tulee kuitenkin varmistua merivesijärjestelmien puhtaudesta, eikä tästä kokeilusta saa kertyä merkittäviä kuluja yhtiölle.

Uuden menetelmän tulee myös täyttää kansainvälisten säädösten lisäksi yhtiön ympäristöpolitiikan asettamat reunaehdot. Varaosien ja kulutusosien saatavuus tulee olla taattu, eli suositaan tunnettuja vakaalla pohjalla olevia yrityksiä.

Aluksen mahdollisia teknillisiä rajoituksia olivat rajalliset mahdollisuudet säilöä kemikaaleja. Lämpökäsittelyä käytettäessä myös ”ilmainen” höyryntuotto on mahdollista ainoastaan aluksen ollessa liikenteessä ja tällöin luonnollisesti myös jäähdytysveden tarve on suurin.

5.4 Vaihtoehtoiset puhdistusmenetelmät

Haastateltavien oli mahdollista tutustua saatavilla oleviin puhdistusmenetelmiin jaetun ennakkoaineiston avulla. Ennakkoaineistossa oli siis esiteltynä samat puhdistusmenetelmät kuin tässä opinnäytetyössäkin. Tämän pohjalta haastateltavat antoivat mielipiteensä kiinnostavista ja mahdollisista puhdistusmenetelmistä sekä puhdistusmenetelmien riittävydestä. Ennakkoaineiston lisäksi molemmat haastateltavista omasivat jo entuudestaan varsin tasokkaan ymmärryksen erilaisista puhdistusmenetelmistä. Tässä tapauksessa ennakkoaineisto toimi lähinnä muistinvirkistykseksi tai tukena jo valmiiksi tunnetulle tiedolle.

Ennakkoaineiston vaihtoehtoista molempien vastauksista nousi esille mielenkiinto jäähdytysveden lämpökäsittelyä kohtaan, tämän ilmetessä oikeastaan jo ennen haastatteluiden tekoa aiheesta vapaasti keskustellessa. Jäähdytysveden lämpökäsittely koettiin mielenkiintoiseksi sen todennäköisten alhaisten käyttökulujen ja olemattoman ympäristökuormituksen takia. Erityisen mielenkiintoisen vaihtoehdon lämpökäsittelystä tekee kohdealuksen jäähdytysjärjestelmä, sillä koneikoilta takaisintulevaa lämmintä jäähdytysvettä voidaan kierättää takaisin käytössä olevaan merivesikaivoon. Tämä voisi mahdollistaa jäähdytysjärjestelmän lämpötilan hetkellisen nostamisen koneiden hukkalämmöllä turvallisesti. Tällainen järjestely olisi mahdollista toteuttaa aluksen ollessa maasähköllä, jolloin jäähdytysvettä kriittisille komponenteille ei tarvita.

Toiseksi mahdolliseksi vaihtoehdoksi haastateltavat kokivat anodisen suojauksen. Molemmilla haastateltavista oli kyseisestä järjestelmästä aikaisempaa kokemusta erilaisilta aluksilta. Toinen haastateltavista totesi anodista suojausta käyttäneen aluksen merivesiputkiston olleen erittäin puhdas, huomioiden aluksen trooppisen toiminta-alueen. Myös kohdealuksen sisaralus käyttää anodista suojausta puhdistusmenetelmänä ilmeisesti ongelmitta.

Tarkoitus oli myös selvittää kokevatko haastateltavat yhden puhdistusmenetelmän riittäväksi vai tarvitaanko useita riittävän puhdistustehon takaamiseksi. Tällä oli tarkoituksena selvittää kokevatko haastateltavat, että kemikaalein tehtävä puhdistus voitaisiin korvata yhdellä menetelmällä.

Molemmat haastateltavat kokivat merivesilämmönvaihtimien pesemisen CIP-menetelmällä, eli vetyperoksidilla hyväksi. Tätä menetelmää käytettäessä lämmönvaihtimien levypakkoja ei tarvitse avata, sen ollessa myös nopeaa. Tämän pohjalta toivottiin, että lämmönvaihtimien kemikaalipesua jatkettaisiin tai pidettäisiin vähintään varalla vaihtoehtoisen menetelmänkin rinnalla. Ainoana haittapuolena vetyperoksidille koettiin hapettimen mahdollinen vaikutus korroosioon. Tästä voidaan tehdä päätelmä, että yhdellä menetelmällä ei todennäköisesti tulla saavuttamaan merivesijärjestelmän riittävää puhtautta kohdealuksella.

5.5 Vaihtoehtoisten puhdistusmenetelmien vertailu

Vaihtoehtoisen puhdistusmenetelmän valinta kohdealukselle ei ole kovin helppoa. Puhdistusmenetelmää valittaessa tulee ottaa huomioon tietyt kriteerit, joihin vaikuttavat mm. aluksen toimintaympäristö ja tekniset ratkaisut.

Valittavan puhdistusmenetelmän tulisi olla liitettävissä aluksen nykyisiin sekä mahdollisiin tulevaisuuden järjestelmiin tilansa ja toteutuksensa puolesta. Jos puhdistusmenetelmä vaatii sähköä toimiakseen, tulee sähköntuoton riittävyys myös huomioida. Sen tulisi olla myös hankintahinnaltaan kuin myös ylläpitokuluiltaan järkevä sekä sen käytön ja huollon tulisi olla helppoa ja mahdollisimman vähän kuormittavaa.

Puhdistusmenetelmän puhdistustehon tulee olla myös suorituskykyinen huomioon ottaen toiminta-alueen, satamassaoloajat sekä ympäristölle ominaiset organismit. Sen tulisi olla myös mahdollisimman ympäristöystävällinen täytäten kaikki voimassa olevat säädökset koskien päästöjä mereen. Näiden kriteerien lisäksi toimeksiantaja on myös asettanut omat reunaehdonsa vaihtoehtoiselle puhdistusmenetelmälle. Nämä reunaehdot sekä aluksen tekniset ratkaisut asettavat oikeastaan tärkeimmät raamit, joiden mukaan uusi puhdistusmenetelmä valitaan, ollen näin avainasemassa.

Koska toimeksiantaja olisi valmis korvaamaan nykyisen käytössä olevan kemikaalin uudella, voidaan kemikaalein tehtävää puhdistusta pitää mahdollisena. Mahdollisia vaihtoehtoja kemikaaleille ovat anodinen suojaus, kloori, otsoni sekä ferraatti. Näistä kaikki paitsi anodinen suojaus ovat hapettavia biosideja, joista kloori ja otsoni ovat alusympäristössä tunnetumpia ja käytetympiä.

Ferraatin on tutkittu olevan tehokas hapetin ja lupaava puhdistuskeino. Ferraatti vaatii kumminkin oman käsittely- ja annostelujärjestelmänsä eikä sen teknologia ole alusympäristössä vielä kovin tutkittua, joten riskit sen valitsemiseksi ovat toistaiseksi vielä liian suuret. Sitä ei myöskään löydy toimeksiantajan toimittajalistalta, eikä oikeastaan mikään tunnettu vakaalla pohjalla oleva valmistaja tätä ratkaisua vielä markkinoi.

Klooraus on myös yksi mahdollisista vaihtoehtoista sen ollessa tehokas ja teknologialtaan kypsä menetelmä. Sähköklooraus eli kloorin tuotto merivedestä ei onnistu Itämerellä veden alhaisen suolapitoisuuden vuoksi. Tällöin ainoaksi vaihtoehdoksi jäisi klooridioksidi. Klooridioksidi vaatisi oman annosteluyksikkönsä sekä sen käyttäminen puhdistuskeinona saattaa olla kallista sekä ympäristölle haitallista. Ongelmaksi muodostuvat myös kemikaalien säilöntään liittyvät turvallisuusnäkökulmat sekä merivesiputkiston lisääntynyt korrosio. Annosteluyksikkö vaatisi myös oman tilansa, mitä ei tällä hetkellä kohdealuksen konehuoneessa liiallisesti ole.

Otsoni on tehokas hapetin, ympäristöystävällinen sen nopean hajoamisen puolesta sekä sitä voidaan tuottaa paikallisesti esim. otsonaattorilla. Otsonin käytöstä kohdealuksen kaltaisessa jäähdytysjärjestelmässä on tällä hetkellä vielä kuitenkin vähän dataa saatavilla. Tämän lisäksi sen vaatima käsittelylaitteisto on hintava sekä tuottamiseen sisältyy myös turvallisuusriskejä. Täten otsonointia ei voida pitää riskittömänä vaihtoehtona. Otsonointia ei koettu myöskään mielenkiintoiseksi tai mahdolliseksi vaihtoehdoksi laivan henkilökunnan puolesta.

Viimeisenä vaihtoehtona kemikaalisen käsittelyn menetelmistä on anodinen suojaus. Molemmat informantit kokivat tämän menetelmän myös mielenkiintoiseksi ja mahdolliseksi. Jotta anodisen suojauksen puhdistusteho olisi mahdollisimman tehokas, vaatisi se useampien anodien asentamista aluksen merivesikaivoihin. Tämä vaatisi taas kuivatelakan, joten siirtyminen tähän menetelmään ei voi olla välitön. Laitteiston asennukseen ja käyttöön liittyvissä teknisissä detaljeissa voitaisiin käyttää referenssinä kohdealuksen sisäalusta. Täten myös saman laitevalmistajan käyttäminen voisi olla järkevää. Nykyiseen puhdistusmenetelmään verrattuna anodinen suojaus on huomattavasti kalliimpi etenkin hankintahinnaltaan. Kustannuksissa tulisi myös huomioida anodien ja katodien vaihtovälin tarve. Tarkkaa vaihtoväliä voi olla hankalaa määrittää käsittelyn dynaamisuuden vuoksi, mutta tässäkin voitaisiin käyttää sisäalukselta saatavaa tietoa referenssinä. Anodinen suojaus tarjoaisi todennäköisesti kuitenkin paremman ja kokonaisvaltaisemman puhdistustehon kuin nykyinen kemikaaleilla tehtävä puhdistus.

Fysikaalisen desinfioinnin vaihtoehtoiksi jäi myös kolme. Nämä olivat akustinen energia, UV-säteily sekä lämpökäsittely. Näistä UV-säteily ja lämpökäsittely jäivät oikeastaan ainoiksi järkeviksi vaihtoehtoiksi toimeksiantajan asettamien reunaehtojen jälkeen. Akustiikan käytöstä jäädytysjärjestelmän puhdistusmenetelmänä on erittäin niukasti näyttöä sekä sen vaatimat laitteistot ovat hintavia. Täten akustiikkaa ei voida pitää kovin järkevänä vaihtoehtona kohdealukselle.

UV-säteilyn käyttäminen puhdistusmenetelmänä on houkutteleva vaihtoehto sen ollessa ympäristöä vähän kuormittava ja eräiden tutkimusten mukaan myös varsin tehokas menetelmä (Ryan ym. 2019). Nykyisten LED-UV-valojen myötä myös lamppujen sähkönkulutus voidaan minimoida ja niiden elinikää pidentää. UV-valot on mahdollista upottaa esim. silikonipinnoitteeseen, jolla esim. merivesikaivon seinämät voitaisiin vuorata. Tämä vaatisi myös luonnollisesti aluksen telakoinnin. UV-säteily tehoaa lähinnä mikrobeihin ja sen pääasiallinen tarkoitus on ehkäistä uusien kasvustojen syntymistä pinnoille, eikä niinkään poistaa jo olemassa olevaa kasvustoa. Tämä tarkoittaa, ettei UV-säteilyn käyttäminen sellaisenaan ole ehkä kuitenkaan mahdollista, vaan menetelmiä yhdistävää lähestymistapaa olisi käytettävä. UV-säteilyn kokeileminen ei ole siis täysin riskitöntä, sillä sen puhdistustehosta ei ole riittävästi tutkimuksellista

näyttöä kohdealuksen kaltaisissa merivesijäähdytysjärjestelmissä. Nämä tekijät rajaavat oikeastaan UV-säteilyn pois mahdollisista vaihtoehdoista.

Viimeiseksi vaihtoehdoksi jäisi lämpökäsittely, jonka myös informantit kokivat mielenkiintoiseksi sekä mahdolliseksi toteuttaa kohdealuksella. Lämpökäsittely on sinänsä hyvä vaihtoehto, sillä sitä voitaisiin kokeellisesti käyttää heti kun kohdealuksella on mahdollisuus maasähkölle. Lämpökäsittely on myös kustannustensa puolesta kilpailukykyinen menetelmä. Merivesijärjestelmän lämpötilaa voitaisiin pyrkiä kokeellisesti nostamaan hukkalämmön avulla tiettyksi ajanjaksoksi. Tosin tällaista toteutusta voidaan käyttää vain koneiden jäähdytysjärjestelmään. Toinen vaihtoehto on lämmönnosto höyryllä, mutta tällaisen järjestelmän asentaminen vaatisi myös mahdollisesti kuivatelakönnin. Jotta lämmönnostu olisi nopeaa ja tehokasta tulisi merivesikaivoihin todennäköisesti asentaa useampia höyryn annostelupisteitä, sillä käsiteltävän vedenkin määrä on suuri.

Ongelmaksi tällä menetelmällä muodostuu kuitenkin AC-kompressoreiden jäähdytysjärjestelmän lämmönnosto, sillä tämä voitaisiin toteuttaa vain järjestelmän ollessa poissa käytöstä. Lämmönnosto olisi mahdollista toteuttaa talvella, mutta tällöin järjestelmään kohdistuva likaantumispaine ja järjestelmän vaatima puhdistustarve on myös pienempi. Kesällä puhdistuksen tarve on kriittisin, mutta järjestelmän lämmönnostoa on hankala tai lähes mahdotonta toteuttaa, sillä AC-kompressorit ovat käytössä tällöin lähes jatkuvasti. Ainoa mahdollinen lämmönnoston ajankohta kesällä olisi mahdollisesti yöllä. Tällöin AC-kompressorit yleensä kytketään pois päältä joko manuaalisesti tai automaattisesti tiettyksi ajanjaksoksi.

Jos lämmönnosto tehdään kesällä, olisi se järkevää tehdä säännöllisesti. Näin minimoidaan riski siitä, että suuret kertyneet biomassat irtoavat ja pääsevät liikkeelle järjestelmässä aiheuttaen tukoksia. Sama koskee myös koneiden jäähdytysjärjestelmää.

Vaihtoehtoisista puhdistusmenetelmistä jää siis jäljelle toimeksiantajan asettamien reunaehtojen ja muiden kriteerien perusteella anodinen suojaus sekä lämpökäsittely. Molemmat haastateltavat ilmaisivat myös mielenkiintonsa näitä menetelmiä kohtaan. Tämän lisäksi toivottiin vetyperoksidikemikaalilla

tehtävän pesun säilyttämistä lämmönvaihtimille vähintään varalla. Vastausten ja reunaehtojen perusteella voidaan myös todeta, että yksi puhdistusmenetelmä ei todennäköisesti tule olemaan kohdealuksella riittävä.

5.6 Suositus vaihtoehtoisesta puhdistusmenetelmästä

Uuden puhdistusmenetelmän tulisi olla vähintään yhtä tehokas kuin vanhan, samalla ollen matala kustannuksiltaan. Täten suositusta parhaimmasta vaihtoehtoisesta menetelmästä kohdealukselle on haasteellista antaa. Akuuttia ongelmaa merivesijärjestelmän likaantumisen kanssa ei myöskään ole, koska nykyisellä kemikaalipuhdistuksella pystytään ylläpitämään merivesijärjestelmän jonkinasteinen puhtaus. Täten jatkamista nykyisillä puhdistusmenetelmillä voidaan myös pitää vaihtoehtona, joskaan tämä ei ole optimia, eikä kuormitus ympäristölle tällöin pienenesi.

Jos kuitenkin tulisi antaa vastaus parhaasta puhdistusmenetelmästä, niin tämän työn tutkimusten perusteella anodinen suojaus olisi todennäköisesti optimi vaihtoehto. Anodinen suojaus ei ole ehkä kustannuksiensa puolesta niin kilpailukykyinen, kuin lämpökäsittely tai nykyiset menetelmät, mutta monet muut tekijät puoltavat sen käyttöönottoa.

Anodisella suojauksella saavutettava puhdistusteho tulisi olla riittävän tehokas tai jopa nykyistä tehokkaampi. Anodinen suojaus antaisi myös merivesiputkistolle suojan korroosiota vastaan sekä sitä voitaisiin käyttää huoletta AC-kompressoreiden jäähdytysjärjestelmässä. Teknologian kypsyys ja tieto kyseisen laitteiston käytöstä samankaltaisessa merivesijärjestelmässä, puoltavat myös tämän menetelmän puolesta. Myös vetyperoksidi kemikaalin käytöstä voitaisiin mahdollisesti luopua tai sen annostelutarvetta harventaa, jos anodisen suojauksen puhdistusteho todetaan riittäväksi. Toki tämän säilyttäminen varalla olisi silti järkevää.

Koska tulevaisuudessa kuparia käyttävän laitteiston käyttö voidaan kieltää, ei anodista suojausta voida pitää täysin riskittömänä vaihtoehtona. Tämän takia sekä toimeksiantajan kehotuksesta, tutustuttiin asiaan syvällisemmin. Asian tiimoilta otettiin yhteyttä sähköpostilla yhteen anodista suojausta markkinoivista tahoista, eli tässä tapauksessa Cathelcoon.

Cathelcon edustaja totesi sähköpostissaan, että heidän järjestelmänsä annosteleva kuparimäärä on pienempi kuin meriveden normaali kuparipitoisuus. Hän totesi myös Euroopan kemikaaliviraston pyrkivän jatkuvasti tarkasteluprosesseillaan selvittämään, onko anodisen suojauksen tilalle saatavilla mahdollisia ympäristöystävällisempiä ja tehokkaampia menetelmiä. (Cathelco 2020.) Tällä hetkellä tällaista vaihtoehtoa ei ole ja anodista suojausta voidaan ainakin toistaiseksi pitää pitkäjänteisenä vaihtoehtona.

Koska anodista suojausta ei kuitenkaan ole mahdollista kohdealuksella heti toteuttaa, voitaisiin ensin koettaa jäähdytysjärjestelmän lämpökäsittelyä hukkalämmöllä. Tästä ei koituisi toimeksiantajalle kuluja ja jos lämpökäsittelyllä saavutetaan riittävä puhdistusteho ja keino todetaan muutenkin hyväksi ja turvalliseksi, voitaisiin myös sen käytön jatkamista harkita. Jos lämpökäsittely valitaan pääsääntöiseksi puhdistuskeinoksi, tulisi harkita höyryn annostelupisteiden asentamista vähintään AC-koneiden käyttämään merivesikaivoon.

6 POHDINTA

Kasvustohaittojen muodostamat haitat ovat merkittäviä ja niiden ehkäisemiseksi on kehitelty useita puhdistusmenetelmiä. Ongelmana on, että monia näistä menetelmistä ei ole tutkittu tarpeeksi, todellisissa ja tarpeeksi vaihtelevissa käyttöympäristöissä. Tämän takia on ymmärrettävää, ettei toimeksiantaja halunnut investoida resurssejaan menetelmiin, jotka eivät ole tarpeeksi tutkittuja. Tutkimusten puute oli huomattavaa myös tutkimusta tehdessä, sillä todennettua dataa puhdistusmenetelmien käytöstä alusten merivesijäähdytysjärjestelmässä oli saatavilla niukasti. Tietoa löytyi varsin paljon tunnetuista ja pitkään käytössä olleista menetelmistä, kuten anodisesta suojauksesta ja kloorauksesta. Tietoa löytyi kuitenkin valitettavan vähän mielenkiintoisista ja potentiaalisista menetelmistä, kuten UV-säteilyn tai akustiikan käytöstä.

Painolastivesiyleissopimus on vauhdittanut painolastiveden käsittelyjärjestelmien käyttöönottoa aluksilla ja tuonut mukanaan uusia teknologioita. Kuitenkaan samankaltaista harppausta merivesijäähdytysjärjestelmän kohdalla ei ole vielä tapahtunut. Painolastivesiyleissopimuksen kaltainen vaade voisi vauhdittaa merivesijäähdytysjärjestelmässä käytettävien menetelmien käyttöönottoa aluksilla.

Tämä olisi toivottavaa myös teknologian kehityksen kannalta ja voisi tuoda mukanaan ympäristöystävällisempiä ja tehokkaampia menetelmiä. Tämä voi tulevaisuudessa olla myös mahdollista, sillä erään tutkimusten mukaan suurin osa vieraslajeista voi kulkeutuakin alusten merivesikaivojen mukana (Frey ym. 2014, 1). Tällä hetkellä mikään taho ei kuitenkaan vaadi puhdistusmenetelmien käyttöä merivesijäähdytysjärjestelmissä.

Opinnäytetyö rajautui merivesijäähdytysjärjestelmässä käytettävien puhdistusmenetelmien tutkimiseen ja niistä parhaimman vaihtoehdon suositteluun. Tutkimukseen olisi voinut ottaa mukaan myös valittavan laitteiston mitoituksen, mutta tämä olisi tarpeettomasti paisuttanut tehtävää työtä. Jos vaihtoehtoinen puhdistusmenetelmä tullaan joskus ottamaan kohdealuksella käyttöön, voisi tästä tehdä oman tutkimuksen. Täten valittavan laitteiston mitoitusta ja asennusta voidaankin pitää hyvänä jatkotutkimuksen kohteena tälle työlle. Toinen lisää tutkimuksia vaativa aihe on lämpökäsittelyn mahdollinen koettaminen ja käyttöönotto kohdealuksella. Lämpökäsittelyn tutkimisessa tulisi huomioida, miten kyseinen menetelmä on järkevintä toteuttaa sekä minkälaisia tuloksia sillä saadaan.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mitä vaihtoehtoisia puhdistusmenetelmiä tämän työn kohdealukselle oli saatavilla. Tämän lisäksi tutustuttiin kasvustojen muodostamien haittojen merkittävyyteen aluksilla. Työllä oli kaksi pääasiallista tutkimuskysymystä. Näillä selvitettiin mitä vaihtoehtoisia puhdistusmenetelmiä kohdealuksella oli mahdollista toteuttaa. Tämän lisäksi selvitettiin, montako menetelmää haastateltavat kokivat riittäväksi, jotta haluttu puhdistusteho kohdealuksella saavutettaisiin.

Opinnäytetyön pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytettiin teemahaastattelua. Haastatteluiden tarkoituksena oli tuottaa vastaus tutkimuskysymyksiin ja auttaa luotettavan suosituksen antamisessa toimeksiantajalle. Koen että valitsin haastatteluita varten oikeat henkilöt heidän asiantuntevuutensa aiheesta ollessa huomattavaa. Tämä vaikutti positiivisesti myös haastatteluiden onnistumiseen, eikä tarkentaville kysymyksille ollut tarvetta, vaikka haastattelut tehtiinkin sähköpostitse.

Työn lopputuloksen kannalta olisi tosin ollut mielenkiintoista koettaa kasvotusten tehtyjä haastatteluja. Tämän lisäksi haastatteluihin olisi voitu ottaa enemmän osallistujia ja saada tätä kautta laajempia näkökantoja. Tästä huolimatta koen, että käytetyillä menetelmillä hankittu lopputulos on validi ja toimeksiantajalle hyödyllinen. Tutkimuksessa ilmi tulleista seikoista tulisi olla hyötyä myös muille, sillä suomenkielistä materiaalia aiheesta on niukasti saatavilla.

Työssä vertailtiin yleisimpiä merivesijärjestelmässä käytettäviä laitteistoja ja menetelmiä. Puhdistusmenetelmiä oli valittavana useita, mutta toimeksiantajan asettamat reunaehdot rajoittivat huomattavasti hyväksyttäviä vaihtoehtoja. Suurimmat menetelmän valintaan vaikuttavat karsivat tekijät, olivat sallittavat kustannukset sekä kuormitus ympäristölle. Tutkimuksen lopputuloksena voitiin todeta anodisen suojauksen olevan paras tämänhetkinen vaihtoehtoinen menetelmä kohdealukselle. Perusteluita anodisen suojauksen valinnalle olivat sen tehokkuus, tunnettu teknologia ja todennettu käyttö samankaltaisessa järjestelmässä.

Tutkimuksessa kävi myös ilmi toimeksiantajan mielipide yhden menetelmän riittävydestä kohdealuksella, joka oli negatiivinen. Täten menetelmiä yhdistävää lähestymistapaa suositaan. Haastatteluiden ulkopuolella toinen haastattelutavista totesi varsin hyvin, että yksi menetelmä on riittävä, kunhan se on tarpeeksi tehokas. Ongelmaksi muodostuikin yhtälö, jossa puhdistusmenetelmä olisi ympäristöystävällinen, turvallinen, tehokas, ja kustannuksiltaan edullinen. Tällaista menetelmää ei tämän työn empiirisen tutkimuksen perusteella ole tällä hetkellä vielä valitettavasti saatavilla.

Tämän opinnäytetyön mielenkiintoisimpana löytönä voidaan pitää lämpökäsittelyn tuomia mahdollisuuksia puhdistusmenetelmänä. Ennen tehtyjä haastatteluja oli selvää, ettei lämpökäsittelyä voida käyttää suoraan jäähdytysveden käsittelyyn. Haastattelujen aikana kuitenkin selvisi, että tämä voisi olla mahdollista toteuttaa kohdealuksen ollessa maasähköllä. Tämä tarkoittaa, että merivesijäähdytysjärjestelmän lämpökäsittely voitaisiin osittain toteuttaa jopa koneiden hukkalämmöllä. Lämpökäsittelyn kokeilun pitäisi olla kustannusten puolesta riskitöntä ja idea herätti myös toimeksiantajan mielenkiinnon. Tämän takia lämpökäsittelyn kokeilusta annettiin toimeksiantajalle myös suositus.

Työn tarkoituksena oli antaa toimeksiantajalle vain suositus parhaasta puhdistusmenetelmästä. Joten tutkimustulosten hyödyntäminen jää toimeksiantajan oman harkinnan ja senhetkisten preferenssien varaan. Haluaisinkin lopuksi kiittää toimeksiantajaa mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta ja erityisesti haastateltavia ja ohjaajia työn toteutuksen avustamisessa.

LÄHTEET

Adamson, W. L. & Taylor, D. W. 1976. Marine fouling of titanium heat exchangers. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a022207.pdf> [viitattu 12.6.2020].

Bolch, C. & Hallegraeff, G. 1993. Chemical and physical treatment options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.researchgate.net/publication/284631507> [viitattu 24.6.2020].

Boldor, D., Balasubramanian, S., Purohit, S. & Rusch, K. 2008. Design and Implementation of a Continuous Microwave Heating System for Ballast Water Treatment. *Environmental Science & Technology* 42 (11), 4121–4127. Verkkolehti. Saatavissa: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es7024752> [viitattu 24.6.2020].

Bott, T. R. 2009. Biofouling Control in Cooling Water. *International Journal of Chemical Engineering*. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.hindawi.com/journals/ijce/2009/619873/> [viitattu 26.6.2020].

Brizzolara, R. A., Nordham, D. J., Walch, M., Lennen, R. M., Simmons, R., Burnett, E. & Mazzola, M. S. 2010. Non-chemical biofouling control in heat exchangers and seawater piping systems using acoustic pulses generated by an electrical discharge. *Biofouling* 19 (1), 19–35. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0892701021000060842> [viitattu 26.6.2020].

Cahill, P., Tait, L., Floerl, O., Bates, T., Growcott, A. & Georgiades, E. 2019. A portable thermal system for reactive treatment of biofouled internal pipework on recreational vessels. *Marine Pollution Bulletin* 139, 65–73. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1830883X#> [viitattu 24.6.2020].

Callow, E. M. & Callow, A. J. 2002. Marine biofouling: a sticky problem. *Biologist (London)*. 49 (1), 10–4. Verkkolehti. Saatavissa: <http://biosciences-labs.bham.ac.uk/callowj/PDF%20files/iob.pdf> [viitattu 19.5.2020].

Callow, A. J. Advanced nanostructured surfaces for the control of biofouling. Projektityön raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://cordis.europa.eu/docs/results/11/11827/120142251-6_en.pdf [viitattu 20.5.2020].

Cathelco. 2020. Sähköpostiviesti 9.10.2020. [viitattu 23.10.2020].

Cathwell. 2019a. Electrolytic antifouling principles. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://cathwell.com/electrolytic-antifouling-principles/> [viitattu 19.5.2020].

Cathwell. 2019b. Cathodic protection. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://cathwell.com/priniples-of-cpppppp/> [viitattu 20.5.2020].

- Cathwell. 2019c. Cathwell seawater inlet with flange anodes. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://cathwell.com/industries/ships/mgps-icaf/> [viitattu 20.5.2020].
- Cathwell. 2019d. Antifouling anodes in strainers. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://cathwell.com/antifouling-anodes-in-the-strainer-mud-box-lids/> [viitattu 20.5.2020].
- Evac s.a.a. Cathelco marine growth prevention systems technology description. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://evac.com/solutions/marine-growth-prevention/technology/> [viitattu 20.5.2020].
- Evac s.a.b. Cathelco New EU biocide regulations. WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://evac.com/solutions/marine-growth-prevention/> [viitattu 20.5.2020].
- Fakheri, A. 2007. Heat Exchanger Efficiency. *Journal of Heat Transfer* 129 (9), 1268–1276. Verkkolehti. Saatavissa: <https://asmedigitalcollection.asme.org/heattransfer/article-abstract/129/9/1268/467668> [viitattu 27.5.2020].
- Ferrate Treatment Technologies LLC. 2009. What is Ferrate. Saatavissa: <http://ferratetreatment.com/what-is-ferrate/> [viitattu 1.7.2020].
- Frey, M. A., Simard, N., Robichaud, D. D., Martin, J. L. & Therriault T. W. 2014. Fouling around: vessel sea-chests as a vector for the introduction and spread of aquatic invasive species. *Management of Biological Invasions* 5 (1), 21–30. Verkkolehti. Saatavissa: https://www.reabic.net/journals/mbi/2014/1/MBI_2014_Frey_etal.pdf [viitattu 28.5.2020].
- Grandison, C., Piola, R. F. & Fletcher, F. 2011. A Review of Marine Growth Protection System (MGPS) Options for the Royal Australian Navy. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/266349871_A_Review_of_Marine_Growth_Protection_System_MGPS_Options_for_the_Royal_Australian_Navy [viitattu 21.5.2020].
- Lenwood, W. H., Scott, C. M. & Killen, D. W. 2009. Ecological risk assessment of copper and cadmium in surface waters of Chesapeake Bay watershed. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17 (6), 1172–1189. Verkkolehti. Saatavissa: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.5620170626> [viitattu 19.5.2020].
- Helenius, A. & Holm, M. 2010. Itämeren tulokaslajit ja menetelmät niiden leviämisen estämiseksi. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Merenkulun koulutusohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/21598> [viitattu 12.6.2020].
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2011. Tutkimushaastattelu: tutkimushaastattelun teoria ja käytäntö. 3. muuttumaton lisäpainos. Helsinki: Gaudeamus. [viitattu 1.10.2020].

Hoare, K., Davenport, J. & Beaumont, A. 1995. Effects of exposure and previous exposure to copper on growth of veliger larvae and survivorship of *Mytilus edulis* juveniles. *Marine Ecology Progress Series* 120 (1), 163–168. Verkko-
kolehti. Saatavissa: <http://www.jstor.org/stable/24851871> [viitattu 1.6.2020].

Idreco. s.a. Electrochlorination. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.id-reco.com/electrochlorination/> [viitattu 12.6.2020].

Koivula, J. 2010. Re: Vs: Aineistot sähköpostilla?: sähköposti aineistonkeruun välineenä yhteiskuntatieteellisessä tutkimuksessa. Jyväskylän yliopisto. Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/22987/URN%3aNBN%3afi%3ajyu-201002241276.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 25.9.2020].

Lacoursière-Roussel, A., Bock, D. G., Cristescu, M. E., Guichardm F. & McKindsey, C. W. 2016. Effect of shipping traffic on biofouling invasion success at population and community levels. *Biological Invasions* 18, 3681–3695. Verkko-
kolehti. Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-016-1258-3> [viitattu 27.5.2020].

Legg, M., Yucel, M. K., Carellan, I. & Kappatos, V. 2015. Acoustic methods for biofouling control: A review. *Ocean Engineering* 103 (15), 237–247. Verkko-
kolehti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/277604513_Acoustic_methods_for_biofouling_control_A_review [viitattu 26.6.2020].

McDonald, J. I., Wilkens, S.L., Stanley, J. A. & Jeffs, A.G. 2014. Vessel generator noise as a settlement cue for marine biofouling species. *Biofouling* 30 (6), 741–749. Verkko-
kolehti. Saatavissa: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08927014.2014.919630> [viitattu 26.6.2020].

Nylander, J. 2015. Jätevesien käsittely laivalla. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Merenkulun koulutusohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87865/Nylander_Joni.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 11.6.2020].

Painolastivesiyleissopimus. IMO. 2004. <https://www.imo.org/en/Media-Centre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx> [viitattu 20.6.2020].

Peltola, P. 2016. Painolastiveden käsittelylaitteiston valinta containerships VII-alukseen. Turun ammattikorkeakoulu. Meritekniikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/115872/Peltola_Petteri.pdf;jsessionid=2EE783519E72387BE467F77BFC24913E?sequence=1 [viitattu 11.6.2020].

Piola, R., Salters, B., Grandison, C., Ciacic, M. & Hietbrink, R. 2016. Assessing the use of low voltage UV-light emitting miniature LEDs for marine biofouling control. Australian Government Department of Defence Science and Technology. Tekninen raportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/publications/documents/DST-Group-TR-3266.pdf> [viitattu 25.5.2020].

Piola, R. & Hopkins, G. 2012. Thermal treatment as a method to control transfers of invasive biofouling species via vessel sea chests. *Marine Pollution Bulletin* 64 (8), 1620–1630. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X12002482> [viitattu 24.6.2020].

Railkin, I. A. 2003. Marine biofouling: colonization processes and defenses. E-kirja. Florida: CRC Press. Saatavissa: https://books.google.fi/books/about/Marine_Biofouling.html?id=D_I168OpbLoC&redir_esc=y [viitattu 21.5.2020].

Rajagopal, S., Van der Velde, G., Van der Gaag, M. & Jenner, H. A. 2003. How effective is intermittent chlorination to control adult mussel fouling in cooling water systems? *Water Research* 37 (2), 329–338. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135402002701?via%3Dihub#> [viitattu 12.6.2020].

Ryan, E., Turkmen, S. & Benson, S. 2019. A basic investigation into the application & practical use of (uv) ultraviolet light technology for marine antifouling. Conference paper. [viitattu 24.6.2020].

Schleich, W. 2004. Typical failures of CuNi 90/10 seawater tubing systems and how to avoid them. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.copper.org/applications/marine/cuni/pdf/124_schleich.pdf [viitattu 12.6.2020].

Sharma, K. V. 2002. Potassium ferrate(VI): an environmentally friendly oxidant. *Advances in Environmental Research* 6 (2), 143–156. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1093019101001198#> [viitattu 1.7.2020].

Suslick, K. S. 1998. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://suslick.scs.illinois.edu/documents/koencyc1998516.pdf> [viitattu 26.6.2020].

Säteilyturvakeskus. 2020. Auringon ultraviolettisäteily. <https://www.stuk.fi/aiheet/uv-sateily-aurinko-ja-solarium/auringon-ultraviolettisateily> [viitattu 23.6.2020].

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. E-kirja. Helsinki: Tammi. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.223794> [viitattu 25.9.2020].

Vesilaitosyhdistys. 2016. Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn_teknis-taloudellinen_selvitys_21042016.pdf [viitattu 1.7.2020].

Videla, A. H., Viera, M. R., Guiamet, P. S. & Lorenzo, M. F. 1999. Use of dissolved ozone for controlling planktonic and sessile bacteria in industrial cooling systems. *International Biodeterioration & Biodegradation* 44 (4), 201–207. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830599000785#> [viitattu 18.6.2020].

Vorkapić, A., Radonja, R. & Zec, D. 2018. Cost Efficiency of Ballast Water Treatment Systems Based on Ultraviolet Irradiation and Electrochlorination. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://hrcak.srce.hr/file/299249> [viitattu 11.6.2020].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kasvustoja merivesiputkessa. Karpoff, A. 25.4.2020.

Kuva 2. Katodisen suojauksen periaate käytettäessä erillistä virtalähdettä. Karpoff, A. 19.10.2020.

Kuva 3. Anodit asennettuna merivesikaivoon. Cathelco. s.a. Sea chest or strainer-mounted anodes. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://evac.com/solutions/marine-growth-prevention/technology/> [viitattu 22.10.2020].

Kuva 4. Anodit asennettuna suodattimen kanteen. Cathelco. s.a. Sea chest or strainer-mounted anodes. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://evac.com/solutions/marine-growth-prevention/technology/> [viitattu 22.10.2020].

Kuva 5. Elektrolyysikennossa tapahtuva kemiallinen reaktio. Idreco. s.a. Electrochlorination. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.idreco.com/electrochlorination/> [viitattu 23.10.2020].

Kuva 6. Otsonimolekyylien syntyminen koronapurkauksessa. Karpoff, A. 20.10.2020.

Kuva 7. Järjestelmäkuvaus kohdealuksen merivesijäähdytysjärjestelmästä. Karpoff, A. 26.2.2019.

Taulukko 1. Kasvustojen muodostuminen pinnoille. Karpoff, A. 20.10.2020.