

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Joni Nylander

JÄTEVESIEN KÄSITTELY LAIVALLA

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulkualan insinööri

NYLANDER, JONI

Jätevesien käsittely laivalla

Insinööriyö

39 sivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Kymi Technology

Maaliskuu 2015

Avainsanat

käymäläjätevesi, jätevesi, mustavesi, jäteveden käsittely,

Alusten jätevesien käsittelyä ja jätevesipäästöjä koskevia säädöksiä ja asetuksia on viime aikoina tiukennettu. Tämä on johtanut siihen, että jäteveden käsittelylaitteiden toimittajat ovat kehittäneet uusia yhä ympäristöystävällisempiä ratkaisuja. Jätevedenkäsittelyä koskevaa suomenkielistä materiaalia on saatavilla heikosti, joten tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selventää keskeisimmät asiat suomeksi. Työssä käsitellään nykypäivän säädökset ja niitä täyttäviä vaihtoehtoja, kuten satamaan tyhjentäminen ja membraanibioreaktori. Lisäksi työssä on käsitelty vanhoja ratkaisuja, joita on edelleen käytössä.

Opinnäytetyöhön on käytetty runsaasti internet-lähteitä. Laivojen jäteveden käsittelyyn suuntautuvia lähteitä löytyi niukasti, joten monet biologisia ja kemiallisia prosesseja koskevat tiedot ovat otettu yhteiskuntien jäteveden käsittelyprosessin osavaiheista. Kirjallisuutta löytyi ainoastaan yhteiskuntien jäteveden käsittelyyn.

Vaikka säädökset ovat tiukentuneet, pystytään nykypäivän käsittelylaitteilla jätevedet puhdistamaan riittävän tehokkaasti. Alusten aiheuttamat jätevesipäästöt ovat vähäisiä ja tulevaisuudessa tulisikin keskittyä teollisuuden ja maatalouden jätevesipäästöjen vähentämiseen.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Maritime Technology

NYLANDER, JONI

Onboard Wastewater Treatment

Bachelor's Thesis

39 pages

Supervisor

Ari Helle, Senior Lecturer

Commissioned by

Kymi Technology

March 2015

Keywords

sewage, wastewater, black water, wastewater treatment

Regulations concerning the wastewater treatment and discharge of sewage effluent have recently become more stringent. Consequently, the suppliers of wastewater treatment systems have developed more environmentally friendly solutions. The information in Finnish about wastewater treatment is not easily available and therefore the main objective of the thesis is to discuss the most central matters in wastewater treatment in Finnish. The thesis examines devices capable of complying with performance standards and old solutions which are still in operation.

The main source for the thesis was the Internet. The major problem was to find relevant sources regarding the wastewater treatment in maritime industry. Therefore, the information about biological and chemical processes is mostly adopted from the municipal wastewater treatment systems.

Modern-day wastewater treatment devices are capable of complying with performance standards although the regulations are quite stringent. The vessels cause only a small proportion of wastewater emissions and therefore, in the future, the focus should be on the effluents produced by industry and agriculture.

KÄYTETYT LYHENTEET

AC	Vaihtovirta
HELCOM	Helsinki Commission
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulkujärjestö
kV	Kilovoltti
MEPC	The Marine Environment Protection Committee, meriympäristön suojelukomitea
pH	Happamuus, joka tarkoittaa veden vetyionopitoisuutta

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO	7
2	MITÄ ON JÄTEVESI JA MIKSI SIIHEN KIINNITETÄÄN HUOMIOTA	8
3	YMPÄRISTÖNSUOJELUMÄÄRÄYKSET, NORMIT JA SÄÄDÖKSET	10
	3.1 Helsingin sopimus	10
	3.2 MARPOL 73/78–yleissopimus	11
	3.2.1 MEPC.2(VI)	13
	3.2.2 MEPC.159(55)	13
	3.2.3 Matkustaja-alukset	13
	3.3 Alaska ADEC -standardi	14
4	JÄTEVESIEN KÄSITTELY MAALLA	15
	4.1 Jätevesimaksut	17
5	JÄTEVESIEN KÄSITTELY LAIVALLA	17
	5.1 Jätevesien pumppaaminen satamaan	17
	5.2 Mustavesi	18
	5.3 Harmaavesi	19
	5.4 Keittiövesi	19
6	VANHAT JÄRJESTELMÄT	19
	6.1 Aktiivilietelaitos	19
	6.1.1 Välppäys	20
	6.1.2 Esiselkeytys	20
	6.1.3 Bioreaktio ja ilmastus	20
	6.1.4 Jälkiselkeytys ja desinfiointi	22
	6.2 Maserointi, klooraus ja laimennus	22

6.3	Fixed Bed Biofilm Reactor (FBBR)	23
6.3.1	Maserointi	23
6.3.2	Bioreaktori	24
6.3.3	Selkeyty	24
6.3.4	Desinfointi	25
7	UUDET JÄRJESTELMÄT	26
7.1	Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	26
7.1.1	Karkea suodatus	27
7.1.2	Bioreaktori	27
7.1.3	Dissolved Air Flotation (DAF)	28
7.1.4	Suodatus	28
7.1.5	Desinfointi	30
7.2	Membraanibioreaktori (MBR)	31
7.2.1	Esikäsitely	31
7.2.2	Bioreaktori	33
7.2.3	Membraani	33
	7.2.3.1 Ulkoinen kalvovyksikkö	35
	7.2.3.2 Upotettu kalvovyksikkö	35
7.3	Otsonin käyttö jätevedenkäsittelyssä	36
7.3.1	Otsonointiprosessi	36
7.3.2	Otsonidesinfointi	38
8	YHTEENVETO	38

1 JOHDANTO

Jätevesien käsittely on erittäin ajankohtainen aihe, koska matkustaja-alusten jäteveden käsittelyä koskevat päästörajoitukset astuvat voimaan vuonna 2016. Myös haja-asutusalueita koskevan jätevesiasetuksen siirtymäaika umpeutuu vuoden 2016 alkupuolella.

Opinnäytetyössä pyritään selvittämään tärkeimpiä jäteveden käsittelyä koskevia lainsäädäntöjä. Pääpaino kohdistuu lainsäädäntöihin, jotka koskevat merialueita, joilla seilaa suurella todennäköisyydellä valtaosa suomalaisten varustamoiden laivoista sekä merimiehistä.

Opinnäytetyössä käsitellään vanhojen ja uusien alusjätevesien käsittelylaitteiden toimintaperiaatteita ja niiden hyviä sekä huonoja puolia. Työssä kerrotaan millaiseen puhdistustulokseen voidaan päästä kullakin prosessilla ja mitkä säädökset niillä ovat mahdollista täyttää. Lisäksi opinnäytetyössä kerrotaan lyhyesti yhteiskuntien jäteveden käsittelystä, jotta lukijalle saataisiin vertailukohtia. Lukijoille, jotka eivät työskentele merenkulun parissa tai ole muuten siitä erityisen kiinnostuneita, on opinnäytetyön tarkoituksena kertoa, ettei jätevesipäästöjen aiheuttamia ongelmia sivuuteta merenkulussa, vaan niihin oikeasti paneudutaan ja etsitään ratkaisuja.

Jätevesien käsittelystä laivalla löytyy ainoastaan vain vähän suomenkielistä tekstiä, joten opinnäytetyön tarkoituksena on antaa merenkulkijoille kätevä ja lyhyt suomenkielinen tietopaketti, jossa kerrotaan tärkeimmät lainsäädännön asettamat kiellot ja mahdolliset ratkaisut niiden aiheuttamiin ongelmiin. Opinnäytetyöstä voi saada myös ajankohtaista tietoa esimerkiksi luentomateriaaliksi, jolloin tieto saadaan jaettua tuleville merenkulkijoille.

Opinnäytetyön tekemiseen on käytetty pääosin internet-lähteitä. Jäteveden käsittelyä koskevat säädökset ovat internetissä helposti saatavilla, mutta käsittelylaitteita koskevaa suomenkielistä informaatiota on hankala löytää. Kirjallisuutta yhdyskuntien jätevesistä ja niiden käsittelystä löytyy kiitettävän paljon, mutta merenkulun julkaisuja en löytänyt.

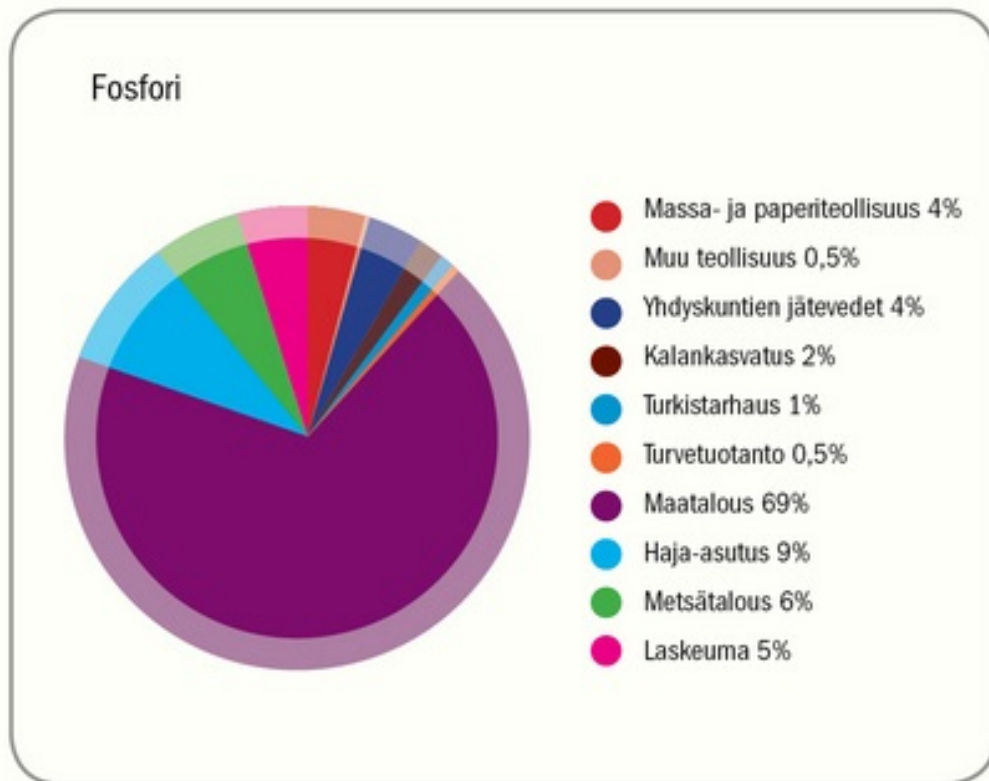
2 MITÄ ON JÄTEVESI JA MIKSI SIIHEN KIINNITETÄÄN HUOMIOTA

Laivoilla syntyy runsaasti erilaisia jätevesiä, jotka luokitellaan mustaan ja harmaaseen veteen. Musta vesi on pääasiassa käymälöiden jätevettä sekä ruuantähteitä. Harmaa vesi on pääasiallisesti peseytymisestä sekä tiskaamisesta syntyvää jätevettä. Yhden matkustajan päivittäin käyttämä vesimäärä ruotsinristeilyllä on keskimääräisesti noin 100 litraa. (1.)

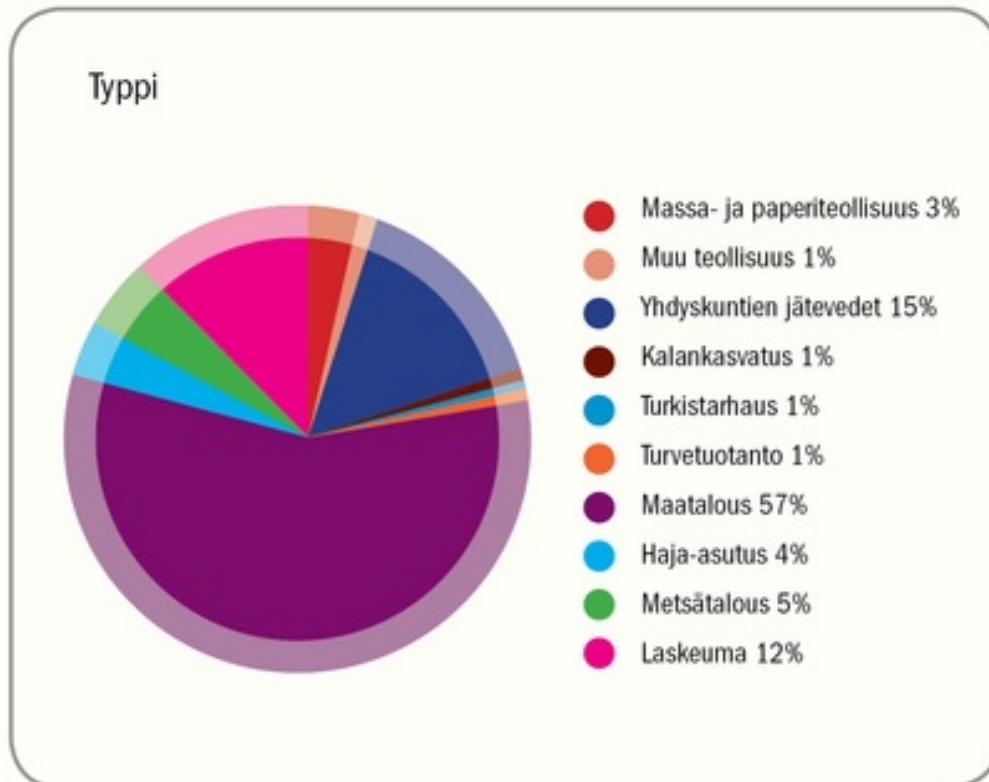
Jätevedet sisältävät fosforia sekä typpeä ja päästessään mereen, ne aiheuttavat rehevöitymistä. Tämä aiheuttaa merenpohjan happivajetta, muutoksia kalastossa sekä eliöyhteisöissä ja runsasta leväsiintymää, joka huomataan etenkin kesäaikana sinilevien massaesiintymisinä. Jäteveden sisältämät ulosteperäiset patogeenit, kuten E.coli bakteerit, voivat aiheuttaa uimareille ripuliepidemiaa sekä suolisto-, korva- tai ihotulehduksia. (2; 3.)

Itämeren alueen laivaliikenteen aiheuttamat vuotuiset jätevesipäästöt sisältävät typpeä 356 tonnia ja fosforia 119 tonnia. Määrä kuulostaa runsaalta, mutta todellisuudessa se on prosentuaalisesti hyvin pieni osuus Itämereen kohdistuvasta kokonaiskuormituksesta. Typen osuus kokonaiskuormituksesta on 0,04 % ja fosforin osuus 0,3 %. Pie-nestä osuudestaan huolimatta laivojen aiheuttama ympäristövaikutus on merkittävä, koska jätevesien sisältämiä ravinteita lasketaan mereen myös kesäisin, jolloin muut ravinteet on jo pääosin käytetty. Fosforikuormien eri lähteet on esitetty kuvassa 1 ja typpikuormien lähteet kuvassa 2. (4.)

Itämeren suurimmat päästölähteet ovat valuma-alueen maatalous- sekä yhdyskuntien jätevedet. Valuma-alueella asuu noin 85 miljoonaa asukasta ja sen pinta-ala on noin neljä kertaa niin suuri, kuin meren pinta-ala. (5; 6.)



Kuva 1. Fosforikuorma eri lähteistä vuonna 2011. (5, 3.)



Kuva 2. Typpikuorma eri lähteistä vuonna 2011. (5, 3.)

3 YMPÄRISTÖNSUOJELUMÄÄRÄYKSET, NORMIT JA SÄÄDÖKSET

Ympäristönsuojelun lainsäädäntö merenkulussa pohjautuu usean eri tahon sopimuksiin sekä asetuksiin. Vaikuttavimmat sopimukset ovat MARPOL 73/78-yleissopimuksen liite IV Alusten käymäläjätevedet ja Itämeren valtioiden välinen Itämeren suojelusopimus, eli niin kutsuttu Helsingin sopimus. Euroopan unioni on myös asettanut joitain asetuksia, jotka koskevat automaattisesti EU:n jäsenvaltioita. (4.)

3.1 Helsingin sopimus

Helsingin sopimus on Itämeren rannikkovaltioiden välinen yleissopimus Itämeren alueen merellisen ympäristön suojelua koskien. Se on vanhin merensuojelusopimus, joka kattaa kokonaisen merialueen. Sen ensimmäinen versio astui voimaan vuonna 1980, mutta sopimus uudistettiin ja Helsinki Convention 1992 astui voimaan 17.1.2000. Sopimus velvoittaa allekirjoittajavaltioita vähentämään kuormitusta kaikista päästölähteistä. Sopimuksen on allekirjoittanut kaikki Itämeren rannikkovaltiot. Kuvassa 3 havainnollistetaan jäsenvaltioiden sijoittuminen Itämeren alueella. Helsingin sopimuksen noudattamista ja kehittämistä valvoo allekirjoittaneiden valtioiden perustama HELCOM, eli Helsinki Commission. (7; 8; 9; 10.)



Kuva 3. Helsingin sopimuksen allekirjoittaneet valtiot. (8.)

3.2 MARPOL 73/78–yleissopimus

MARPOL 73/78 on IMO:n vuonna 1973 hyväksymä yleissopimus, jota täydennettiin tankkerien turvallisuutta ja saastuttamisen ehkäisyä koskevassa kansainvälisessä konferenssissa vuonna 1978. Sen liitteet I ja II pohjautuvat vahvasti vuonna 1954 hyväksytyyn OILPOL–yleissopimukseen, jonka tarkoituksena oli kieltää tankkereiden öljypitoisen veden pumppaaminen mereen rannikoiden läheisyydessä. Sopimus astui lopullisesti voimaan 2.10.1982 ja lakkautti OILPOL–yleissopimuksen voimassaolon. Sittemmin sopimusta on päivitetty jatkuvasti ja sen uusia liitteitä on astunut voimaan portaittain. (11.)

MARPOL 73/78–yleissopimus sisältää alusten aiheuttaman saastumisen ehkäisemiseksi seuraavat liitteet:

- Liite I, öljy
- Liite II, haitalliset nestemäiset aineet
- Liite III, meriympäristölle vaaralliset pakatut aineet
- Liite IV, käymäläjätevedet
- Liite V, kiinteät jätteet
- Liite VI, ilmapäästöt. (11.)

Liite IV, käsittelee aluksilla syntyviä käymäläjätevesiä ja se astui voimaan 27.9.2003. Liitteen mukaan aluksien käymäläjätevedeksi määritellään jätteet, jotka ovat peräisin wc-viemäreistä, urinaaleista, lääkintätiloista ja eläviä eläimiä sisältävistä tiloista. Lisäksi käymäläjätevedeksi lasketaan nesteet, jotka ovat sekoittuneet em. jätteiden kanssa. Käymäläjätevettä ei saa laskea mereen, ellei sitä lasketa lippuvaltion hyväksymän käsittelylaitteiston kautta tai hienonnettuna, sekä desinfioituna vähintään 3 meripeninkulman päässä lähimmästä maasta. Käsittelemätöntä käymäläjätevettä saa laskea mereen, jos laskeminen tapahtuu yli 12 meripeninkulman päässä lähimmästä rannikosta ja aluksen nopeuden ollessa kohtuullinen. Tyhjennysnopeuden tulee olla lippuvaltion hyväksymä ja vähintään 4 solmua. (12.)

Käymäläjäteveden päästäminen mereen on sallittua poikkeustilanteissa kuten silloin, kun päästäminen on tehty aluksen tai sillä olevien henkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi, taikka ihmishengen pelastamiseksi. Poikkeustilanteeksi lasketaan myös tilanteet, jolloin jätevettä on päässyt mereen aluksen tai sen laitteiston vaurioitumisesta ja kaikkiin kohtuullisiin toimenpiteisiin veteen pääsyn ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi on ryhdytty ennen vaurioitumista ja sen jälkeen. (13.)

MARPOL 73/78–yleissopimuksen liite IV koskee kaikkia aluksia, jotka ovat kansainvälisessä liikenteessä ja joiden bruttovetoisuus on yli 400 brt tai henkilökapasiteetti on yli 15 henkilöä. Yleissopimuksen liitteen IV on ratifioinut 90,73 prosenttia maailman laivatonnistosta. (13; 14.)

3.2.1 MEPC.2(VI)

MEPC.2(VI) on vuonna 1976 hyväksytty meriympäristön suojelukomitean suositus, joka koskee jätevesien laatua sekä jätevesien käsittelylaitteiden suorituskykyä. Suositus korvattiin MEPC.159(55)-päätöslauselmalla, joka astui voimaan vuonna 2006.

MEPC.2(VI)-suosituksen raja-arvot olivat:

- Lämpöä sietävien kolibakteerien määrä enintään 250 kpl/100 ml
- Kiintoaineen määrä lietteessä enintään 50 mg/l
- Biokemiallinen hapenkulutus (BOD₅) enintään 50 mg/l. (15.)

3.2.2 MEPC.159(55)

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n alla toimiva meriympäristön suojelukomitea hyväksyi MEPC.159(55) päätöslauselman 13.8.2006. Päätöslauselma määrittää normit käymäläjätevesien käsittelylaitteille ja käsitellyn käymäläjäteveden päästönormit sekä niiden seurantaan koskevat testaukset ja ohjeet. Jäteveden käsittelylaitteiden, jotka ovat asennettu 1.1.2010 tai sen jälkeen, on pitänyt täyttää seuraavat normit:

- Lämpöä sietävien kolibakteerien määrä enintään 100 kpl/100 ml
- Kiintoaineen määrä lietteessä enintään 35 mg/l
- Biokemiallinen hapenkulutus (BOD₅) enintään 25 mg/l
- Kemiallinen hapenkulutus (COD) enintään 125 mg/l
- pH arvon tulee asettua välille 6,0 – 8,5
- Klooripitoisuus enintään 0,5 mg/l. (16; 17.)

3.2.3 Matkustaja-alukset

Matkustaja-alukseksi lasketaan alukset, jotka kuljettavat enemmän kuin 12 matkustajaa. Niiden tulee muiden säädösten lisäksi noudattaa MEPC.201(62) päätöslauselmaa, joka astui voimaan 1. tammikuuta 2013. Päätöslauselma julistaa Itämeren uudeksi ja

toistaiseksi ainoaksi erityisalueeksi sekä asettaa käymäläjätteen käsittelylle erityisalueilla tiukemmat asetukset.

Aluksen ollessa erityisalueella, siinä tulee olla hallinnon tyyppihyväksymä käymäläjäteveden käsittelylaitteisto tai riittävän suuri jätevesisäiliö käymäläjäteveden säilöntään. Käsittelylaitteiston ja jätevesisäiliön kapasiteettien tulee olla riittävän suuret, kun huomioidaan aluksen henkilömäärä, liikennealue ja muut vaikuttavat tekijät.

Käymäläjäteveden tyhjentäminen erityisalueella on kielletty, ellei aluksen käymäläjäteveden käsittelylaitteisto kohtaa MEPC.227(64) – päätöslauselman asettamia uusia ravinnepäästömääräyksiä. Uudet määräykset edellyttävät, että ulos pumpattava jätevesi saa sisältää typpeä enintään 20 mg/l ja fosforia 1,0 mg/l tai käymäläjäteveden käsittelylaitos pystyy vähentämään sisään menevän jäteveden typpimäärästä vähintään 70 % ja fosforimäärästä 80 %.

Uudet määräykset koskevat uusia matkustaja-aluksia 1.1.2016 alkaen ja olemassa olevia matkustaja-aluksia 1.1.2018 alkaen.

Erityisalueiden rannikkovaltioiden tulee pystyä vastaanottamaan jätevedet niissä satamissa, joissa vierailee matkustaja-aluksia. Vastaanottokyvyn tulee olla riittävä, eikä vastaanottaminen saa aiheuttaa aluksille kohtuuttomia viivästyksiä. (18; 19)

3.3 Alaska ADEC -standardi

Alaskan jätevesipäästöjä koskeva lainsäädäntö on jätevesipäästöjä koskevista laista ja asetuksista yksi tiukimmista ja vaikeimmin tulkittavista. Asetus edellyttää runsasta näytteidenottoa sekä mittauksia ja niiden tulokset tulee raportoida viranomaisille.

Alaskan ympäristöministeriön asetuksessa No. 2013DB0004 määrätään raja-arvot käymäläveden, harmaan veden sekä muiden jätevesien tyhjentämiselle Alaskan aluevesillä. Asetus koskee suuria matkustaja-aluksia, joilla on makuupaikat vähintään 250 matkustajalle.

Asetus on astunut voimaan 29.8.2014 ja on voimassa viisi vuotta voimaantulopäivästä.

Jätevesi ei saa sisältää:

- Vaahtoa tai kelluvia kappaleita
- Öljyistä jätettä
- Muovia
- Vaarallisia aineita

Asetus määrittelee jätevedelle seuraavat raja-arvot:

- Lämpöä sietävien kolibakteerien määrä enintään 40 kpl/100 ml. Kalenterikuukauden keskiarvo enintään 14 kpl/100 ml
- Kiintoaineen määrä lietteessä enintään 150 mg/l. Kalenterikuukauden keskiarvo enintään 30 mg/l
- Biokemiallinen hapenkulutus (BOD₅) enintään 60 mg/l. Kalenterikuukauden keskiarvo enintään 30 mg/l
- pH arvon tulee asettua välille 6,0 – 9,0
- Klooripitoisuus enintään 0,01 mg/l
- Liuennutta kuparia enintään 3,1 µg/l
- Liuennutta nikkeliä enintään 8,2 µg/l
- Liuennutta sinkkiä enintään 81 µg/l. (20;21.)

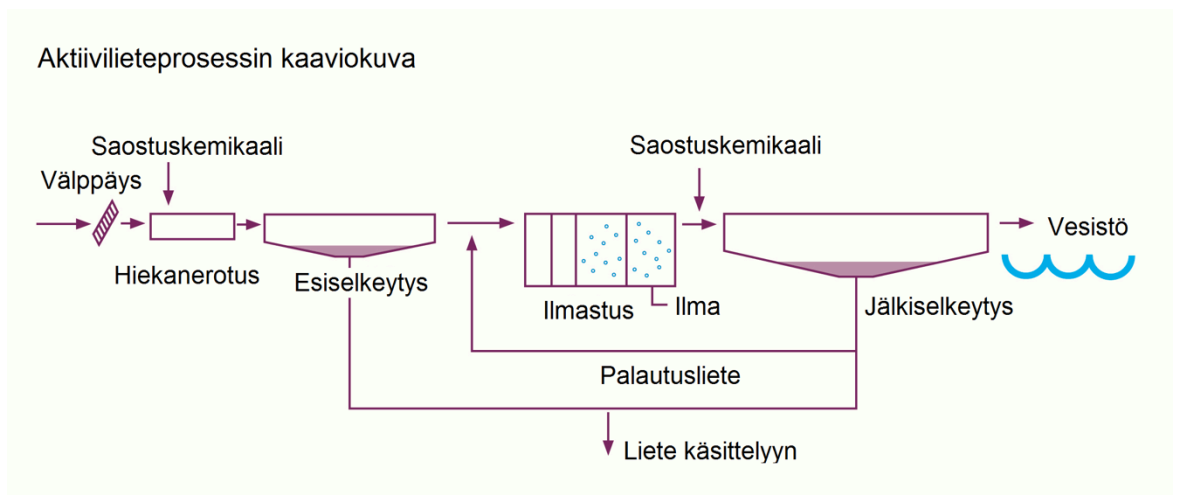
Aluksille voidaan myöntää lupa päästää mereen sellaista jätevettä, joka ei täytä kaikkia asetuksen raja-arvoja. Helpotukset koskevat lähinnä jäteveden typen määrää ja metallipitoisuuksia. Luvan myöntämiseen vaikuttaa monet eri tekijät, esimerkiksi aluksen paikka ja nopeus. (20; 21.)

4 JÄTEVESIEN KÄSITTELY MAALLA

Talousjätevesi on kotitaloustoimista ja ihmisten aineenvaihdunnasta syntyvää jätevettä. EU-direktiivi edellyttää 80 %:n ja HELCOM suosittelee 90 %:n fosforin poistoa jätevedestä. Tehostettua typen poistoa ei vaadita kaikilta jätevedenpuhdistamoilta. Suomen jätevesipuhdistamoiden puhdistustaso keskiarvoisesti laskettuna on erittäin kor-

kea. Ne pystyvät poistamaan tulevasta orgaanisesta aineesta 97 %, fosforista 96 % ja tyypeästä 56 %. (2; 5.)

Useimmat talousjätevesipuhdistamot käyttävät mekaanisen, biologisen ja kemiallisen prosessin yhdistelmää. Kiinteät aineet poistetaan mekaanisesti välppäämällä ja fosfori saostetaan kemiallisesti. Biologisessa vaiheessa bakteerimassa käyttää tyypeä sekä orgaanisia aineita ravintonaan, jolloin ne poistuvat jätevedestä bakteerimassaan. Prosessin loppuvaiheessa bakteerimassa, eli liete, erottuu vedestä painovoimaisesti. Osa lietteestä palautetaan takaisin prosessin biologiseen vaiheeseen ja loput siirretään lietteen käsittelyyn. Puhdistettu vesi johdetaan jälkiselkeyttimen yläosasta takaisin vesistöön. Kuva 4 selventää jäteveden kulkua aktiivilietelaitoksessa. (5.)



Kuva 4. Aktiivilieteprosessin kaaviokuva. (5.)

Prosessista yli jäävää lietettä, joka sisältää orgaanisia aineita sekä ravinteita, käytetään esimerkiksi maatalouskäytössä lannoitukseen. Lietettä syntyy vuosittain jopa 1 000 000 m³. (22.)

Valtioneuvoston asetuksen mukaan vesihuoltolaitosten viemäriverkkojen ulkopuolisten alueiden, eli haja-asutusseudun, talousjätevesistä tulee poistaa 80 % orgaanista ainetta, 70 % fosforia ja 30 % tyypeä, verrattuna käsittelemättömään jäteveeseen. Kiinteistöillä tulee olla jätevesiselvitys, jonka perusteella pystytään arvioimaan jätevesien ympäristöön aiheuttama kuormitus. Pilaantumiselle herkillä alueilla, kuten pohjavesialueilla ja rantavyöhykkeillä, sovelletaan ankarampia puhdistusvaatimuksia. Tällöin jätevedestä pitää poistaa 90 % orgaanisesta aineesta, 85 % fosforista ja 40 % tyypeästä. Jätevesiasetuksen edellyttämät järjestelyt tulee toteuttaa siirtymäaikana, joka päättyy

15.3.2016. Siirtymäaika ei koske uudisrakennuksen tai suurten kunnostustöiden kohteena olevia kiinteistöjä, joten niiden tulee täyttää vaatimukset välittömästi. (23.)

4.1 Jätevesimaksut

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, joka tuottaa vesi- ja jätehuollon palvelut pääkaupunkiseudun alueelle, perii 1,34 €/m³ suuruisen käyttömaksun toimitusta vedestä mitatun kulutuksen mukaan. Viemäriverkkoon lasketusta jätevedestä peritään 1,66 €/m³ suuruinen jätevesimaksu. Lisäksi HSY perii perusmaksua, jonka suurus riippuu kiinteistön kerrosalaluokasta, kiinteistötyypistä sekä palvelujen käytöstä. (24.)

5 JÄTEVESIEN KÄSITTELY LAIVALLA

Tiukentuneet säädökset ja yhtiöiden tavoitteet ylläpitää ympäristöystävällistä mainetta ovat lisänneet varustamoiden tietoisuutta jätevesien käsittelystä. Lisäksi käsitellyn jäteveden laaduntarkkailu ja näytteiden otto Port State Controllissa on lisääntynyt. Port State Control on viranomaisen tekemä tarkastus koskien aluksen kuntoa.

Laivalla jätevesiä voidaan käsitellä mekaanisesti, biologisesti ja kemiallisesti. Jätevesien käsittelylaitteistot ovat yleensä kahden tai useamman menetelmän yhdistelmiä, kuten mekaanisen, biologisen ja kemiallisen menetelmän yhdistävä aktiivilietelaitos. (25.)

5.1 Jätevesien pumppaaminen satamaan

Lähestulkoon kaikki jätevedenkäsittelylaitteet mahdollistavat jäteveden pumppauksen aluksen omalla pumpulla erillistä tyhjennyslinjaa pitkin maihin. Marpol-yleissopimus antaa laivojen ja satamien jätevesilinjojen laipoille standardimitat, jotta tyhjennys pystyttäisiin toteuttamaan sujuvasti satamasta riippumatta. (26.)

Monet satamat, esimerkiksi Suomen matkustajasatamat, ovat sisällyttäneet jätevesimaksun alusjätemaksuun, joten jäteveden pumppauksesta maihin ei aiheudu lisäkuluja. Tämä on johtanut siihen, että alukset tuovat yhä enenevässä määrin jätevedet maihin käsiteltäväksi, vaikka lainsäädäntö ei sitä vaatisikaan. HELCOMin vuonna 2014 tekemään tutkimukseen vastasi 667 Itämerellä seilanneen risteilyaluksen edustajaa,

joista noin 30 % kertoi käyttäneensä satamien jäteveden vastaanottopalveluita niiden ollessa saatavilla. Kaikki Suomen vuoroliikenteessä olevat matkustaja-alukset ja autolautat keräävät jätevedet varastotankkeihin ja pumppaavat ne satamassa ollessaan maihin. (27; 28.)

MEPC.201(62) päätöslauselma edellyttää riittävää jäteveden vastaanottokykyä Itämeren alueen satamilta, joissa vierailee matkustaja-aluksia. Vuonna 2010 tehdyssä selvityksessä todettiin, että Helsingin, Pietarin, Tukholman, Visbyn ja Klaipedan satamien vastaanottokyvyt sekä palvelut ovat riittävällä tasolla. Helsingin satamassa aluspalveluhenkilö kytkee letkun aluksen ja kaupungin viemäriverkon välille, jolloin satama on valmis vastaanottamaan sekä mustaa, että harmaata vettä noin 100 m³/h. Turun matkustajasataman vastaanottokyky on 250 m³/h. (29; 30.)

5.2 Mustavesi

Mustalla vedellä tarkoitetaan aluksen käymäläjätevesiä. MARPOL 73/78-yleissopimuksen mukaan käymäläjätevettä on:

- a) jätevedet sekä jätteet jotka ovat peräisin käymälöistä, pisuaareista ja WC-lattiakaivoista;
- b) jätevedet lääkintätilojen pesualtaista, kylpyammeista ja lattiakaivoista;
- c) tyhjennykset tiloista, joissa on eläviä eläimiä; sekä
- d) muut jätevedet, jotka ovat sekoittuneet edellä mainittujen kanssa. (31.)

Mustavesi sisältää huomattavasti suuremman määrän typpeä ja fosforia, kuin perinteinen maalla syntyvä talousjätevesi. Määrät voivat olla jopa kymmenkertaisia. Fosforin määrä matkustaja-alusten mustassa vedessä asettuu yleensä välille 40 – 80 mgP/l ja typpimäärä välille 400 – 1000 mgN/l. (32.)

Mustaa vettä syntyy aluksilla vuorokaudessa n. 12 – 25 litraa henkilöä kohden. Matkustaja-aluksilla määrä on siis huomattava. Esimerkiksi Silja Europalla syntyi mustaa vettä vuosina 2009 ja 2010 kuukausittain 900 kuutiosta aina 1630 kuutioon saakka. (33.)

5.3 Harmaavesi

Harmaavesi on jätevettä, joka on peräisin tiskaamisesta, keittiön pesualtaista, suihkuista, kylpyammeista, lavuaareista ja pesuloista. Harmaavesi ei saa sisältää mustaa vettä eikä jätevesiä, jotka ovat peräisin lastitiloista. (34.)

Vuorokausittain syntyvä harmaan veden määrä henkilöä kohden vaihtelee 120 – 250 litran välillä. Suuren matkustaja-aluksen kuukausittain syntyvän harmaan veden määrä voi siis olla jopa 7000 m³. Harmaaveden sisältämät fosforimäärät ovat tyypillisesti 0,5 – 10 mgP/l ja typpimäärät 1 – 10 mgN/l. Harmaan jäteveden osalta IMO, eikä Suomen lainsäädäntö ole asettanut määräyksiä, mutta monet jäteveden käsittelylaitteet kykenevät käsittelemään myös harmaata vettä. (32; 35.)

5.4 Keittiövesi

Ruokajätettä sisältävää jätevettä ei saa päästää mereen ellei alus ole kulussa ja sen etäisyys lähimpään rantaan ole yli 12 meripeninkulmaa. Jätevesi ei saa sisältää ruokaöljyä, eikä muovin jäänteitä. Ruokajäte tulee rouhentaa tai hienontaa siten, että se mahtuu kulkemaan verkon lävitse, jonka aukkojen koko on korkeintaan 25 mm. Ruokajätteeseen liittyvät asiat käsitellään MARPOL 73/78 liitteessä V. (36.)

6 VANHAT JÄRJESTELMÄT

Tässä osiossa käsitellään vanhoja järjestelmiä, joita on edelleen käytössä etenkin laivoilla, joiden jätevesien määrät ovat vähäisiä. Vanhojen järjestelmien korvaaminen nykypäivän määräykset täyttävillä käsittelylaitteilla on kallista ja nähdäkseni melko turhaa, niin kauan kun käsittelemätöntä jätevettä saa laskea mereen 12 mpk etäisyydellä rannasta.

6.1 Aktiivilietelaitos

Biologiseen prosessiin perustuvan aktiivilietelaitoksen ongelmina ovat sen pitkä käynnistymisaika sekä bakteerikannan kuoleminen. Bakteerikannan toimintaa vaikeuttavia tekijöitä ovat mm. mikrobien happivaje ilmastuksen ollessa epäkunnossa sekä ongelmat lietteenkierrätyksessä. Laitokseen saattaa päästä vahvoja kemikaaleja käymälöiden kautta, joka voi johtaa bakteerikannan kuolemaan. MEPC.159(55)-

päätöslauselman asettamat päästörajoitukset ovat aktiivilieteprosessilla hankalat, mutta mahdolliset täyttää. (25; 37.)

6.1.1 Välppäys

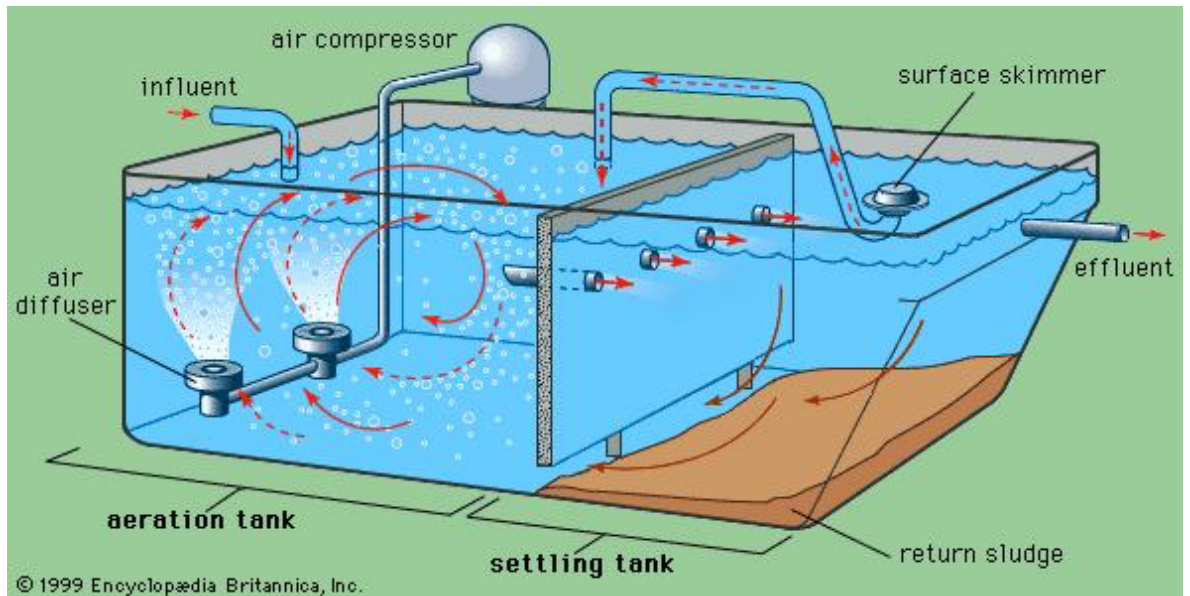
Välppäyksellä tarkoitetaan siivilöintiä, jossa poistetaan jäteveden mukana kulkevat kiinteät esineet, kuten käymälästä viemäriverkkoon lasketut muovit ja paperit. Välppäyksellä pyritään estämään tukkeumia laitoksessa. Välppäykseen käytetään yleensä karkeaa sihtiä, jonka aukkojen koko on tyypillisesti noin 6 mm. (38.)

6.1.2 Esiselkeytys

Aktiivilieteprosessissa jätevesi, eli laivoilla mustavesi, johdetaan selkeytysaltaaseen. Selkeytysaltaassa vettä raskaammat aineet erotellaan jätevedestä painovoimaisesti. Jätevedestä erottuneet partikkelit siirretään selkeytysaltaasta lietesäiliöön ja jätevesi siirretään ilmastuskammioon prosessin biologiseen vaiheeseen. Esiselkeytyksessä poistuu runsaasti kiintoainetta, joten biologisen vaiheen kuormitus pienenee. (39.)

6.1.3 Bioreaktio ja ilmastus

Prosessin biologisessa vaiheessa jätevesi ohjataan ilmastuskammioon jossa on aktiiviliete, eli pieneliöstö joka muodostuu orgaanisia aineita, typpeä ja fosforia ravintonaan käyttävistä mikrobeista. Mikrobien soluhengityksen johdosta orgaaniset aineet hapetuvat ja hajoavat vedeksi sekä hiilidioksidiksi. Kuvassa 5 on esitetty aktiivilieteprosessin pääkomponentit.



Kuva 5. Aktiivilietelaitoksen toimintaperiaatekuva (40.)

Typen poistumisen ensimmäinen vaihe on nitrifikaatio, jossa jätevedessä oleva ammonium-tyyppi hapetetaan nitriitin kautta nitraatiksi. Nitraatti on ympäristölle haitallinen aine, joten se poistetaan selkeytsaltaassa denitrifikaatiolla. Selkeytsaltaassa bakteereilla ei ole käytävissä riittävästi liuenntua happea, jolloin ne käyttävät nitraatin happimolekyylin ja nitraatti pelkistyy typpikaasuksi. (41.)

Bakteerit tarvitsevat kasvaakseen ravinteita, kuten fosforia. Fosforia sitoutuu biomassaan ilmastuskammion hapellisissa, eli aerobisissa olosuhteissa ja vapautuu selkeytsaltaan hapettomissa, eli anaerobisissa olosuhteissa. Fosfori sitoutuu lietteeseen ja se poistuu ylijäämälietteen poiston yhteydessä. Biologisella fosforinpoistolla pystytään poistamaan ainoastaan noin 30 % kokonaisfosforista, mutta lisäämällä prosessiin rinnakkaissaostus, pystytään fosfori poistamaan lähes kokonaan. Rinnakkaissaostuksessa jäteveden sekaan lisätään ilmastusvaiheessa saostuskemikaalia, joka reagoi liuenneen fosforin kanssa. Saostuskemikaaleina käytetään alumiini-, kalsium- tai rautapohjaisia yhdisteitä. Yleisin saostuskemikaali on ferrosulfaatti sen edullisen hintansa vuoksi. 30 litran kanisterin ferrosulfaattia saa suomalaisesta rautakaupasta noin 3 € litrahintaan. Rinnakkaissaostusprosessissa kuluu ferrosulfaattia $50 - 150 \text{ g/m}^3$. Saostuskemikaalin kanssa reagoineet fosforit kiinnittyvät törmätessään toisiinsa, jolloin ne muodostavat vettä tiheämpiä rykelmiä, eli flokkeja. Jälkiselkeytysvaiheessa flokit vajoavat altaan pohjalle josta ne poistetaan. (41; 42.)

Aktiivilieteprosessin tehokkaan toiminnan takaamiseksi on tärkeää, että biologisessa vaiheessa jätevesi on sekoittunut tasaisesti, jotta orgaaniset aineet ja typpi olisivat paremmin saatavilla, jolloin hajotusreaktio nopeutuu. Nitrifikaation ja denitrifikaation kannalta merkittävimpiä tekijöitä ovat jäteveden pH, lämpötila ja hapen määrä.

Aktiivilietteen mikrobien hapen tarpeesta johtuen, ilmastuskammioon syötetään jatkuvalla syötöllä paineilmaa. Ilmastusaltaassa tapahtuvan prosessin hapentarve riippuu pääosin jäteveden lämpötilasta, lietekuormituksesta ja nitrifikaatiosta, mutta minimimääränä pidetään yleensä 2 mg/l. Paineilman syöttäminen auttaa myös pitämään jäteveden liikkeessä, jolloin se sekoittuu ja liete ei pääse kerääntymään ilmastuskammion pohjalle. (39; 41; 43.)

6.1.4 Jälkiselkeytyks ja desinfiointi

Prosessin lopussa liete erotellaan nesteestä painovoimaisesti jälkiselkeytyksessä ja osa lietteestä palautetaan ilmastusaltaaseen, jolloin mikrobit siirtyvät uudelle ruokailukierrokselle. Jälkiselkeytyksessä saattaa syntyä ongelmia lietteen laskeutuvuuden kanssa, koska biologisessa vaiheessa syntyneet rihmamaiset bakteerit estävät lietettä flokkautumasta, eli lietteen partikkelit eivät kykene muodostamaan rykelmiä jotka vajoaisivat altaan pohjalle. Rihmamaisten bakteerien syntyyn vaikuttaa muuttuvat olosuhteet sekä vaihtelut jätevesikuormassa. (39.)

Puhdistettu vesi siirretään jälkiselkeytystankin yläosasta desinfioinnin kautta varastotankkiin. Desinfiointi on operaatio jossa patogeeniset organismit tapetaan, tehdään lisääntymiskyvyttömiksi tai kyvyttömiksi aiheuttamaan infektiota. Yleisin aktiivilietelaitosten desinfiointimenetelmä on klooraus, josta kerrotaan tarkemmin tämän opin- näytetyön kohdassa 6.3.4. (43.)

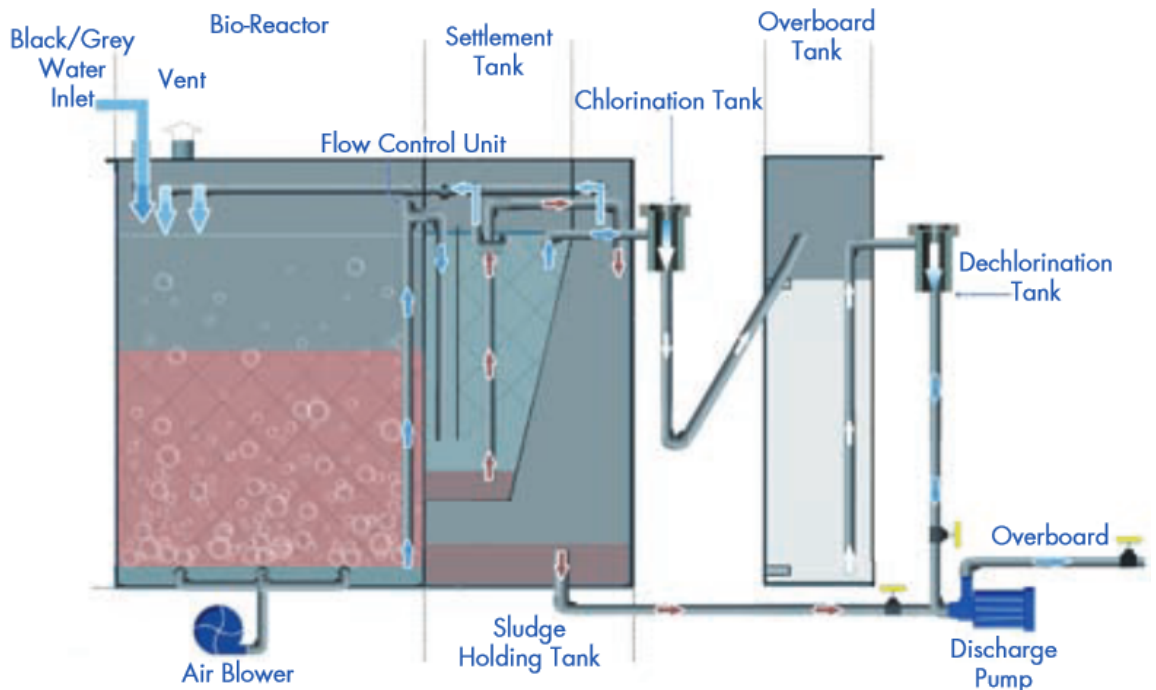
6.2 Maserointi, klooraus ja laimennus

Kloorauksen, maseroinnin ja laimennuksen sisältävissä järjestelmissä karkeat jätteet poistetaan hienojakoisen sihdin avulla. Jätevesi ohjataan maseraattoriin, jossa nesteen mukana kulkevat partikkelit pilkotaan pienempään paremmin pumpattavaan muotoon. Maserointi on esitetty tarkemmin tämän opin- näytetyön kohdassa 6.3.1.

Jäteveden desinfiointi sekä hapetus toteutetaan kloorauksella. Klooraus voidaan toteuttaa lisäämällä natriumhypokloriittia tai tuottamalla jäteveden ja meriveden seoksesta hypokloriittia. Hypokloriittia syntyy, kun jäteveden ja meriveden seos ohjataan elektrolyysikennojen välistä. Käsittelyprosessin aikana saattaa syntyä ympäristölle vaarallisia kloorattuja orgaanisia yhdisteitä. (15; 37; 44.)

6.3 Fixed Bed Biofilm Reactor (FBBR)

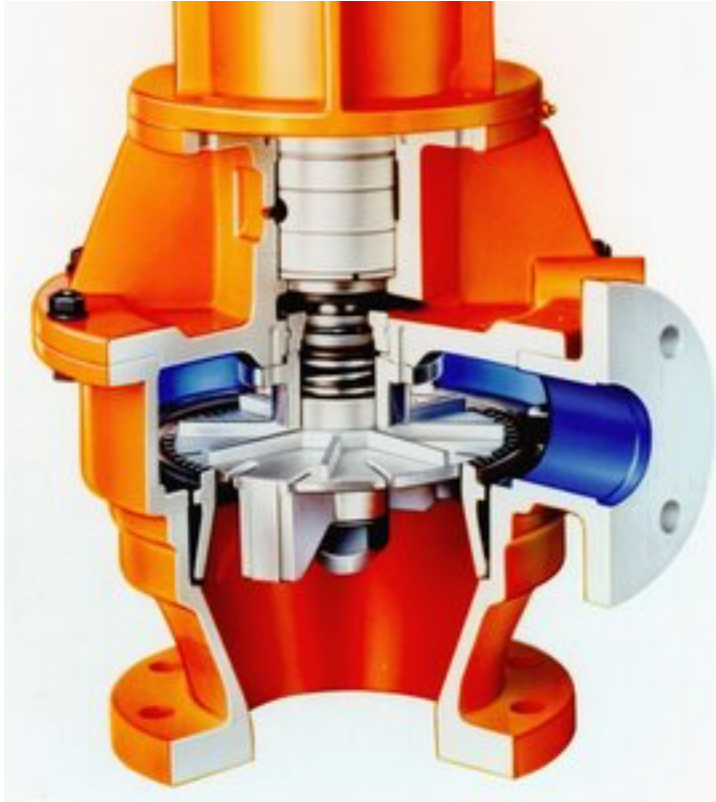
FBBR-prosessilla on hankalaa, mutta mahdollista alittaa MEPC.159(55)-päätöslauseلمان asettamat päästörajat. Bakteerien poistaminen ilman ultraviolettilaisinta on hankalaa ja biofilmin eroosio voi johtaa liialliseen kiintoaineen määrään. FBBR-prosessin periaatekuva on esitetty kuvassa 6. (37.)



Kuva 6. Kiinteään biofilmiin perustuvan laitoksen periaatekuva. (45.)

6.3.1 Maserointi

Maseroinnin tehtävänä on pilkkoa ja hienontaa jäteveden seassa kulkevat kiinteät aineet paremmin pumpattavaan muotoon. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi puukappaleet, tekstiilit, muovit, paperit, kumit, luut ja lasit. Maseraattori on pumppu, jossa on hyvin kulutusta kestävä juoksupyörä sekä leikkuelementit. Kuvassa 7 on esitetty Allweiler-yhtiön maseraattorin poikkileikkauskuva. (46.)



Kuva 7. Allweiler maseraattori. (47.)

6.3.2 Bioreaktori

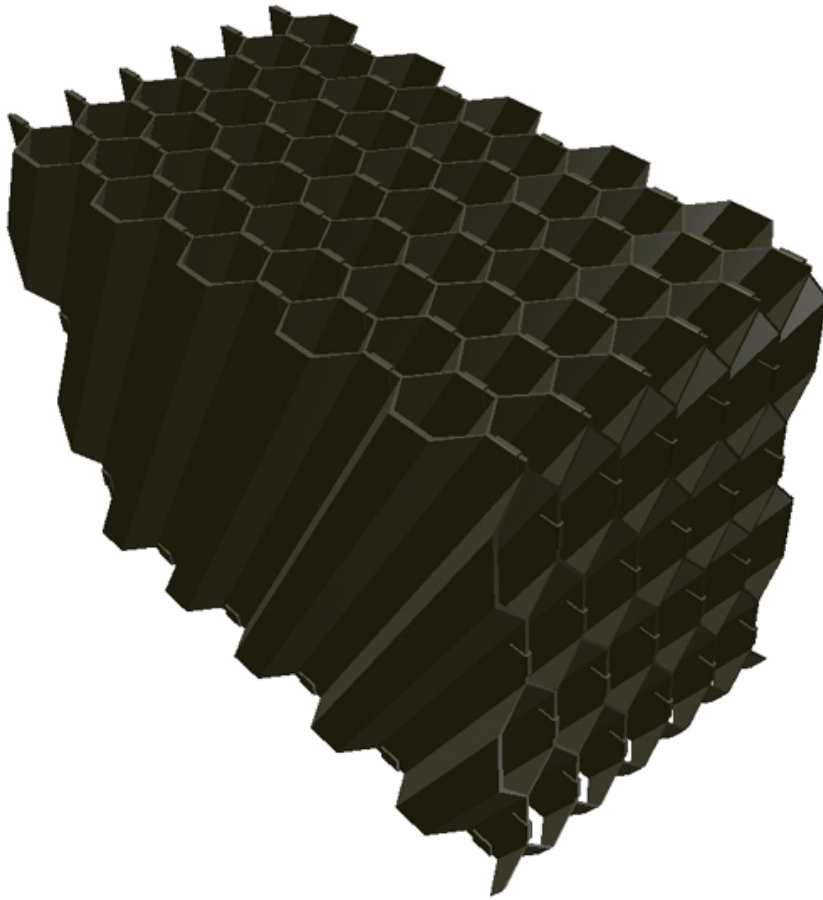
Maseroinnin jälkeen jätevesi siirtyy bioreaktoriin prosessin biologiseen vaiheeseen. Bioreaktoritankin pintaan muodostuu suuri biofilmi, jonka mikrobit käyttävät jäteveden orgaanisia aineita sekä ravintosuoloja, kuten typpeä ja fosforia ravintonaan. Mikrobit tarvitsevat aerobiset eli hapelliset olosuhteet pysyäkseen hengissä, jonka vuoksi tankkiin syötetään matalapaineista ilmaa. Ilmastus myös hapettaa jäteveden sisältämät rikkivedyt, jotta ne eivät aiheuttaisi järjestelmässä hajuhaittoja sekä korroosiota. Ihmiselle vaaralliset kaasut poistuvat myös ilmastusvaiheessa.

Mikrobien toiminnan kannalta tulisi huolehtia, ettei jäteveteen pääse myrkkyyä, jotka voisivat vaurioittaa tai tappaa mikrobit. Nopeat vaihtelut ympäristöolosuhteissa, kuten happipitoisuudessa, lämpötilassa sekä pH:ssa, voivat aiheuttaa lietteen eliöiden kuoleman. (48.)

6.3.3 Selkeytys

Prosessin seuraavassa vaiheessa jätevesi syötetään selkeytystankkiin, jossa liete valuu painovoiman ansiosta tankin pohjalle. Tankissa on putkiselkeytin, joka estää laivan

liikkeiden vaikuttamasta selkeytykseen. Tämän lisäksi putkiselkeytin (kuva 8) on nopeatoimisempi ja pienempi kuin tavallinen selkeytin. (45.)



Kuva 8. Putkiselkeyttimen havainnekuva. (49.)

6.3.4 Desinfiointi

Selkeytystankista jätevesi siirretään desinfiointiyksikön kautta varastotankkiin. Jäteveden desinfiointiin FBBR-prosessien yhteydessä käytetään usein kloorausta. Kloorauksessa jäteveteen sekoitetaan klooripohjaisia nesteitä, jauhoja tai tabletteja. Yleisimmin käytetyt kloorit ovat nestemäinen natriumhypokloriitti sekä tablettimainen kalsiumhypokloriitti. Kloori hajoaa päästessään jäteveden sekaan ja tällöin syntyy voimakas ja hapettava hydroksidi-ioni. Sille ei löydy vapaata entsyymiä hydroksyyliä varten, joten se tunkeutuu bakteerin soluseinän läpi tuhoten sen entsyymijärjestelmän. Jotta klooraus olisi riittävän tehokas, täytyy kloorin ja jäteveden olla kontaktissa toistensa kanssa suhteellisen pitkä aika, joka vaihtelee 20 – 30 minuutin välillä. Klooria annostellaan 5 – 20 mg/l. Klooraussäiliöiden suunnittelussa tulee huomioida, ettei säiliöön pääsisi syntymään kohtia joissa kloori ei pääse vaikuttamaan sekä kloorin taipumus lisätä korroosiota. (50; 51.)

Klooriyhdisteet ovat ihmisille ja vesieliöille haitallisia, joten ne poistetaan sekoittamalla jätevedeen rikkidioksidia, hiiltä tai natriumbisulfiittia. Tämän jälkeen vesi voidaan varastoida tai pumpata mereen. (52.)

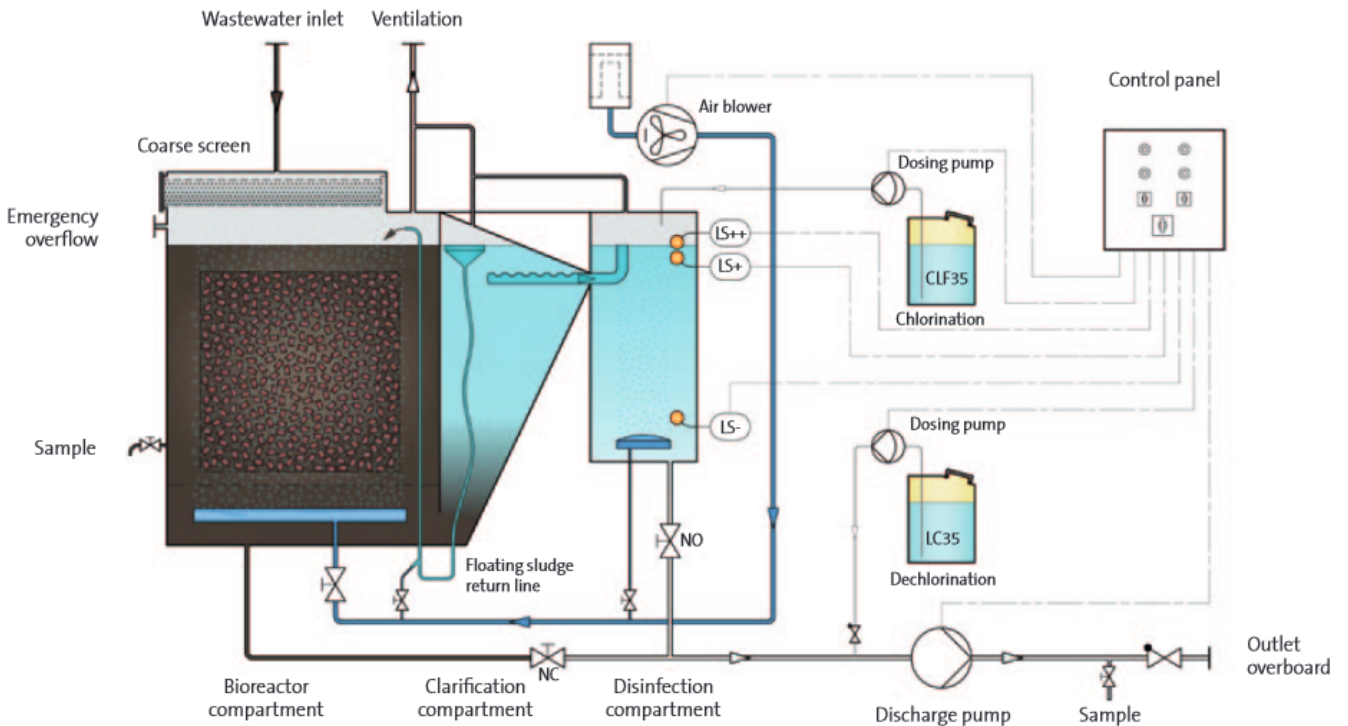
Kloorauksen etuina verrattuna muihin desinfiointeihin, esimerkiksi ultraviolettilamppuun, on sen edullisuus, käyttövarmuus sekä tekniikan tuntemus. Haittapuolena on ihmisille ja vesieliöille vaarallisten klooriyhdisteiden syntyminen. Kloorin myrkyllisyyden vuoksi sen käsittely, varastointi ja kuljetus vaativat erityistä huolellisuutta. (43; 50.)

7 UUDET JÄRJESTELMÄT

Tiukentuneiden säädösten seurauksena jätevesien käsittelylaitteiden toimittajat ovat kehittäneet uusia laitteita, jotka perustuvat yhdyskunnissa sekä teollisuudessa toimiviksi todettuihin ratkaisuihin. Jätevesien laatua tarkkaillaan Port State Controllissa, joten uusien laitoksiin on yleensä asennettu näytteidenottopisteet.

7.1 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

MBBR-, eli kantoaineprosessiin perustuvat jäteveden käsittelylaitteet kykenevät täyttämään merenkulun tiukimmat säädökset. Useimmat käsittelylaitteet alittavat IMO:n MEPC 159(55)- ja MEPC 227(64)-päätöslauselmien asettamat raja-arvot. Kuvassa 9 esitetään Nagmarine-yhtiön MBBR-laitoksen pääkomponentit. (53.)



Kuva 9. Nagmarine-yhtiön MBBR-laitos. (54.)

7.1.1 Karkea suodatus

MBBR-prosessissa musta ja harmaa vesi kerätään tasaussäiliöön siivilän lävitse, jolloin jäteveden seasta poistuvat suurimmat kiintoaineet. Siivilöinnin täytyy olla riittävän tehokasta, etteivät kiintoainepartikkelit tukkisi prosessien välisiä verkkoja. Verkkojen tehtävänä on estää kantoainekappaleiden pääsy flotaatioaltaaseen. Tasaussäiliön jälkeen jätevesi siirretään bioreaktoriin prosessin biologiseen vaiheeseen. Jotkin pienet laitokset keräävät jätevedet suoraan bioreaktoriin tasaussäiliön sijaan. (55.)

7.1.2 Bioreaktori

Bioreaktorissa on jäteveden seassa kantokappaleita (kuva 10), joiden pintaan mikrobit muodostavat biofilmin. Kantoainekappaleet ovat rakennettu siten, että niihin syntyvän biofilmin pinta-ala on mahdollisimman laaja. Suuren biofilmin ansiosta bioreaktoriin saadaan suurempi biomassakonsentraatio verrattuna tavalliseen aktiivilietelaitokseen. Tämän ansiosta bioreaktorin kokoa voidaan pienentää.

Bioreaktorin altaan pohjassa olevista suuttimista syötetään paineilmaa, jotta mikrobit saavat happea ja jätevesi sekä kantokappaleet pysyvät liikkeessä. Altaan virtausta voidaan myös tehostaa, jolla varmistetaan, etteivät kantokappaleet pääse tukkimaan väli-

verkkoja. Liikkeen ansiosta myös biofilmi uusiutuu jatkuvasti, kun vanha biomassa irttoa kantokappaleista. (53; 56.)



Kuva 10. Erilaisia kantoainekappaleita. (57.)

7.1.3 Dissolved Air Flotation (DAF)

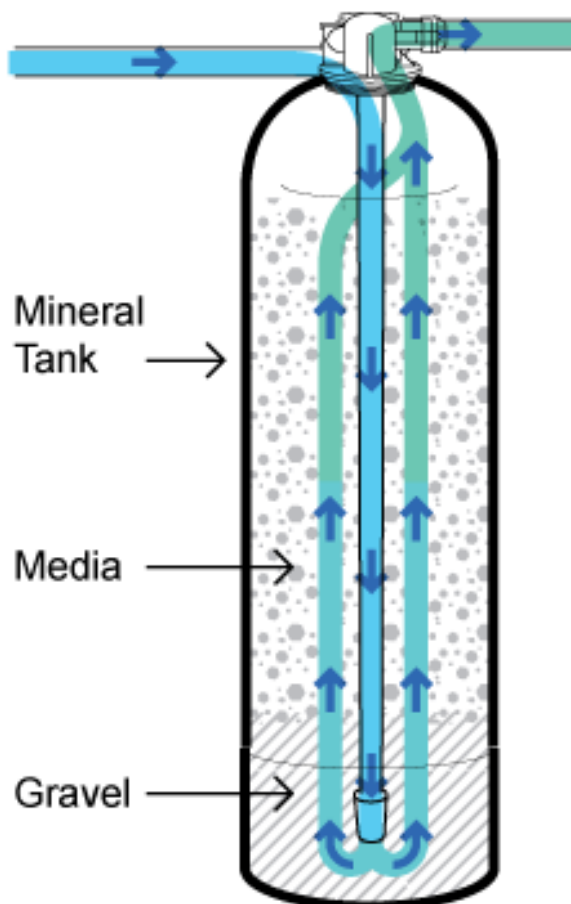
Bioreaktorin jälkeen jätevesi siirtyy prosessin DAF-, eli paineflotaatiovaiheeseen, jossa kiintoaineet erotellaan jäteveden seasta 40 – 70 µm kokoisten ilmakuplien avulla. Erillisessä säiliössä liuotetaan paineen avulla ilmaa veteen, jonka jälkeen se vapautetaan flotaatioaltaan pohjassa olevien suuttimien kautta jäteveden sekaan. Paineen alentuessa ilma vapautuu mikrokuplina ja jäteveden seassa olevat kiintoaineet tarttuvat niihin ja nousevat altaan pinnalle lietteeksi. Pinnalta liete kerätään talteen ja ohjataan lietetankkiin tai takaisin bioreaktoriin. (53; 58.)

7.1.4 Suodatus

Seuraavaksi jätevesi ohjataan hienojakoisen suodattimien läpi, jolloin vesi kirkastuu ja siitä poistuu epämiellyttävät hajut. Yksinkertaisimmillaan suodatin on rakennettu osittain hiekalla täytetystä putkimaisesta säiliöstä, jonka läpi puhdistettava vesi virtaa. Monikerrossuodattimissa (kuva 11) suodatusmateriaalit ovat jaettu kerrokseen siten, että karkeat sekä kevyet materiaalit ovat suodatusvaiheessa ensimmäisenä ja hienojakei-

set sekä raskaat viimeisenä. Suodatinmateriaaleina käytetään esimerkiksi kvartsihiekkää, soraa, graniittia, aktiivihiehlää ja antrasiittia, eli kivihiehlää. (59.)

Vesivirran suunta on suodatinmallista riippuen joko ylhäältä alas tai päinvastoin. Suodattimien peseminen tapahtuu vastavirtahuuhteluna, jolloin yksinkertaisesti muutetaan veden virtaussuuntaa. Pyrkimyksenä on aiheuttaa sekoittumista suodatinmateriaalissa, jolloin suodattimeen jääneet kiintoaineet hankautuvat irti ja poistuvat huuhteluveden mukana. Suodatinpedin paksuus voi huuhtelun aikana kasvaa jopa 30 – 50 prosenttia ja tämä tulee huomioida säiliön koossa. Suodattimia on myös ilman vastavirtahuuhtelua, jolloin säiliöstä voidaan tehdä pienempi, mutta tällöin puhdistettavan jäteveden täytyy olla esikäsitelty paremmin. (59; 60.)



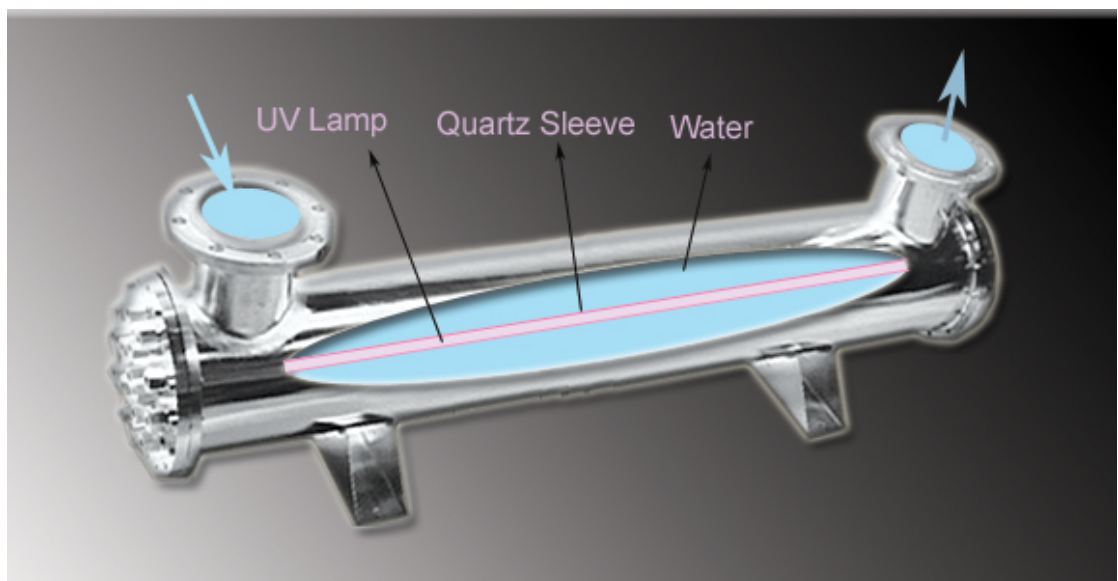
Kuva 11. Rakeiseen materiaaliin perustuva monikerrossuodatin. (61.)

7.1.5 Desinfiointi

Ennen jäteveden varastointia tai mereen pumppaamista siitä poistetaan patogeeneit desinfioinnilla. MBBR-laitoksissa desinfiointi toteutetaan yleensä joko klooraamalla tai ultraviolettisäteilyllä.

Ultraviolettisäteilyyn perustuva desinfiointi on fysikaalinen desinfiointimenetelmä, jossa ultraviolettisäteilyä synnyttävän valaisimen tuottama sähkömagneettinen energia absorboituu mikrobisoluun. Tällöin siitä tulee kyvytön jakaantumaan eli se inaktivoituu. Ultraviolettisäteily ei kuitenkaan välttämättä tuhoa mikrobin aineenvaihduntaa ja elintoimintoja, mutta inaktivoitunut mikrobi on yleensä infektiokyvytön. (43.)

Ultraviolettisäteilyä syntyy, kun ultraviolettilampun (kuva 12) elektrodien välille luodaan jännite-ero, jolloin lampussa oleva kaasu ionisoituu ja syntyneiden fotonien energia vapautuu säteilyä. Desinfiointiin tarkoitettua ultraviolettisäteilyä tuotetaan yleensä elohopeahöyryä sisältävillä lampuilla, koska niiden tuottama säteily on aallonpituudeltaan mikrobeja tuhoavaa. Optimaalinen aallonpituus mikrobien tuhoamiseen on 250 – 270 nm. Lamppujen suojaputkessa käytetään ultraviolettisäteilyä hyvin läpäisevää kvartsilasia. Toisin kuin kloorauksessa ultraviolettikäsittelyssä ei synny myrkyllisiä sivutuotteita, mutta toimiakseen tehokkaasti se vaatii kirkkaan jäteveden. Suojaputken likaantuminen vaimentaa ultraviolettisäteitä, jolloin desinfiointiteho pienenee. Ultraviolettisäteilyn etuna on sen tarvitsema huomattavasti lyhyempi vaikutusaika verrattuna klooraukseen. (62.)

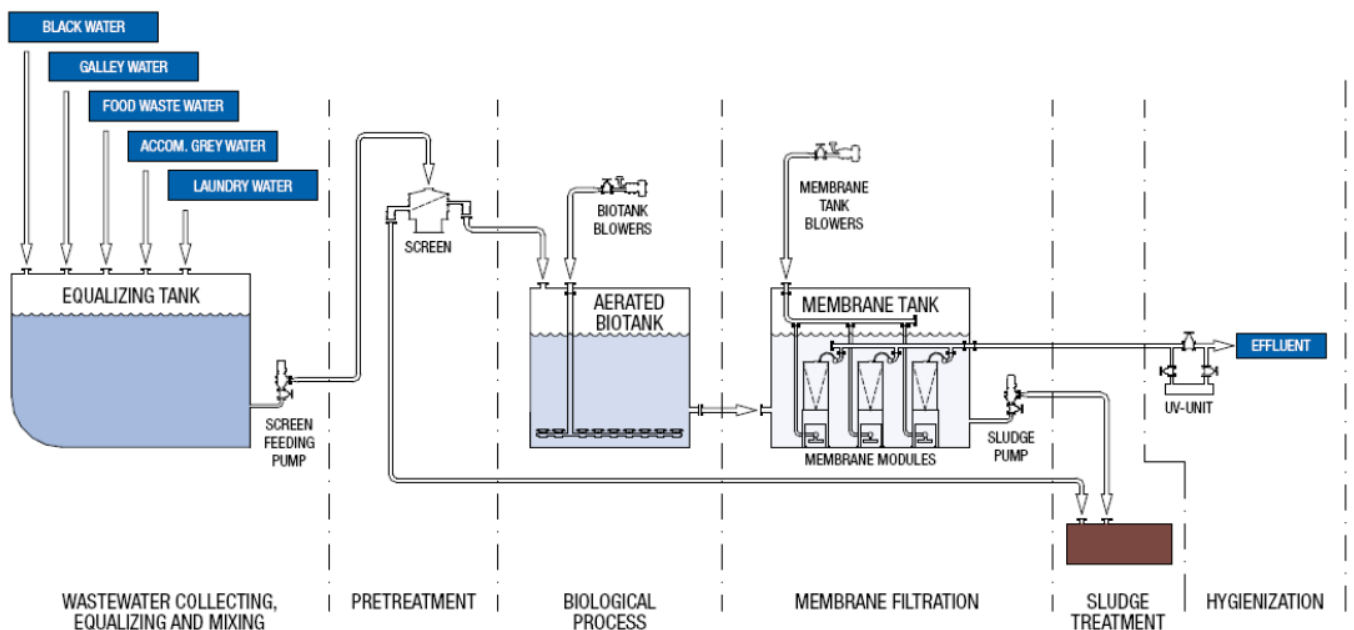


Kuva 12. Ultraviolettivalaisimen havainne kuva. (63.)

7.2 Membraanibioreaktori (MBR)

Membraanibioreaktoriprosessi on aktiivilieteprosessin sekä kalvotekniikan yhdistelmä. Kalvotekniikalla pystytään poistamaan bakteereja ja jopa viruksia, jonka ansiosta desinfiointia ei välttämättä tarvita. Monet yritykset käyttävät kuitenkin membraanisyklyn ja varastotankin välillä ultraviolettivalaisinta, jolla varmistetaan patogeenien poistuminen. Laitoksen puhdistama vesi varastoidaan tankkiin, josta se voidaan pumpata mereen tai ottaa uudelleen käyttöön esimerkiksi pesulavetenä. Prosessissa syntyy vähemmän lietettä, kuin perinteisessä aktiivilietelaitoksessa, jonka vuoksi lietteen kerääminen ja varastoiminen helpottuu. Lopuksi liete toimitetaan satamaan jatkokäsittelyä varten. Kuvassa 13 on esitetty Evac-yhtiön MBR-prosessin eri vaiheet. (64)

Membraanibioreaktoriprosessilla pystytään alittamaan MEPC.227(64) – päätöslauselman asettamat rajat, joten niiden käsiteltyä vettä voidaan laskea mereen myös erikoisalueilla. (37.)



Kuva 13. Evac-yhtiön MBR-laitos. (25.)

7.2.1 Esikäsitely

Esikäsitelyllä pyritään vähentämään kiintoaineen aiheuttamaa kuormitusta kalvolle, jolloin bioreaktorin kokoa voidaan pienentää. Kiinteät esineet, kuten hiukset sekä paperit poistetaan, jotta kalvot eivät pääsisi likaantumisella ja tukkeutumisella aiheutta-

maan prosessin vikaantumista. Tämän lisäksi esikäsittelysää poistetaan käymäläputkiston kautta tulleet vieraat esineet, kuten pyyhkeet ja kumihanskat.

Aluksi mustavesi syötetään tasaussäiliöön ja siihen lisätään harmaata vettä, jolla varmistetaan tasapainoinen virtaus järjestelmässä. Tasaussäiliöstä jätevesi johdetaan tiheiden sihtien tai täryseulan lävitse bioreaktoriin, jolloin jäteveden seasta poistuu suurimmat kiinteät materiaalit. Sihtien reikien koko vaihtelee yleisesti välillä 1 – 3 mm. (65.)

Etenkin keittiöistä peräisin olevan jäteveden seassa kulkee öljyä sekä rasvoja, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia laitoksessa tukkimalla kalvoja sekä suodattimia. Lisäksi ne heikentävät biologisen käsittelyn tehokkuutta ja aiheuttavat hajuongelmia. Rasvojen ja öljyjen pääsy laitoksiin voidaan estää tehokkaasti rasvaseparaattorilla (kuva 14). Rasvaseparaattori voi yksinkertaisimmillaan olla säiliö, johon rasvaa ja öljyä sisältävä jätevesi ohjataan. Säiliössä vettä kevyemmät öljy ja rasva kerääntyvät säiliön yläosaan, josta ne pumpataan säilytystankkiin ja lähes rasvaton sekä öljytön jätevesi poistuu säiliön alaosasta. (65; 66.)



Kuva 14. Yksinkertaisia rasvanerotuslaitteita. (67.)

7.2.2 Bioreaktori

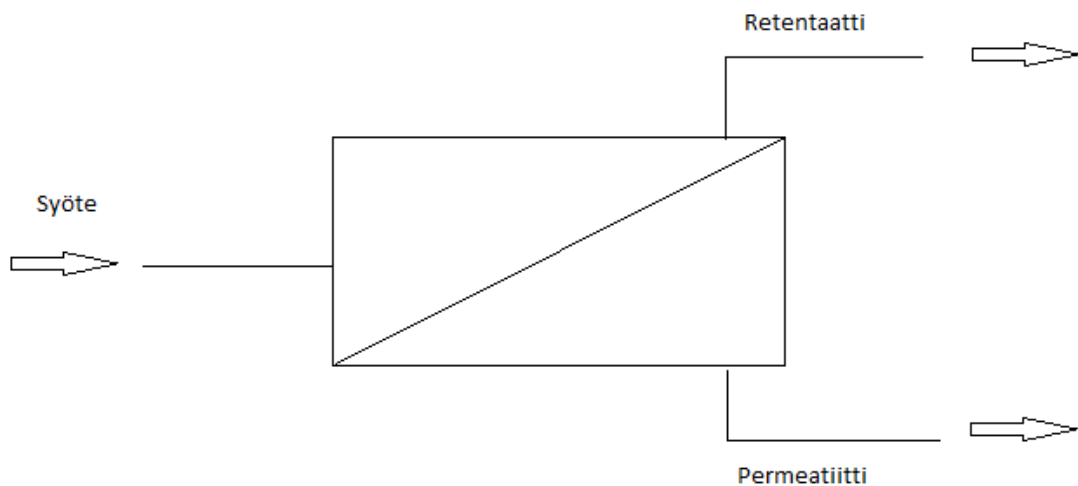
Membraani bioreaktorin biologinen vaihe on samankaltainen kuin aktiivilietelaitoksessa, mutta MBR-prosessissa on kuitenkin joitakin huomattavia etuja.

Prosessin biologisessa vaiheessa orgaanisista aineista, typestä ja fosforista muodostetaan lietettä aktiivilieteprosessin tapaan. Jäteveden hydraulinen viipymä, eli se aika jossa jätevesi kulkee koko prosessin läpi, on kuitenkin huomattavasti lyhyempi verrattuna aktiivilieteprosessiin. Hydraulisen viipymän ollessa vain noin kaksi tuntia, voidaan MBR-prosessissa käyttää huomattavasti pienempiä ilmastusaltaita. MBR-prosessissa pidetään samaa lietettä pidempi aika kuin aktiivilieteprosessia ja tämän vuoksi prosessissa syntyy vähemmän ylijäämälietettä. Lietteen sakeus MBR-prosessissa voi olla jopa $25 - 30 \text{ kg/m}^3$, kun se aktiivilieteprosessissa on ainoastaan $4 - 6 \text{ kg/m}^3$. Membraanibioreaktorissa lietteen laskeutumisominaisuudet ovat merkityksettömiä, toisin kuin aktiivilieteprosessissa jossa esimerkiksi rihmamaiset bakteerit aiheuttavat häiriöitä laskeutumisessa. (68.)

7.2.3 Membraani

Koska liete erotellaan vedestä membraanilla, on lietteen laskeutumisominaisuudet merkityksettömiä. Vesi imetään membraanin läpi pienellä alipaineella, joka takaa membraanille pitkän käyttöiän. Pienen paine-eron vuoksi myös energiankulutus on vähäistä.

MBR-prosessissa käytettävät membraanit, eli ohuet kalvot, erottelevat jätevedestä tietyt kemialliset ja fysikaaliset komponentit kahdeksi erilliseksi virraksi. Membraanisuidatuksen periaate on esitetty kuvassa 15. Kalvon läpäisevää virtaa kutsutaan permeaatiksi ja läpäisemätöntä virtausta retentaatiksi. (68.)



Kuva 15. Membraanisuodatuksen periaate. (68.)

Membraani koostuu suuresta määrästä huokosia. Permeaatin laatu vaihtelee hiukkas-
koon mukaan, joka vaihtelee kymmenestä mikrometrinästä nanometriin. Membraanikal-
vot jaotellaan huokoskoon mukaan viiteen eri tyyppiin:

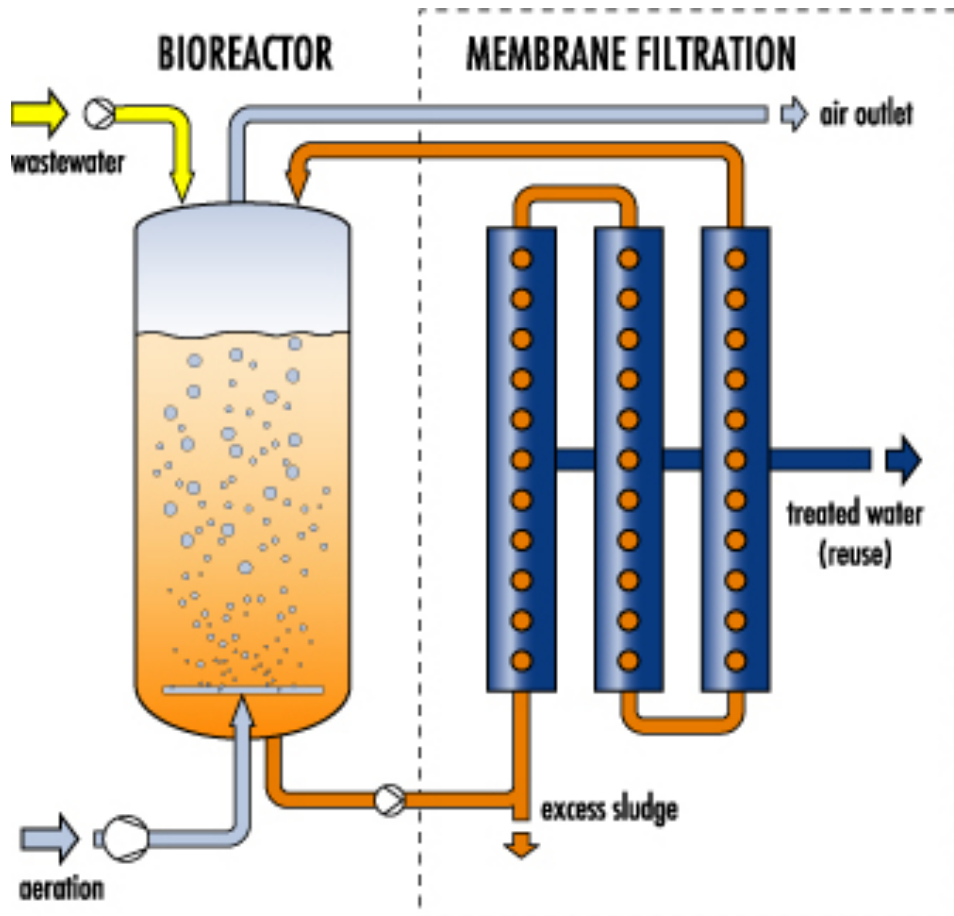
- Karkeasuodatus
- Mikro-suodatus pieneliöiden poistoon
- Ultra-suodatus erikokoisten eloperäisten yhdisteiden poistoon
- Nano-suodatus suurimolekyylisten eloperäisten yhdisteiden sekä joidenkin kahden ja useampiarvoisten ionien ja fluoridin poistoon
- Käänteisosmoosi ionien, kuten suolan, fluoridin, nitriitin ja nitraatin poistoon. (69.)

Huokoskoon pienentäminen parantaa permeaatin laatua, mutta lisää myös energianku-
lutusta, koska permeaatti vaatii suuremman paineen läpäistäkseen membraanin.

Membraanit ovat yleisesti valmistettu polymeeristä tai keraamista. Polymeeriset
membraanit ovat yleisempiä edullisemman hinnan vuoksi. Keraamisten membraanien
etuna on hyvä lämmön- ja kemikaaliensietokyky. Membraanibioreaktorien kalvot voi-
daan asentaa aktiivilietealtaaseen tai niistä voidaan tehdä oma yksikkö erillisessä al-
taassa. Membraaniryksikön jälkeen vesi pumpataan varastotankkiin myöhempää käyt-
töä varten tai suoraan mereen. (68.)

7.2.3.1 Ulkoinen kalvovyksikkö

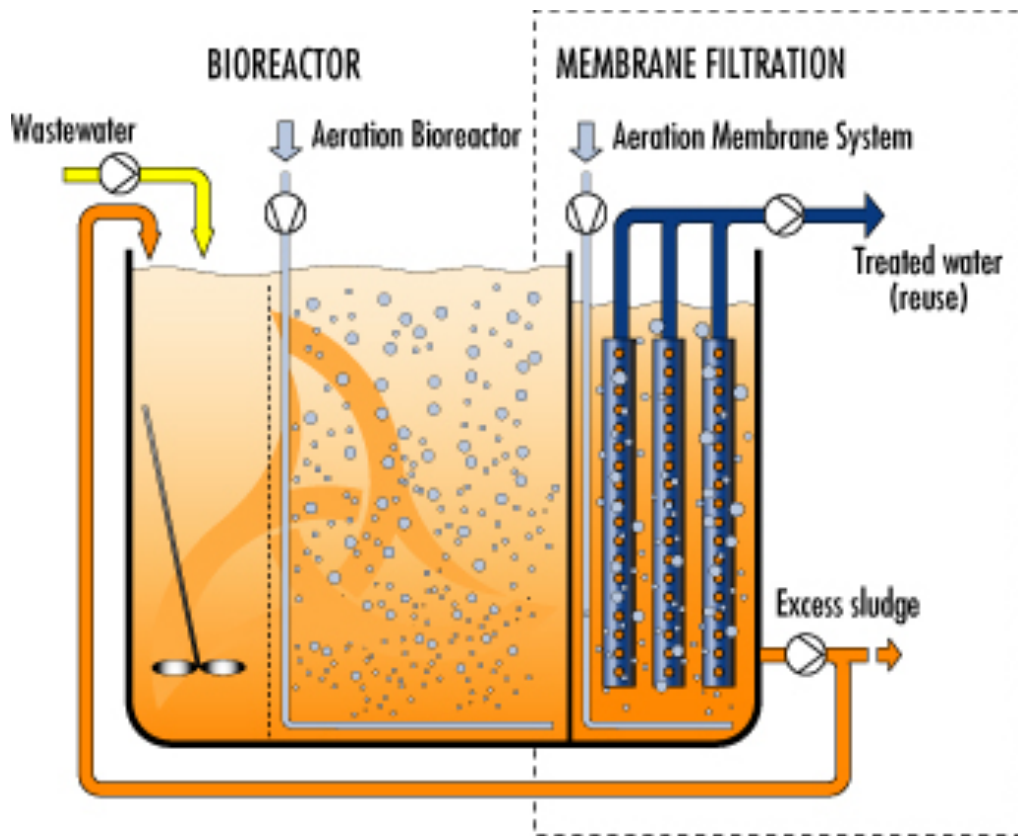
Ulkoisen membraaniyksikön (kuva 16) laitteet ovat huomattavasti helpompia puhdistaa. Membraaniyksikkö erotetaan venttiileillä bioreaktorista, jolloin se voidaan puhdistaa aiheuttamatta häiriötä biomassan toiminnassa. Ulkoista kalvovyksikköä käytetään, kun tarvitaan suuri permeaatin määrä. (68.)



Kuva 16. Triqua-yhtiön ulkoisen kalvovyksikön MBR-laitos. (70.)

7.2.3.2 Upotettu kalvovyksikkö

Upotettu membraaniyksikkö (kuva 17) kuluttaa vähemmän energiaa, sillä bioreaktorin ja membraanin välinen putkisto, jossa syntyy painehäviöitä, jää pois. Upotettu kalvovyksikkö sopii pieniin laitoksiin, jossa on pieni permeaatin määrä. (68.)



Kuva 17. Triqua-yhtiön upotetun kalvovyksikön MBR-laitos. (70.)

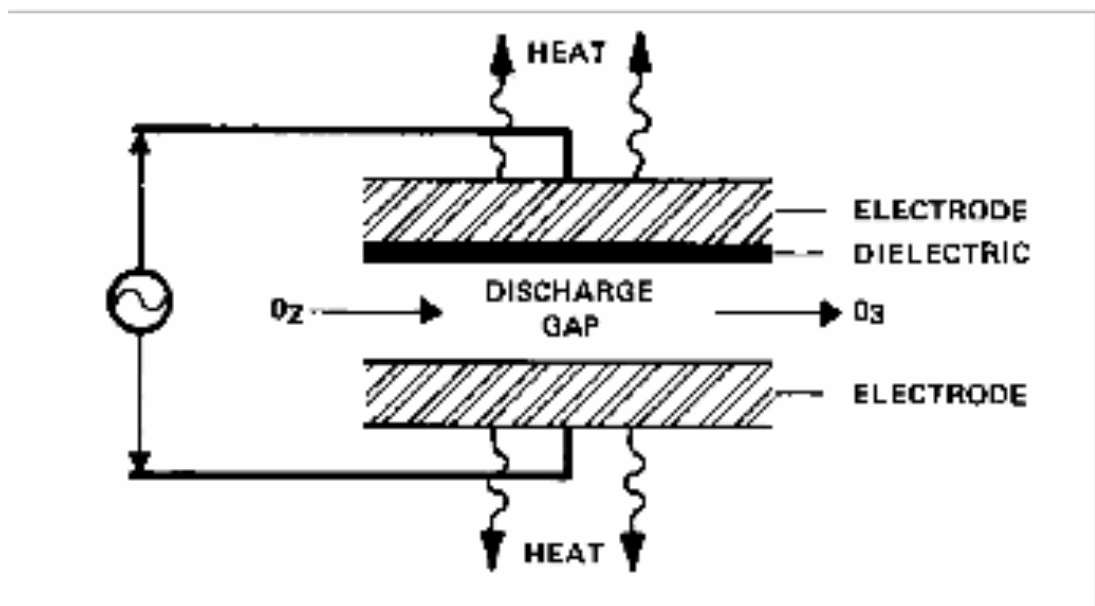
7.3 Otsonin käyttö jätevedenkäsittelyssä

7.3.1 Otsonointiprosessi

Otsonimolekyyli koostuu kolmesta happiatomista ja on erittäin epästabiili, joten se luovuttaa helposti yhden happiatomin, joka tekee siitä erinomaisen hapettimen. Otsonia syntyy luonnossa ilmakehän yläosassa auringon ultraviolettisäteilyn johdosta. Lisäksi sitä syntyy kipinäoinnin tai salamoinnin yhteydessä, jolloin on myös aistittavissa sen vaalean sinertävä väri ja pistävä haju. (71.)

Otsonia tuotetaan otsonaattorissa, joka dissosioi happimolekyyliä (O_2) energialähteen avulla. Dissosiaatiossa osa happimolekyyleistä hajoaa kahdeksi happiatomiksi (O) ja atomien törmätessä happimolekyyliin syntyy epästabiilia otsonikaasua (O_3). Otsonia on tuotettava käyttöpaikalla tarpeen mukaan, koska se on pysymätön kaasu ja näin ollen sen varastoiminen on mahdotonta. (72.)

Yleisimpien otsonaattorien otsonointiprosessi perustuu koronapurkaukseen (kuva 18). Otsonaattorissa on kaksi ilmaraolla ja eristeellä eroteltua elektrodia joihin johdetaan suurjännitteistä vaihtovirtaa. Jännite elektrodien välillä on tyypillisesti 6 – 20 kV AC. Kuivattu ilma tai happi johdetaan ilmarakoon elektrodien väliin, jolloin syntyy koronapurkaus, jonka seurauksena happimolekyylejä hajoaa happiatomeiksi. Happiatomit törmäävät happimolekyyleihin ja tällöin syntyy otsonikaasua. Käytettäessä syöttöaineena ilmaa, on otsonaattorista ulostulevan kaasun otsonipitoisuus noin 0,5 – 3,0 %, kun taas syötettäessä puhdasta happea otsonipitoisuus on 2 – 4 kertaa suurempi. Otsonointiprosessin aikana syntyy lämpöä, jonka takia elektrodeja jäähdytetään joko ilmalla tai vedellä. (72; 73.)



Kuva 18. Koronapurkauksen periaatekuva. (73.)

Otsonin tuottaminen onnistuu myös käyttämällä energialähteenä ultraviolettisäteilyä. Happi tai yleisemmin ilma imetään lyhytaaltoisen ultraviolettivalaisimen ohitse, jolloin happimolekyylit hajoavat ja törmätessään ehjään happimolekyyliin syntyy otsonia. Optimaalinen ultraviolettisäteiden pituus otsonointiprosessissa on suunnilleen 185 nm, kun taas desinfiointiin käytetyn ultraviolettivalaisimien aallon optimipituus on 254 nm. Ultraviolettisäteilyyn perustuva otsonointiprosessi on tehottomampi verrattuna koronapurkaukseen perustuvaan prosessiin. (73.)

7.3.2 Otsonidesinfiointi

Otsonidesinfioinnilla on useita etuja ja ainoastaan vähäisiä haittoja verrattuna klooridesinfiointiin. Otsoni on tehokkaampaa bakteerien sekä virusten tuhoamiseen ja se on huomattavasti nopeatoimisempi, joten kontaktiajat ovat varsin lyhyet. Otsoni desinfiointissa ei synny haitallisia sivutuotteita, jotka pitäisi desinfiointin jälkeen erikseen poistaa. Otsonointi poistaa vedestä hajuja sekä sameutta. Lisäksi se pystyy hapettamaan orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä. Otsonoinnin suurin haittapuoli on sen korkeat hankinta- ja käyttökustannukset. Lisäksi otsoni nopeuttaa korroosiota, joten materiaaleilta vaaditaan hyvää korroosiokestävyyttä. (72.)

Desinfiointi perustuu otsonin erinomaiseen hapetuskykyyn. Otsoni syötetään jäteveden sekaan, jolloin se liukenee ja hajoaa. Hajoamisreaktio on monimutkainen ja samalla monipuolinen. Otsoni reagoi veden yhdisteiden kanssa joko suoraan tai epäsuorasti. Suorassa reaktiossa otsoni reagoi tyydyttämättömien sidosten kanssa, jolloin sidokset jakautuvat. Epäsuorassa reaktiossa otsonimolekyylin hajoamisessa syntyneet epästabiilit hydroksyyli- ja peroksidiradikaalit ottavat puuttuvan elektronin toiselta molekyyliltä, jolloin solu tuhoutuu tai soluseinä vaurioituu. Otsoni on monipuolisen hajoamisreaktionsa johdosta tehokas viruksiin, bakteereihin, patogeeneihin ja sieneliöihin. Vähäiset otsonimäärät eivät ole ihmiselle haitallisia. Suomen Työterveyslaitos on asettanut otsonin HTP-arvoksi 0,05 ppm, kun altistumisjakso on kahdeksan tuntia. (74; 75.)

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä aloittaessani jätevesien käsittely oli minulle teoreettisella tasolla melko vieras asia ja se olikin yksi suurimmista syistä, miksi valitsin tämän päättötyöni aiheeksi. Työtä tehdessäni koen oppineeni paljon jätevesien käsittelystä ja englanninkieltä.

Nykypäivän järjestelmät, kuten MBR ja MBBR laitokset, kykenevät erittäin hyvin poistamaan jätevedestä ympäristölle haitalliset aineet, mutta tiukentuneiden määräysten ja energiansäästö tavoitteiden johdosta uutta tekniikkaa on varmasti tulossa. Jätevesien käsittely tulee siis lähiaikoina kehittymään ja olemaan ajankohtainen aihe jatkossakin.

Mielestäni laivojen aiheuttamat ravinnepäästöt ovat ns. pisara meressä, niin kauan kun maataloudessa käytettävät lannoitteet valuvat sadevesien mukana mereen. Pidän kuitenkin erittäin hyvänä asiana, että säädöksiä on merenkulussa sekä yhteiskunnissa tiukennettu.

Jäteveden pumppaaminen maihin on melko halpaa, johtuen kiinteästä alusjätemaksusta. Suurimmaksi ongelmaksi muodostuukin jäteveden säilöminen, joka vaatii tankkitalaa, mikä puolestaan vähentää rahdin määrää. Nykypäivän jäteveden käsittelylaitteet ovat kooltaan pienempiä ja painoltaan kevyempiä, mikä helpottaa huomattavasti niiden jälkiasennusta. Lisäksi niiden käyttö ja seuranta on helpottunut. Mielestäni säädökset voisivatkin tulevaisuudessa koskea sekä vanhoja että uusia rahtialuksia.

Laivojen painolastivesien laskeminen mereen ilman puhdistusta on nykypäivänä rajoitettu. Painolastivesien puhdistamiseen voidaan käyttää otsonia, joten mielestäni jäteveden sekä painolastiveden puhdistusjärjestelmät voitaisiin täten integroida yhteiseen otsonointijärjestelmään. Tällä hetkellä otsonoinnin ongelmana ovat sen suuret hankinta- ja käyttökustannukset, mutta tekniikan kehittyessä ja kustannusten laskiessa tällainen järjestely voisi tulla kyseeseen.

LÄHTEET

1. Brax, A. 2011. Laivojen jätevedet mereen vai viemäriin. WWF. Saatavissa: <http://wwf.fi/wwf-suomi/viestinta/pandanpolku/juttuarkisto/Laivojen-jatevedet--mereen-vai-viemariin----1058.a> [Viitattu 28.12.2014].
2. WWF. 2014. Itämeren rehevöityminen. Saatavissa: <http://wwf.fi/alueet/itameri/rehevoityminen/> [Viitattu 20.12.2014].
3. Siitonen, A., Sihvonen, L., Pitkänen, T. & Zacheus, O. 2007. Uimiseen liittyvät infektioriskit. Terve Suomi. Saatavissa: <http://demo.seco.tkk.fi/terveysuomi/item/ctl:12776> [Viitattu 5.1.2015].
4. Trafi. Ympäristöasiat. Saatavissa: <http://www.trafi.fi/merenkulku/ymparistoasiat> [Viitattu 20.12.2014].
5. Vesilaitosyhdistys. Puhtaan veden tekijät. Saatavissa: http://www.vvy.fi/files/3740/VVY_puhtaan_veden_tekijat_netti.pdf [Viitattu 22.12.2014].
6. Tegnologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2009. Alusten jätevesipääsöjen ravinnekuormitus Itämerellä vähäinen, mutta ei merkityksetön. Saatavissa: <http://webextra.vtt.fi/news/2009/06252009.jsp> [Viitattu 22.12.2014].
7. Helcom. 2014. Helsinki Convention. Saatavissa: http://helcom.fi/Documents/About%20us/Convention%20and%20commitments/Helsinki%20Convention/Helsinki%20Convention_July%202014.pdf [Viitattu 20.12.2014].
8. Helcom. Saatavissa: <http://www.helcom.fi/about-us> [Viitattu 20.12.2014].
9. Itämeren oppimispolku. Saatavissa: <http://www.itamerenoppimispolku.fi/?p=662> [Viitattu 20.12.2014].
10. Asetus Vuoden 1992 Itämeren alueen merellisen ympäristön suojelua koskevan yleissopimuksen voimaansaattamisesta 2/2000.

11. IMO. Pollution prevention. Saatavissa:
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/OilPollution/Pages/Background.aspx> [Viitattu 21.12.2014]
12. Valtioneuvoston asetus merenkulun ympäristönsuojelusta 28.1.2010/76.
13. Finlex. Merenkulun ympäristönsuojelulaki 29.12.2009/1672.
14. IMO. Status of Conventions. Saatavissa:
<http://www.imo.org/About/Conventions/StatusOfConventions/Pages/Default.aspx>
[Viitattu 21.12.2014].
15. IMO. MEPC.2(VI). Saatavissa:
http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=15319&filename=2%286%29.pdf [Viitattu 21.12.2014].
16. IMO. Prevention of Pollution by Sewage from Ships. Saatavissa:
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Sewage/Pages/Default.aspx> [Viitattu 26.12.2014].
17. IMO. MEPC.159(55). Saatavissa:
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Sewage/Documents/Resolution%20MEPC.159-55.pdf> [Viitattu 26.12.2014].
18. IMO. MEPC.200(62). Saatavissa:
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Sewage/Documents/200%2862%29.pdf> [Viitattu 26.12.2014].
19. IMO. MEPC.227(64). Saatavissa:
<http://www.imo.org/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/227%2864%29.pdf> [Viitattu 26.12.2014].
20. Alaska Department of Environmental Conservation. Permit No. 2013DB0004.
Saatavissa:

http://dec.alaska.gov/water/cruise_ships/gp/2014/2014GP_FactSheet_2013DB0004_Rev1.pdf [Viitattu 19.1.2015].

21. Alaska Department of Environmental Conservation. Permit No. 2013DB0004.

Saatavissa:

http://dec.alaska.gov/water/cruise_ships/gp/2014/2014GP_2013DB0004.pdf [Viitattu 19.1.2015].

22. Vesilaitosyhdistys. Puhdistamoliete. Saatavissa:

http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/liete [Viitattu 27.12.2014].

23. Jätevesitieto toiminnaksi. Lainsäädäntö. Saatavissa:

http://www.jatevesitieto.fi/jatevesilaki_ja_jatevesiasetus.html [Viitattu 28.12.2014].

24. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2015. Vesihuollon taksat. Saatavissa:

https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/HSY_vesihuollon_taksa2015.pdf [Viitattu 19.1.2015].

25. Kobojević, Ž. & Kurtela, Ž. Comparison of Marine Sewage Treatment Systems.

Julkaisu. University of Dubrovnik. Saatavissa:

https://bib.irb.hr/datoteka/570916.COMPARISON_OF_MARINE_SEWAGE_TREATMENT_SYSTEMS.pdf [Viitattu 28.12.2014].

26. Marpol 73/78. Annex IV. Saatavissa:

http://www.mpa.gov.sg/sites/circulars_and_notices/pdfs/shipping_circulars/mc03-18a.pdf [Viitattu 20.1.2015].

27. Saavalainen, H. 2014. Venäjä torppaamassa kiellon tyhjentää alusten jätevedet

Itämereen. Helsingin Sanomat. Saatavissa:

<http://www.hs.fi/kotimaa/a1418188659671> [Viitattu 20.1.2015].

28. Helcom. Baltic Sea Sewage Port Reception Facilities. 2014. Saatavissa:

<http://helcom.fi/Lists/Publications/Baltic%20Sea%20Sewage%20Port%20Reception%20Facilities.%20HELCOM%20Overview%202014.pdf> [Viitattu 20.1.2015].

29. Port of Helsinki. Jätteidenkäsittelyn ohjeet. Saatavissa:
http://www.portofhelsinki.fi/aluksille/satamapalvelut/jatteidenkasittelyn_ohjeet
[Viitattu 20.2.2015].
30. Helcom. Overview on port reception facilities for sewage in the baltic area and related trend in passenger traffic. 2013. Saatavissa: <http://helcom.fi/Documents/4-16-Rev1%202013%20HELCOM%20overview%20on%20PRF%20and%20passenger%20traffic.pdf> [Viitattu 21.1.2015].
31. Merenkulun ympäristönsuojelulaki 29.12.2009/1672.
32. Chen, W. 2012. Wärtsilä Hamworthy opts for separate treatment of grey water. Artikkel. Saatavissa: <http://www.wartsila.com/fi/hamworthy-opts-for-separate-treatment-of-grey-water> [Viitattu 5.1.2015].
33. Raekangas, R. 2010. Laivaan jälkiasennettavan vedenpuhdistusjärjestelmän projektionnin esisuunnittelu. Opinnäytetyö: Tutunammattikorkeakoulu.
34. IMO. MEPC.227(64). Saatavissa:
[http://www.imo.org/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/227\(64\).pdf](http://www.imo.org/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Documents/MEPC%20-%20Marine%20Environment%20Protection/227(64).pdf) [Viitattu 5.1.2015].
35. Suomen Varustamot. Käymäläjätevedet. Saatavissa:
<http://www.shipowners.fi/fi/ymparisto/vesiensuojelu/alusten+kaymalajatevedet/>
[Viitattu 5.1.2015].
36. DNV. 2012. Revised MARPOL annex V. Artikkel. Saatavissa:
http://www.dnv.com/industry/maritime/publicationsanddownloads/publications/newsletters/technical_regulatory/2012/revised_marpol_annex_v_regulations_for_the_prevention_of_pollution_by_garbage_from_ships.asp [Viitattu 5.1.2015].
37. Jokela, J. Evac Oy. Laivojen jätevesien kästtely. Saatavissa:
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kul-24.4410/materiaali/Kul-24_4410_ymparistokurssi_jokela.pdf [Viitattu 6.1.2015].

38. United States Environmental Protection Agency. Wastewater Technology Fact Sheet. Saatavissa: http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_final_sgrit_remove.pdf [Viitattu 22.1.2015].
39. Kinnunen, J. 2013. Jätevedenpuhdistus rinnakkaissaostuksella – esimerkkinä Kinnulan jätevesipuhdistamo. Opinnäytetyö: Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
40. Nathanson, J. 2014. Encyclopedia Britannica. Saatavissa: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/666611/wastewater-treatment/72354/Primary-treatment> [Viitattu 22.1.2015].
41. Renkonen, M. 2014. Esisaostuksen mahdollisuudet aktiivilieteprosessin kuormitusvaihteluiden hallinnassa. Diplomityö: Aalto-yliopisto Kemian tekniikan korkeakoulu.
42. Netrauta. Saatavissa: <http://www.netrauta.fi/saostuskemikaali-biokem-ferrisulfaatti-30l> [Viitattu 23.1.2015]
43. Leino, N. 2008. Puhdistetun jäteveden patogeeneit ja desinfiointitarve. Diplomityö: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
44. United States Environmental Protection Agency. 2008. Cruise Ship Discharge Assessment Report. Saatavissa: http://water.epa.gov/polwaste/vwd/upload/2009_01_28_oceans_cruise_ships_section2_sewage.pdf [Viitattu 28.12.2015].
45. Victor Marine. Tuote-esite. Saatavissa: <http://www.walco-me.com/new-content/Datasheets/FBBRDataSheet-2012v2.pdf> [Viitattu 28.12.2014].
46. Masino. Tuote-esite. Saatavissa: http://www.masino.fi/wp-content/uploads/2013/06/Maseraattori-Data-796458_ALL_pumps_DGB-ID-2908.pdf [Viitattu 19.1.2015].
47. Allweiler. Tuote-esite. Saatavissa: <http://www.allweiler.fi/fi/maseraattori> [Viitattu 19.1.2015].

48. Kukkonen, M. 2012. Happigeneraattorin käyttö esi-ilmastuksessa Savon Sellun jätevedenpuhdistamolla. Opinnäytetyö: Savonia-ammattikorkeakoulu.
49. Very Popular Images. Saatavissa: <http://verpoim.blogspot.fi/2011/08/tube-settlers-offer.html> [Viitattu 7.1.2015].
50. United States Environmental Protection Agency.1999. Agency.Chlorine Disinfection. Saatavissa: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_chlo.pdf [Viitattu 23.1.015].
51. Vesitalous. 4/2007. Saatavissa: <http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/02/4-2007.pdf> [23.1.2015].
52. United States Environmental Protection Agency. 2000. Dechlorination. Saatavissa: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_dechlorination.pdf [Viitattu 23.1.2015].
53. Nagmarine. Tuote-esite. Saatavissa: <http://www.nagmarine.com/products/watertreatment/biological-sewage-treatment.html> [Viitattu 7.1.2015].
54. Haimi, H. 2008. Kirjallisuusselvitys Espoon veden jätepuhdistamohankkeen vaihtoehtoisista vesiprosesseista. Espoo: Teknillinen korkeakoulu Vesihuoltotekniikka.
55. Evac. Tuote-esite. Saatavissa: http://www.evac.com/sites/default/files/attachments/EVAC_MBBR-leaflet_280814_HR.pdf [Viitattu 7.1.2015].
56. Direct Industry. Tuote-esite. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/anoxkaldnes-ab/moving-bed-biofilm-reactors-89321-919221.html> [Viitattu 8.1.2015].
57. Isomäki, E., Valve, M., Kivimäki, A. & Lahti, K. 2007. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta, ympäristöopas. Vammala: Suomen ympäristökeskus.

58. The Pure Water occasional. 2012. Artikkelin. Saatavissa:
<http://purewateroccasional.net/newnewsletter35.html> [Viitattu 6.2.2015].
59. United States Environmental Protection Agency. 1999. Ultraviolet Disinfection.
http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_uv.pdf [Viitattu 18.2.2015].
60. Grace International. Saatavissa: <http://www.graceintl.in/uvc.htm> [Viitattu 18.2.2015].
61. Evac. Evac standard mbr units for marine, tuote-esite. Saatavissa:
http://www.evac.com/sites/default/files/attachments/Evac_standard_MBR_units_131011_0.pdf [Viitattu 24.1.2015].
62. United States Environmental Protection Agency. Membrane Bioreactors. Saatavissa:
http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2008_01_23_mtb_etfs_membrane-bioreactors.pdf [Viitattu 24.1.2015].
63. Evac. Grease Separator, tuote-esite. Saatavissa:
<http://www.evac.com/product/grease-separators> [Viitattu 24.1.2015].
64. Uson Marine. Saatavissa: <http://usonmarine.se/product/ugs> [Viitattu 26.1.2015].
65. Loukola, J. 2012. Biomembraaniprosessi puunjalostusteollisuuden aerobisessa jäteveden käsittelyssä. Kandidaatintyö: Aalto-yliopisto Kemian tekniikan korkeakoulu.
66. Ympäristöhallinto. Vedenkäsittelymenetelmien toimintaperiaatteet. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B3BE4C95A-2E48-4DC3-B96F-7DFA8806E2C7%7D/77129> [Viitattu 27.1.2015].
67. Triqua. Membrane Bioreactor, tuote-esite. Saatavissa:
[http://www.triqua.eu/Triqua/fs3_site.nsf/adminViewMenu/7B7C9442D9990AAF C12573D00043A4F2/\\$FILE/MBR%20UK%20template.pdf](http://www.triqua.eu/Triqua/fs3_site.nsf/adminViewMenu/7B7C9442D9990AAF C12573D00043A4F2/$FILE/MBR%20UK%20template.pdf) [Viitattu 29.1.2014].

68. Dokuz Eylul University. Disinfection of Wastewater. Saatavissa: <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/acti3.html> [Viitattu 22.2.2015].
69. United States Environmental Protection Agency. 1999. Ozone Disinfection. Saatavissa: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_ozon.pdf [Viitattu 22.2.2015].
70. Smith, W. Principles of Ozone Generation. Watertec Engineering Pty Ltd. Saatavissa: <http://watertecengineering.com/TZ000002%20Principles%20of%20Ozone%20Generation.pdf> [Viitattu 23.2.2015].
71. Castrén, J. 2012. Otsonointiprosessin desinfiointitehon optimointi talousveden valmistuksessa. Diplomityö: Tampereen teknillinen yliopisto.
72. Työterveyslaitos. Otsoni. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhtaudet/otsoni/Sivut/default.aspx [Viitattu 23.2.2015].