

Miika Erkheikki

Membraanitekniikka ja jätevedet aluksilla

Opinnäytetyö
Merenkulun koulutus

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät Miika Erkheikki	Tutkinto Merenkulun Insinööri (AMK)	Aika Joulukuu 2019
Opinnäytetyön nimi Membraanitekniikka ja jätevedet aluksilla		42 sivua 2 liitesivua
Toimeksiantaja XAMK, Logistiikan ja merenkulun TKI, Justiina Halonen		
Ohjaaja Joel Paananen		
Tiivistelmä <p>Tässä työssä tarkastellaan jätevesien käsittelyn vaatimuksia Itämerellä liikennöiville aluksille ja tutkittiin vaikuttaako MARPOLin liite IV:n uudet vaatimukset, matkustaja-aluksia alueella liikennöivien varustamoiden toimintaan. Tutkimus keskittyi mustanveden eli käymäläjäteveden käsittelyn vaatimukseen ja suoritettiin kyselytutkimuksena varustamoille.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään membraani eli kalvosuodatusteknologiaa tarkoituksena käydä kattavasti lävitse eri suodatustekniikat. Membraanit jaotellaan neljään pääryhmään perustuen kalvojen huokoskokoon: käänteisosmoosiin, mikro-, ultra- ja nanosuodatukseen. Työssä käsitellään eri membraanien erot, ominaisuudet ja käyttötarkoitukset. Tarkoituksena teoriaosuudessa oli luoda selkeä tietopaketti membraanien käytöstä alkaen itse kalvoista ja jatkuen moduulien kautta membraanien likaantumisen käsittelyyn ja membraanibioreaktoriin. Likaantuminen on kalvosuodatuksessa suurin yksittäinen haittatekijä, joka nostaa käyttökustannuksia ja heikentää suodatuksen tehokkuutta. Teoriaosuuden ulkopuolelle rajattiin membraanitekniikan käyttö kaasujen suodatukseen ja keskityttiin jäteveden puhdistukseen.</p> <p>Tähän opinnäytetyöhön kuuluvan kyselytutkimuksen vastausten perusteella, voidaan tulkita uusien lainsäädännöllisten rajoitusten vaikuttavan Itämerellä kulkevien matkustaja-aluksien jätevesien käsittelyyn.</p>		
Asiasanat membraani, membraanibioreaktori, Itämeri, jätevesi		

Author (authors)	Degree	Time
Miika Erkheikki	Bachelor of Engineering	December 2019
Thesis Title		
Membrane technology and wastewater on vessels		42 pages 2 pages of appendices
Commissioned by		
XAMK, Seafaring and Logistics TKI, Justiina Halonen		
Supervisor		
Joel Paananen		
Abstract		
<p>The objective of this bachelor's thesis is to review requirements for wastewater treatment on passenger ships operating in the Baltic Sea area. The aim was to determine if the new regulations of MARPOL annex IV will have an impact on shipping companies operating passenger ships in the area. The study focused on sewage treatment requirements under the new regulations, and was conducted by sending a survey to the shipping companies.</p> <p>The theory part of the thesis examines membrane technology with an objective of comprehensively summarizing different processes where membranes are used. Membranes were divided into four different main groups: reverse osmosis, micro-, ultra- and nanofiltration. Categorization was based on membrane pore size. The study examined the properties, applications and differences between these four membrane types. The purpose of the theory section was to create a concise information package on the use of membranes, including membranes themselves, modules, fouling and membrane bioreactors. Fouling is the greatest disadvantage in membrane filtration processes because it raises operational costs and decreases effectiveness of filtration. The study concentrated on wastewater treatment, and membrane gas filtration was not examined.</p> <p>Based on the results of the survey conducted in this thesis study, new regulations will have an impact on sewage treatment for passenger ships traveling in the Baltic Sea area.</p>		
Keywords		
membrane, membrane bioreactor, the Baltic Sea, wastewater		

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 JÄTEVESIEN KÄSITTELY LAIVOILLA.....	6
3 MEMBRAANITEKNIikka	7
3.1 Mikro-suodatus ja ultrasuodatus	10
3.2 Käänteisosmoosi	12
3.3 Nanosuodatus.....	14
3.4 Membraanimuodut	15
3.4.1 Flat-Plate-moduuli	16
3.4.2 Spiral-Wound-moduuli.....	16
3.4.3 Tubular eli putkimainen moduuli.....	17
3.4.4 Hollow-Fibre eli onttokuitumoduuli	17
3.5 Membraanien likaantuminen ja puhdistaminen.....	18
4 MEMBRAANIBIOREAKTORI.....	19
4.1 Typen ja fosforin puhdistus	21
4.2 Membraanibioreaktorin kunnossapito	22
5 JÄTEVESILAINSÄÄDÄNTÖ ITÄMERELLÄ.....	25
5.1 MARPOL Liite IV Alusten käymäläjätevedet	26
6 TUTKIMUS	30
6.1 Kysely	30
6.1.1 Kyselyn lähtökohdat ja oletukset	31
6.2 Kyselyn sisältö.....	31
7 VASTAUSTEN ANALYSOINTI	31
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	37
TAULUKKOLUETTELO	38
KUVALUETTELO.....	39
LÄHTEET.....	41

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

GT	Gross tonnage eli aluksen bruttovetoisuus
IMO	International Maritime Organization
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships eli kansainvälinen yleissopimus alusten aiheuttaman pilaantumisen ehkäisemiseksi
MF	Microfiltration eli mikro-suodatus
NF	Nanofiltration eli nano-suodatus
Permeaatti	Puhdistettu vesi
Polymeeri	Molekyyli, jossa useat pienet molekyylit ovat liittyneet toisiinsa, esimerkiksi muovi
Retentaatti	Suodattumaton aines
RO	Reverseosmosis eli käänteisosmoosi
Suspensio	Nesteeseen sekoittunut kiinteä aines
TMP	Membranin paine-ero (eng. Trans Membrane Pressure)
UF	Ultrafiltration eli ultrasuodatus
PRF	Port Reception Facilities

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on jätevesien käsittelyn vaatimukset Itämerellä liikennöiville aluksille, ja siinä tutkitaan, vaikuttaako MARPOLin liite IV:n 2019–2023 voimaan tulevat vaatimukset matkustaja-aluksia alueella liikennöivien varustamoiden toimintaan. Tutkimus keskittyy niin sanotun mustanveden eli käymäläjäteveden käsittelyn vaatimuksiin.

Työn teoriaosuudessa keskitytään käsittelemään membraaniteknologiaa, eli kalvosuodatustekniikka, veden käsittelyssä sisällyttäen membraanibioreaktorit mukaan. Aiheesta löytyy vielä vain vähän tieteellistä tietoa Suomeksi, joten lähteinä toimii pääasiassa ulkomaalaiset julkaisut ja kirjat. Membraaniteknikan käsittelyssä keskitytään tarkoituksella jätevesien käsittelyyn ja esimerkiksi kaasujen suodatus membraaneja käyttäen rajataan aiheen ulkopuolelle. Membraaniteknologia on itsessään monikäyttöinen, koska se soveltuu esimerkiksi tehtaiden jäteveden puhdistukseen, mutta myös lääketeollisuuden vaatimusten mukaiseen veden puhdistamiseen ja suolapitoisen veden juomakelpoiseksi suodattamiseen.

Itämerellä alusten päästöihin keskittyvää lainsäädäntöä käydään työssä lävitse, koska lainsäädäntö on suurin vaikuttava tekijä päästöjen kontrolloinnissa sekä uuden ja puhtaamman tekniikan kehittämisen motivaattorina.

2 JÄTEVESIEN KÄSITTELY LAIVOILLA

Jätevesien käsittelyn tarvetta laivoilla säännellään kansainvälisten sopimusten avulla, tarkoituksena estää ylimääräisten saasteiden pääseminen mereen. Jätevesistä tulevat saasteet, kuten typpi ja fosfori, aiheuttavat rehevöitymistä, veden laadun heikkenemistä ja merieliöiden kuolemista. Suurin yksittäinen laivojen päästöjä sääntelevä yleissopimus on IMO:n International Convention for the Prevention of Pollution from Ships eli MARPOL 73/78. Sopimuksessa on merenkulun aiheuttamien saasteiden ja meriympäristön pilaantumisen ehkäisyyn liittyviä määräyksiä ja sopimukseen kuuluu tällä hetkellä kuusi teknisiä

määräyksiä sisältävää liitettä. Itämeren alueelle vuonna 1974 tehtiin yleissopimus, mikä keskittyy pelkästään Itämeren suojeluun ja samalla perustettiin Helsinki Commission (HELCOM), jonka jäsenmaihin kuuluvat Itämeren rannikkovaltiot. Laivojen päästöt ovat laskeneet tasaisesti ja suurin osa saasteista Itämereen tulee maatalouden puolelta. Tekniikan sekä säädösten kehittyessä päästään koko ajan pienempiin päästöihin merenkulun puolella.

Jätevesien käsittelyyn laivoilla käytetään jätevesienkäsittelylaitoksia, kuten MBBR (Moving Bed Bio Reactor), FBBR (Fixed Bed Bio Reactor), aktiivilietelaitos ja MBR (Membrane Bio Reactor). Alusten viemäriverdet jaetaan harmaaseen- mustaan- ja pesulavesijärjestelmiin. Harmaaksi vedeksi lasketaan peseytymisessä, astioidenpesussa ja pyykinpesussa syntyvät jätevedet, eikä harmaan veden päästöjä säännellä tällä hetkellä lainsäädännöllisesti. Musta- eli käymäläjätevesi, on kaikki käymälöistä, lääkintätiloista, sekä tiloista, joissa on eläimiä, tuleva jätevesi. Mustan veden mereen päästämistä säätelee MARPOLin liite IV ja MEPC 159(55) meriympäristön suojelukomitean päätöslauselma. Käsitellyn käymäläjäteveden pitää päästä seuraaviin päästönormeihin:

- Kuumaa sietävien kolibakteerien määrä enintään 100/100 ml
- Lietteessä olevan kiintoaineen määrä enintään 35 mg/l
- Biokemiallisen hapen (BOD₅) kulutus ei ylitä 125 mg/l
- Kemiallisen hapen (COD) kulutus ei ylitä 125 mg/l
- Klooria enintään 0,5 mg/l
- pH arvo 6,0–8,5

3 MEMBRAANITEKNIikka

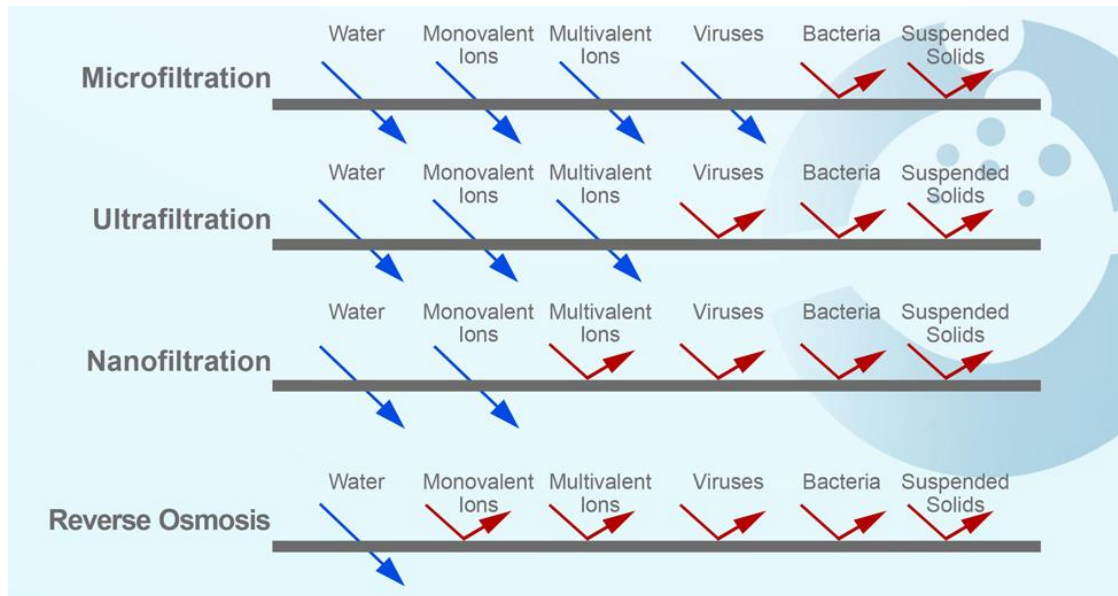
Membraanitekniikkaa käytetään nykypäivänä kasvavissa määrin veden ja jäteveden puhdistamiseen. Membraanisuodatuksen perusteena on mikrohuokoisia materiaaleja hyväksikäyttäen erotella paineistetusta vedestä kolloidiset, liuenneet ja hiukkasmaiset jatkoaineet.

Membraanisuodatuksessa käytetään kahta eri toimintatapaa, poikkivirtausta ja ns. umpikujasuodatusta. Poikkivirtaussuodatuksessa syöttövesi kulkee rinnak-

kaissuuntaisesti membraanin kanssa ja vain pieni osa vedestä läpäisee membraanin paineen avustuksella, jolloin loppuosa vedestä kierrätetään takaisin syöttövedeen. Epäpuhtauksien kertyminen membraanin pinnalle on poikkivirtaussuodatuksessa vähäistä, koska virtaus vain lähinnä pyyhkäisee membraanin pinnan ylitse, jolloin myös permeaatin virtaus pysyy korkealaatuisena. Umpikujasuodatuksessa syöttövesi virtaa membraanin lävitse kohtisuorasti ja epäpuhtaudet kertyvät membraanin pinnalle. Epäpuhtauksien kerrostuessa membraanin pinnalle myös membraanin läpäisevä virtaus heikentyy ja kalvo likaantuu. Membraanikalvoja joudutaan aika ajoin puhdistamaan kemikaaleilla tai vastavirtahuuhtelulla epäpuhtauksien poistamiseksi kalvon pinnalta, jotta permeaatin läpivirtaus saadaan pysymään halutulla tasolla. (Zhang ym. 2012, 49.)

Membraanit on jaoteltu neljään pääryhmään niiden polymeerihuokosten koon perustuen: mikrosuodatus (MF), ultrasuodatus (UF), käänteisosmoosi (RO) ja nanosuodatus (NF). Mikrohuokoisten materiaalien käyttäminen suodatuksessa perustuu materiaalien niin sanotusti puoliläpäisevyyteen, eli riippuen käyttötarkoituksesta toiset ainesosat pääsevät kalvon lävitse helposti ja toisille ainesosille kalvo on lähes läpäisemätön kuvan 1 mukaisesti. (Zhang ym. 2012, 42.)

Membraaniprosessien jaottelun kriteereinä vaikuttavat esimerkiksi kalvon huokoskoko, käytettävä paine, molekyylipainon raja (MWCO), halutut poistettavat materiaalit ja käsiteltävän veden laatu. (Mackenzie 2011, 98–100.)



Kuva 1. Membraanikalvojen erot

Mikrosuodatuksessa käytetään suurinta huokoskoko (0,1–10 μm) ja yleisimmin sillä pyritään erottelemaan kohteesta suspendoituneet hiukkaset, suuret kolloidit sekä bakteerit, eli mikrosuodatus soveltuu hyvin samean ja vähäisen orgaanisen sisällön omaavan veden käsittelyyn. Ultrasuodatuksessa huokoskoko on 0,001–0,1 μm , eli pienempi kuin mikrosuodatuksessa, jolloin pystytään suodattamaan makromolekyylit ja hienojakoiset kolloidiset suspensiot, kuten väriaineet ja proteiinit. Nanosuodatuksessa huokoskoko on 0,001–0,01 μm ja se soveltuu veden pehmentämiseen ja desinfiointin sivutuotteiden (DBP) poistamiseen vedestä. Käänteisosmoosissa käytetään kaikista pienintä porekoko (<0,001 μm), jolloin luonteva käyttötarkoitus on suolan ja pienen molekyylipainon omaavien saasteiden poisto vedestä ja jätevesistä. (Zhang ym. 2012, 42.)

Membraaniprosessin hinta määräytyy kohteena olevien epäpuhtauksien koon mukaan. Pienempien molekyylien erottelu on hankalampaa, jolloin se myös maksaa enemmän. Prosessien kustannuksista johtuen MF ja UF ovat suosittuimpia ja laajemmin käytössä ja välillä niitä myös käytetään esikäsittelyssä ennen RO- ja NF-suodatuksia. Käytetyt paineet näkyvät taulukossa 1. (Zhang ym. 2012, 43.)

Taulukko 1. Kalvojen ominaisuudet (Zhang ym. 2012, 43.)

Membraani operaatio	Liikkeelle paneva voima	erotusmekanismi	MWCO (Da)	Huokosten koko (µm)	Käyttöpaine (psi)
MF	Paine	Seulonta	>100 000	0,1–10	1–30
UF	Paine	Seulonta	>2000– 100000	0,01–0,1	3–80
NF	Paine	Seulonta + Liukeneminen/Diffuusio + Syrjäyttäminen	300–1000	0,001–0,01	70–220
RO	Paine	Liukeneminen/Diffuusio + Syrjäyttäminen	100–200	<0,001	800–1200

3.1 Mikro-suodatus ja ultrasuodatus

Mikro-suodatusta ja ultrasuodatusta käytetään suspendoituneen kiintoaineksen erotteluun vedestä ja pienimolekyyllipainoisten yhdisteiden erotteluun. Mikro-suodatuksen ja ultrasuodatuksen käyttö keskittyy vesipitoisten nesteiden käsittelyyn ja käsittelyn tavoitteet on määritelty kolmeen osaan. Epäpuhtauksien poisto, tarpeellisten aineiden, kuten entsyymeiden säilyttäminen ja keskittäminen, sekä näiden tärkeiden aineiden puhdistus bakteereista ja muista haitallisista eliöistä. (Li ym. 2008, 102.)

MF- ja UF-suodatuksessa huokoskoot ovat isompia ja käytettävä paine pienempi verrattuna NF- ja RO-suodatustapoihin, mikä ei tarkoita, että ne olisivat huonompia suodatuskeinoja. Teollisessa käytössä haluttu käyttökohde määrittää membraanin valinnan, ja jos epäpuhtauden poistamisen lisäksi halutaan säilyttää tietyt hyödylliset ainesosat, ei pienin mahdollinen porekoko palvelisi käyttötarkoitusta. Taloudellisen tehokkuuden näkökulmasta MF ja UF ovat taloudellisempia suodatustapoja, kuin NF ja RO. (Li ym. 2008, 102.)

$$\text{Taloudellinen tehokkuus} = \frac{\text{Veden läpäisevyys} \times \text{Elinaika}}{\text{Hinta}} \quad (1)$$

Taloudellisesti tehokas membraanitekniikka lisää tekniikan käyttämistä teollisuuden tarpeissa ja tärkeimmät tekijät siihen pääsemiseksi ovat:

- Huokosten tukkeutumisen estäminen
- Mekaaninen voima eli paineen kestäminen yms.
- Kemikaalien kestävyys, koska yleisimmin puhdistus suoritetaan kemikaaleja käyttämällä (Li ym. 2008, 102.)

Mikrosuodatuksessa ja ultrasuodatuksessa ideaaliolosuhteet muodostuvat vaakan tilan virtauksesta ja laminaarisesta virtauksesta, jolloin membraanin läpi kulkeva virtaus J , ideaaliolosuhteiden vallitessa, voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$J = \frac{\epsilon d_p^2 \Delta P}{32 \Delta x \mu} \quad (2)$$

ϵ = Kalvon pintahuokoisuus

d_p = Huokoshalkaisija

ΔP = Membraanin paine

Δx = Membraanin huokosten pituus

μ = Nesteen viskositeetti

Mittaamalla toiminnassa olevan laitoksen virtausmääriä eri paineilla, eri liuenteilla pitoisuuksilla ja eri poikkivirtausnopeuksilla, pystytään virtauksen vastus määrittämään ja löydetään optimaaliset parametrit käytössä olevaan operaatioon. (Zhang ym. 2012, 87.)

Mikro- ja ultrasuodatuksessa on käytössä kolme eri muotoista ja tyyppistä membraanikalvoa.

1. Litteä levymäinen kalvo
2. Ontto-kuitu kalvo, jonka halkaisija on alle seitsemän millimetriä
3. Ontto putkimainen kalvo, jonka halkaisija on useita senttimetrejä. (Li ym. 2008, 104.)

Tyypillisimmin MF ja UF membraanin materiaalina käytetään orgaanisia polymeerejä, kuten PVDF tai selluloosa-asetaattia. Taulukossa 2 näkyy eri membraani materiaalien ominaisuuksia. (Mackenzie 2011, 45.)

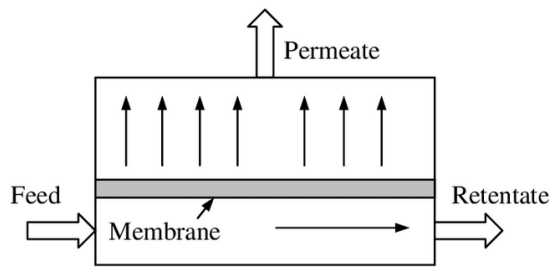
Taulukko 2. Membraani materiaalien ominaisuudet (Mackenzie 2011, 99.)

Membraani materiaali	Tyyppi	Hapettumisen sietokyky	pH väli	Lian kestävyys/puhdistettavuus
PVDF	MF/UF	Erittäin korkea	2–11	Erinomainen
PP	MF	Matala	2–13	Tyydyttävä
PES	UF	Korkea	2–13	Erittäin hyvä
PS	UF	Kohtalainen	2–13	Hyvä
CA	UF	Kohtalainen	5–8	Hyvä

3.2 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi (RO) mahdollistaa ionien poiston liuksesta ja on tällä hetkellä hienojakoisin tiedossa oleva suodatusprosessi. Käänteisosmoosi käyttää puoliläpäisevää membraanikalvoa erottelemaan epäpuhtaudet nesteistä. Käänteisosmoosin prosessissa saadaan paineen avulla liuotin, kuten puhdas vesi, kulkemaan puoliläpäisevän kalvon lävitse väkevämmästä liuksesta laimeampaan päin. Ennen kuin syöttövesi pakotetaan korkeapainepumpun avulla puoliläpäisevän membraanin lävitse, on se hyvä esikäsitellä. Veden esikäsitelyllä poistetaan syöttövedestä kiintoaineet, ettei membraanin pinnalle pääsisi muodostumaan suolan saostumia tai mikrobien kasvua. Uusissa RO-laitoksissa käytetään esikäsitelyyn MF- ja UF-suodatusta, jotta käänteisosmoosille menevästä vedestä saadaan mahdollisimman puhdasta. (Zhang ym. 2012, 56.)

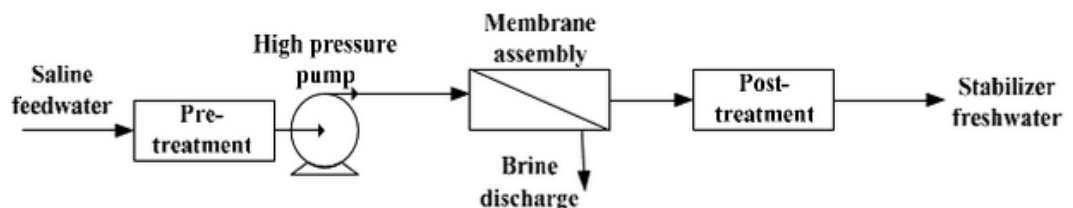
Useimmiten RO-prosesseissa käytetään poikkivirtausmoduuleja (kuva 2), joka estää membraanin likaantumista ja tukkeutumista. Poikkivirtausmoduulissa osa nesteestä kulkee membraanin lävitse ja loput myötävirtaan samalla puhdistuen membraanin pinnalta suuremmat partikkelit kuvan 2.3 mukaisesti.



Kuva 2. Poikkivirtausmoduuli

Tärkeimmät tekijät korkealaatuisen veden tuottamiseksi ovat paine, suolojen määrä syöttövedessä ja suolojen läpäisyvakio membraanilla. Tuotetun veden laadun parantamiseksi helpoin toimenpide on ajaa vesi kahteen kertaan membraanin lävitse. (Zhang ym. 2012, 56–58.)

Käänteisosmoosilaitokseen kuuluu esikäsittely, korkeapainepumppu, membraani ja jälkikäsittely. Prosessi ei vaadi lämmitystä suolojen erottelemiseksi vedestä ja pääasiallinen energian kuluttaja on paineen tuottaminen syöttövedelle. Paineen avulla syöttövesi painetaan membraania vasten, jolloin osa vedestä pääsee membraanin läpi ja lopusta muodostuu suolaliuosta. Suolaliuos poistetaan hallitusti järjestelmästä, jottei membraanin pinnalle muodostu saostumia, ja ettei osmoottinen paine pääse kasvamaan. RO-prosessin korkeimmillaan jopa 10 000 kPa:n vaatima paine tekee prosessista paljon energiaa kuluttavan ja rajoittaa käyttöä verrattuna MF- ja UF-prosesseihin. (Zhang ym. 2012, 56–58.)



Kuva 3. Esimerkki käänteisosmoosijärjestelmästä veden puhdistuksessa

Käänteisosmoosin yleisimmät käyttökohteet ovat:

- Suolan poisto merivedestä eli meriveden juomakelpoiseksi tekeminen
- Suolapitoisen veden käsittely, korkeasti liuenneiden suolojen poisto
- juomavesien lisäpuhdistaminen

- Veden puhdistus lääketeollisuuden vaatimusten mukaiseksi
- Erittäin puhtaan veden tuotto puolijohdeteollisuudelle
- Jäteveden puhdistus uudelleen käytettäväksi (Zhang ym. 2012, 56–58.)

3.3 Nanosuodatus

Nanosuodatuksessa membraanin huokoskoko on pienempi kuin ultrasuodatuksessa, mutta suurempi kuin käänteisosmoosissa. Juomavettä tehtäessä noin 0,001–0,002 μ m. Nanosuodatuksessa käytetään noin 1000–2500 KPa painetta, eli pienempää kuin käänteisosmoosissa. Alun perin nanosuodatus-tekniikkaa on lähdetty kehittämään teollisuuden vaatiessa energiatehokkaampaa versiota käänteisosmoosista. (Li ym. 2008, 271.)

Matala käyttöpaine ja suuremmat huokoskoot tekevät nanosuoduksesta hyvän vaihtoehdon käänteisosmoosille ja ultrasuodatukselle. RO-membraaneihin verrattuna NF-membraanit ovat käytännöllisiä, jos halutaan käyttökohteeseen suurempi virtaus membraanin lävitse matalalla käyttöpaineella. Tyypillisimmät ominaisuudet NF-membraanille ovat korkea hylkivyyden moniarvoisille ioneille (yli 99 %), matala tai kohtalainen hylkivyyden yksiarvoisille ioneille (0–70 %), sekä korkea hylkivyyden orgaanisille yhdisteille (yli 90 %), joiden molekyyli-paino on suurempi kuin membraanin molekyyli-paino. (Li ym. 2008, 271.)

Nanosuodatus membraanit valmistetaan faasi-inversiolla tai rajapintapolymeroinnilla. Faasi-inversio membraanit ovat homogeenisiä ja epäsymmetrisiä, jolloin ne valmistetaan selluloosa-asetaatista tai polysulfonista. Rajapintapolymeroinnilla valmistetut membraanit ovat homogeenisiä ja käytettävä polymeeri valitaan käyttötarkoituksen mukaan. (Li ym. 2008, 273.)

Nanosuodatusyksikön oikeanlaisen toiminnan tärkeimmät ominaisuudet ovat liuottimen tai virtauksen läpäisevyys membraanin lävitse, liuenneen aineen hylkiminen, sekä tuotto ja palautusaste. Palautusasteella tarkoitetaan tässä tilanteessa permeaattivirran suhdetta syöttövirtaan. (Li ym. 2008, 274.)

Jätevesien puhdistukseen nanosuodatus soveltuu erittäin hyvin. NF-prosessilla saadaan puhdistettavasta jätevedestä poistettua lähes kaikki, niin epäorgaaniset, kuin orgaanisetkin saasteet, joten NF-tekniikka soveltuu puhdistukseen, kun tarvitaan korkealaatuista permeaattia.

3.4 Membraanimoduulit

Membraanimoduuli on membraaneista koostuva yksikkö, jonka tarkoitus on tukea suodatettavien nesteiden hallintaa. Moduuli koostuu kotelosta, syötön tuloaukosta, permeaatin ulostulosta ja retentaatin ulostulosta. Yleisimmät moduulityypit ovat flat-plate (levymäinen), spiral-wound (kierremäinen) ja tubular (putkimainen), sekä hollow fibre (onttokuitu) moduulit. (Zhang ym. 2012, 45.) Teollisuuskäytössä membraanisovellutuksissa tarvitaan valtavia määriä membraania ja, ennen kuin itse suodatusprosessi voidaan aloittaa pitää membraani saada tehokkaasti pakattua pieneen tilaan ja näitä paketteja kutsutaan membraanimoduuleiksi. (Baker 2012, 154.)

Moduulin valintaa tehdessä tärkeimmät huomioon otettavat kohdat ovat kustannukset, pitoisuuspolarisaation kontrollointi ja likaantumisen vastustuskyky. Suodatustekniikka ja käyttökohde asettavat rajoitukset siihen, mitä moduuleja voidaan tietyssä käyttökohteessa käyttää. Esimerkiksi meriveden puhdistuksessa käänteisosmoosissa käytetään lähes pelkästään spiral-wound-moduuleja. Taulukossa 3 on listattu eri moduulien ominaisuuksia. (Baker 2012, 168.)

Moduulien tärkeimmät ominaisuudet:

- Ei kuolleita kulmia, joihin liete pääsisi kerääntymään.
- Korkea turbulenssi syöttöpuolella parantaa massansiirtoa ja vähentää likaantumista
- Mekaaninen, kemikaalinen ja lämmön stabiilius
- Matala paineen lasku
- Korkea pakkaustiheys
- Asennuksen vaativuus ja membraanin vaihto
- Puhdistuksen vaativuus
- Energian kulutus käsitellyn veden tilaavuuteen nähden (Li ym. 2008, 219.)

Taulukko 3 Membraani moduulien ominaisuudet (Zhang ym. 2012, 48.)

	Pakkaustiheys	Energian tarve	Likaantumisen	Puhdistus
Flat-Plate	Kohtalainen	Matala tai kohtalainen	Kohtalainen	Kohtalainen
Spiral-Wound	Korkea	Kohtalainen	Kohtalainen tai hyvä	Haastava
Kierremäinen	Matala	Korkea	Hyvä	Hyvä
Onttokuitu	Korkea	Matala	Kohtalaisen hyvä	Vastavirtahuuhdeltu

3.4.1 Flat-Plate-moduuli

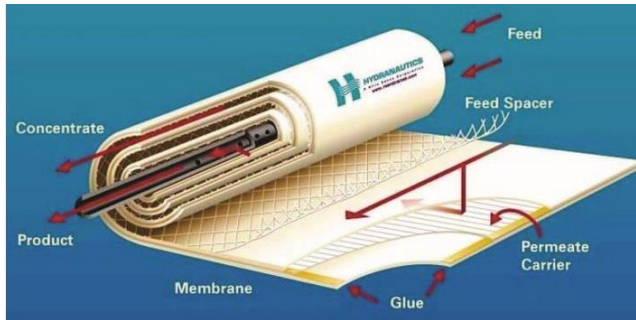
Flat-Plate-moduuleissa tasaiset membraanit on asetettu levyille, joka tarjoaa huokoisen alustan permeaatin ulostulolle. Virtaus kanavat levymoduuleissa ovat ohuudeltaan yhdestä kolmeen millimetriin.



Kuva 4. Flat-Plate-moduuli

3.4.2 Spiral-Wound-moduuli

Spiral-Wound-moduulissa tasaiset kalvot on kierretty keskusputken ympärille ja kalvot erotetaan toisistaan verkkomaisilla välilevyillä.

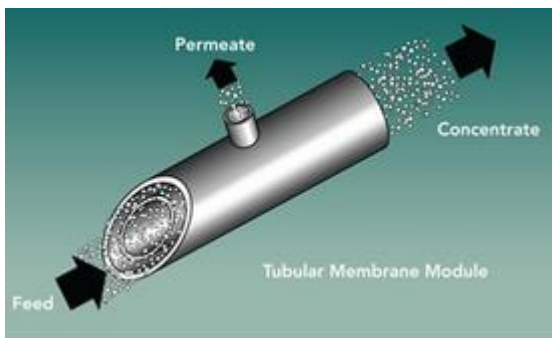


Kuva 5. Spiral-Wound moduuli

Syöttövesi kulkee aksiaalisesti moduulin lävitse ja membraanin läpäisevä permeaatti kulkeutuu ulos moduulin keskustassa olevan keräysputken kautta. Spiral-wound-moduuleja käytetään yleisimmin käänteisosmoosi ja ultrasuodatus prosesseissa. (Baker 2012,162.)

3.4.3 Tubular eli putkimainen moduuli

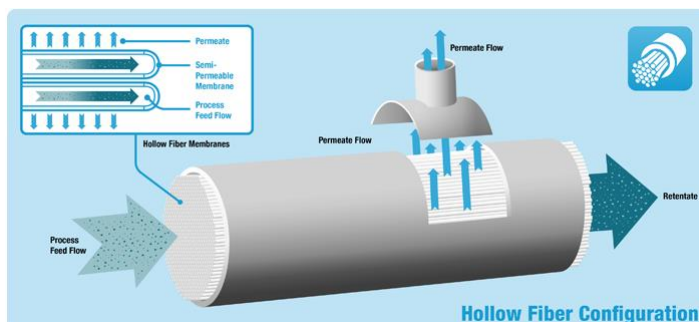
Putkimaisissa moduuleissa membraanit on säilötty useiden putkien sisään. Putket ovat joko sarjaan kytketty tai rinnankytketty toisiinsa. Putkimaisia moduuleita käytetään nykyaikana lähinnä ultrasuodatuksessa.



Kuva 6. Tubular moduuli

3.4.4 Hollow-Fibre eli onttokuitumoduuli

Onttokuidut ovat puoliläpiseviä kuituja, joiden ulkohalkaisija on alle yhden millimetrin ja keskushuokoset alle puolen millimetrin kokoisia. Onttokuidut kootaan "vaippa ja putki" -moduulin sisään, johon mahtuu yhteensä tuhansia kuituja. (Zhang ym. 2012, 47.)



Kuva 7. Hollow-Fibre eli onttokuitu-moduuli

Onttokuitumoduuleita käytetään käänteisosmoosissa, ultrasuodatuksessa ja kaasujen erottelussa.

3.5 Membraanien likaantuminen ja puhdistaminen

Membraanitekniikan käyttämisessä veden puhdistukseen yhdeksi suurimmista haasteista on muodostunut membraanin likaantuminen ja sen huokosten tukkeutuminen. Membraanijärjestelmät toimivat kahdella eri toimintatavalla, joko jatkuvalla transmembraani paineella tai transmembraani vesivirtauksella.

Likaantumisen suurin haitallinen vaikutus on membraanin läpi menevän virtauksen heikentyminen, mikä nostaa järjestelmän energian kulutusta. Membraanin likaantuminen johtaa myös heikompaan liuenneen aineen erotteluun, sekä permeaatin likaantumiseen. Permeaatti alkaa likaantumaan, kun biomassaa hajoaa membraanin pinnalta ja membraanin pinta alkaa heikentyä. Edellä mainittujen tekijöiden takia membraanin käyttöikä laskee likaantumisen myötä. Membraanisuodatusjärjestelmissä esiintyy neljän kaltaista likaantumista: saostumista, kolloidista likaantumista, luonnollisia orgaanisia aineita sekä biosaastumista. (Zhang ym. 2012, 50.)

Luonnollisista orgaanisista aineista huomattavimpia haittoja aiheuttavat kasvi- ja eläinperäisten aineiden hajoamisen yhteydessä syntyvät yhdisteet, kuten humiini ja fulviini. Humiini ja fulviini ovat pinta-aktiivisia aineita ja aiheuttavat nopeasti membraanin pinnalla virran heikentymistä. (Zhang ym. 2012, 51.)

Saostumisesta johtuva likaantuminen johtuu suurimmaksi osaksi epäorgaanisista suoloista, joita esiintyy teollisuuden prosessi- ja syöttövesissä. Yhdisteet

kuten kalsiumsulfaatti ja alumiinihydroksidi saostuvat membraanin huokosraken-teisiin aiheuttaen huokosten likaantumista, sekä tukkeutumista. Kal-siumista johtuvaa saostumista voidaan ennaltaehkäistä lisäämällä kelatoivia aineita syöttövedeen. (Zhang ym. 2012, 51.)

Biosaastuminen voi pahimmillaan hajottaa membraanin pinnan pysyvästi ja vedessä olevien lukuisten erilaisten bakteerien takia biosaastumista on vaikea estää. Monilla bakteereilla on vettähylliviä ominaisuuksia ja varsinkin meri-bakteerit kiinnittyvät nopeasti membraanin pinnalle, missä ne voivat kasvaa hyödyntämällä syöttöveden ravinteita. Bakteerien pääsemistä membraanin pintakerroksille estetään syöttöveden esikäsittelyllä esimerkiksi UV-säteilyllä. (Zhang ym. 2012, 51.)

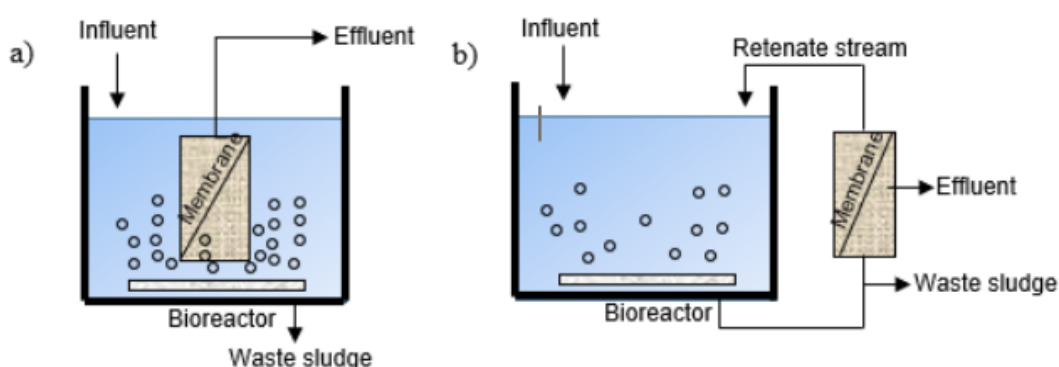
4 MEMBRAANIBIOREAKTORI

Membranibioreaktorit yhdistävät jätevedenkäsittelyssä biologisen käsittelyn ja membraanisuodatuksen. Tavoitteena saada korkealaatuisesti desinfioitua ja selkeytettyä vettä lopputuloksena. Membranibioreaktoreiden toiminta perus-tuu nesteen erotteluun kiinteistä aineista membraanitekniikan avulla ja biologi-seen prosessiin lietteen hajottamiseksi. MBR-laitosten eduiksi on havaittu pie-nempi lietteen tuotto, jäteveden saaminen kiintoainevapaaksi ja biologisen prosessin saaminen tehokkaammaksi. (Gurung 2019, 30.)

Membranibioreaktoreissa käytetään yleisimmin membraaneja, joiden huokoskoko on 0.03 μm ja 0.4 μm väliltä ja materiaaleina käytetään selluloosaa, polyamidia, polysulfonia ja polymeerejä (Gurung 2019, 31). Membraanin erot-telukyky perustuu huokoskokoon, jolloin vain huokoskokoa pienemmät partikkelit läpäisevät sen ja suuremmat partikkelit jäävät ulkopuolelle, paine-eron toimiessa työtä tekevänä voimana (Nissinen 2014,10).

MBR-kokoonpanoja on käytössä kahta erilaista mallia (kuva 8), jotka määritel-lään membraanin sijoittelun mukaan. Membranimoduuli sijoitetaan joko bio-

reaktorin sisään tai sen ulkopuolelle, upotettuna yksikkönä tai sivuvirtasovel-
luksena. Upotettuja yksiköitä käytetään yleisimmin kunnallisessa jätevedenkä-
sittelyssä, johtuen niiden hyvästä sopivuudesta aktiivilieteprosessin kanssa,
matalasta energian kulutuksesta ja kompaktista muotoilusta. Sivuvirtasovel-
lusta eli ulkoista yksikköä suositetaan teollisuuden käytössä kohteissa, joissa jä-
tevesi on heikosti suodattuvaa ja vaatii suhteellisesti vähemmän membraani-
aluetta kuin upotetuissa yksiköissä. (Gurung 2019, 31.)



Kuva 8. a) upotettu yksikkö, b) sivuvirtasovellus (Gurung 2019, 32.)

Membranibioreaktorin käytössä reaktorin suorituskykyyn vaikuttaa useat tekijät ja tärkeimpinä ovat:

- Membraanin materiaali ja malli sekä permeabiliteetti
- Syötön ominaisuudet sekä esikäsittely
- Ilmastus, sekä membraanitankissa, että ilmastusaltaassa
- Lietteen poisto ja viipymäaika
- Bioaktiivisuus ja biomassan luonne

Lieteiän kontrolloinnilla vaikutetaan biomassan kiintoaineen määrään, mikä taas vaikuttaa biologiseen aktiivisuuteen ja toivotun mikrobiologian syntyyn, sekä lietteen fysikaalisiin ominaisuuksiin reaktorissa. (Nissinen 2014, 28.)

MBR-järjestelmässä biologinen prosessi toimii samalla periaatteella kuin perinteisissä aktiivilieteprosesseissa. Biomassa puhdistusprosessissa on heterogeeninen sekoitus erikokoisia partikkeleita, mikro-organismeja, kolloideja, orgaanisia polymeerejä ja kationeja. (Nissinen 2014, 29.)

Membranibioreaktoria verrattaessa perinteisiin suodatustekniikoihin, kuten pelkkään aktiivilietesuodatukseen, suurimpana negatiivisena asiana on laitoksesta aiheutuvat suuremmat käyttökustannukset. Käyttökustannuksiin vaikuttavat suurempi energian vaatimus ja energian kulutus, materiaalikustannukset, membraanin puhtaana pitäminen ja uuden membraanin vaihtamisesta aiheutuvat kustannukset. (Zhang ym. 2012, 533.)

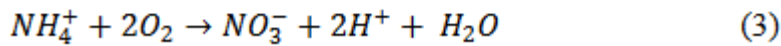
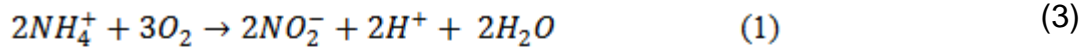
Kustannusten minimoimiseksi todetut toimivat toimenpiteet ovat:

- Prosessin toiminnan dataa seuraamalla voidaan optimoida puhdistustoimenpiteiden ajoitus tarkemmin.
- Tehokkaampi prosessin ohjaus ja parantuneet takuut membraanin käyttöiälle vähentävät pitkän ajan kustannuksia.
- Pienemmän membraanipinta-alan asentaminen laitokseen vähentää kemikaalien käyttötarvetta ja mahdollistaa pienemmän nettopaineen käytön, joka vähentää esimerkiksi pumpun komponenttien kulumista.
- Puhdistettavan jäteveden esi- ja jälkikäsittelyllä parannetaan membraanin toimintaa. (Zhang ym. 2012, 534.)

4.1 Typen ja fosforin puhdistus

Typpi ja fosfori aiheuttavat mereen päästessään rehevöitymistä, mikä lisää leviä ja aiheuttaa hapenkatoa. Rehevöityminen aiheuttaa pohjaeläinten kuolemista hapen puutteen takia ja heikentää ekosysteemiä ravinnon kadotessa. Näistä seikoista johtuen jätevesien puhdistaminen ylimääräisestä typestä ja fosforista on tärkeää, jotta esimerkiksi Itämeren rehevöityminen saadaan hallintaan. (Itämeren rehevöityminen 2008, WWF-verkkojulkaisu.)

Membranibioreaktorissa typenpoisto perustuu nitrifikaatioon, sekä denitrifikaatioon ja fosfori poistetaan biologisesti aktiivilieteprosessissa, eikä MBR-prosessi tuota fosforin poistossa suurempaa etua. Nitrifikaatiossa muutetaan hapellisten bakteerien avulla toimivan prosessin avulla ammoniumtyppi ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)⁽¹⁾ nitraattitypeksi ($\text{NO}_3^+\text{-N}$)⁽²⁾. Nitrifikaatio vaatii hiilidioksidia, ammoniumia ja hapetta. MBR-laitoksella on todettu saatavan parempi nitrifikaation tulos verrattuna perinteisiin aktiivilietelaitoksiin, ja syyksi on arveltu pienemmän flokkikoon aiheuttamaa parempaa hapensiirtoa. (Nissinen 2014, 28.)



Kemiallinen reaktio nitrifikaatiolle (Nissinen 2014, 28.)

Denitrifikaatio keskittyy nitrifikaatioprosessin aikana syntyneen nitraattityypen poistamiseen. Denitrifikaatiossa käytetään hyväksi mikrobeja, jotka eivät pysty itse tuottamaan orgaanisia yhdisteitä vaan käyttävät energianlähteenään hiiltä ja näin poistavat orgaaniset hiiliyhdisteet prosessista. (Nissinen 2014, 27.)

Tyypenpoistoon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- Lieteikä ja lietepitoisuus
- Flokkikoko (erillisten kiintoainehiukkasten muodostama löysä ryhmitymä)
- Jäteveden typpipitoisuus
- Lietteen koostumus
- Ilmastus ja liukoisen hapen määrä
- Hydraulinen viipymä
- MLE-prosessi eli nitraattirikkaan lietteen kierrätys prosessin ilmastusosasta anaerobiseen osaan.

4.2 Membraanibioreaktorin kunnossapito

Reaktorin toiminnan kannalta suurin huolenaihe on membraanin likaantuminen, joka on väistämätöntä, mutta sitä voidaan ennaltaehkäistä ja reaktoria joudutaan puhdistamaan optimaalisen toimintakyvyn ylläpitämiseksi. Likaantuminen johtuu lietteen flokkien, hiukkasten, liuenneiden aineiden, mikro-organismien ja solujäännösten kerääntymisestä kalvohuokosiin ja kalvon pinnalle. Likaantumisen seurauksena membraanin paine-ero kasvaa, permeaatti virtaus heikkenee ja suodatusvastus nousee, jolloin prosessiin kuluu enemmän energiaa ja puhdistusta joudutaan tekemään säännöllisemmin. Likaantuminen heikentää membraanin toimintaa, jolloin myös puhdistetun veden laatu heikkenee ja membraanin käyttöikä laskee. (Gurung 2019, 32.)

Membranibioreaktoreiden energian tarve on perinteisempiin aktiivilietelaitoksiin verrattain suuri, mikä nostaa myös laitoksen kustannuksia ja membraanin likaantumisen on iso vaikutus tähän. Puhdistukseen käytettävät vahvat kemikaalit aiheuttavat myös huolta haitallisten ympäristövaikutuksien takia. Membraanin likaantuminen voidaan luokitella kahteen luokkaan, palautuvaan ja palautumattomaan. Palautuvalla likaantumisen tarkoitetaan löysästi sitoutuvien materiaalien laskeutumista membraanin pinnalle, mikä aiheuttaa ns. kakku kerroksen muodostumisen. Palautumattomalla likaantumisen taas tarkoitetaan vahvasti kiinnittyviä materiaaleja, mitkä tukkivat membraanin huokokset. Palautuvaa likaantumista torjutaan fyysisillä toimenpiteillä kuten vastavirtahuuhtelulla, kun taas palautumatonta likaantumista torjutaan kemikaalien avulla. (Gurung 2019, 32.)

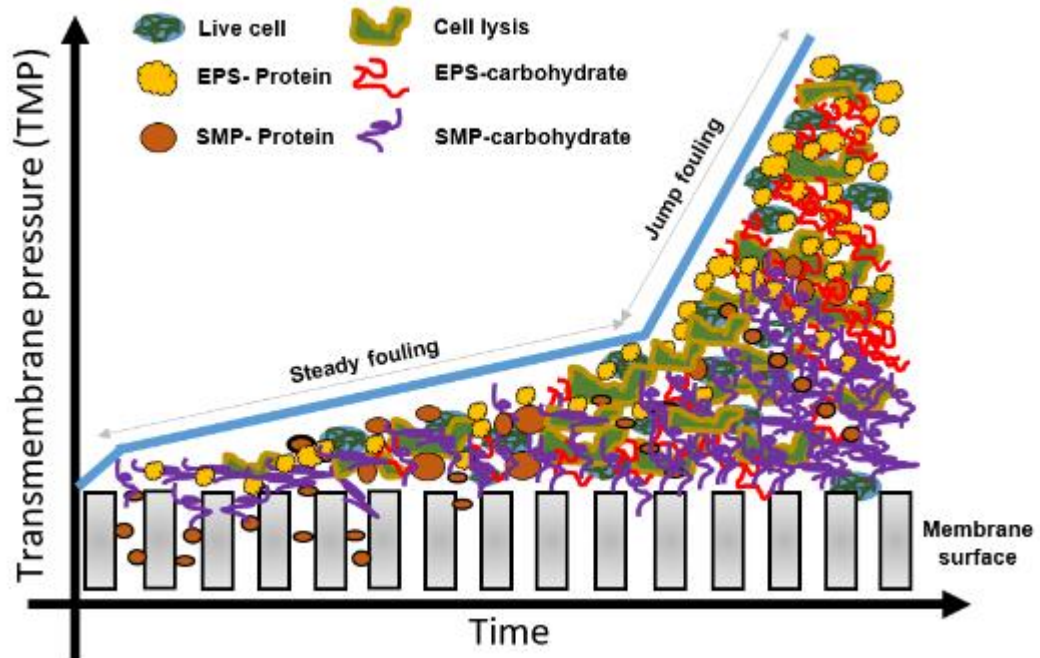
Membranien likaantumista luokitellaan myös tarkemmin, likaantumista aiheuttavien tekijöiden kautta kolmeksi ryhmäksi (taulukko 4): biologiseksi, orgaaniseksi ja epäorgaaniseksi likaantumiseksi. (Gurung 2019, 33.)

Taulukko 4 Membranien likaantuminen

Likaantumistyyppi	Aiheuttaja
Biologinen	Biologinen kasvu, aineenvaihdunta ja sen erityys
Orgaaninen	Biomassan sisältämät orgaaniset aineet ja mikro-organismien tuottamat sivutuotteet
Epäorgaaninen	Epäorgaanisten ionien saostuminen

Membranibioreaktoriin syötettävän veden lämpötilalla on huomattava vaikutus biologiseen prosessiin. Alle 15 °C:n lämpötilassa metaania tuottavat bakteerit muuttuvat passiivisiksi, autotrofiset bakteerit lopettavat toimintansa noin 5°C:n lämpötilassa ja hiilipitoista materiaalia syöttävät kemoheterotrofiset bakteerit menevät lepotilaan 2°C:n kohdalla. Edellä mainittujen tekijöiden takia MBR-laitoksen toiminnan tehokkuus alkaa laskea, kun lämpötila laskee alle 15°C:n ja, kun biologinen prosessi heikentyy johtaa se membraanin likaantumisen nopeutumiseen. (Gurung 2019, 33.) Membraanisudatuksen heikentyminen lämpötilan laskiessa johtuu biomassan viskositeetin alentumisesta, mikä myös heikentää liuenneen hapen kulkeutumista biomassassa ja voi ai-

heuttaa muutoksia kuplakokoon. Myös partikkelien takaisinkuljetusnopeus pienenee lineaarisesti lämpötilan kanssa Brownin diffuusion mukaan. (Nissinen 2014, 34.)



Kuva 9. Likaantumisen suhde aikaan ja membraanin paine-eroon (Gurung 2019, 35.)

Likaantumiseen vaikuttaa myös MBR-laitoksen operointitapa. Laitoksen operoinnissa käytettäessä jatkuvaa transmembraani painetta (TMP) permeaatin tuotto vähenee ajan myötä ja nopean virtauksen laskun odotetaan tapahtuvan operaation alkuvaiheissa, ennen sen tasaantumista. Jatkuvalla TMP:llä operoivien MBR-laitosten likaantuminen voidaan jaotella kolmeen vaiheeseen:

1. Mikrobi- ja substraattiperäisten liukoisten yhdisteiden saostuminen aiheuttaa nopean vuon laskun. Muut partikkelit ja kolloidit eivät ensimmäisessä vaiheessa aiheuta likaantumista, koska poikkivirtaus poistaa ne membraanin pinnalta
2. Vuon virtaus hidastuu huomattavasti
3. Vuo tasaantuu, jolloin hidastunut virtaus hidastaa myös epäpuhtauksien kulkeutumista membraanin pinnalle ja hidastaa likaantumisen kehitystä. Kolmannessa vaiheessa laitosta voidaan käyttää pidennetty ajanjakso ennen puhdistusta (Zhang ym. 2012, 99–101.)

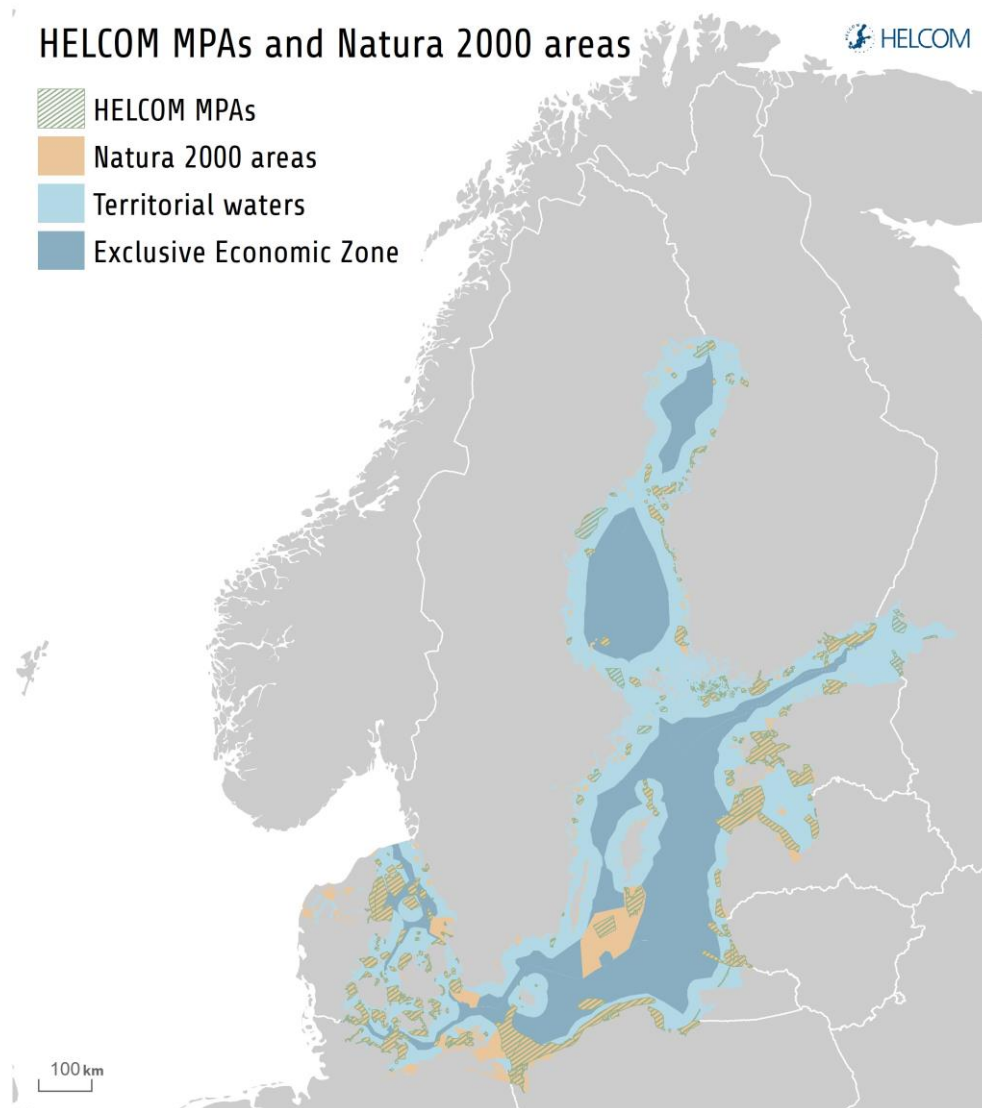
Laitoksen operoinnissa voidaan myös käyttää jatkuvan virran toimintaa, jolloin pidetään virtaus jatkuvana vakiona nostamalla membraanin paine-eroa. Kon-

vektio kuljettaa epäpuhtauksia tasaisena virtana membraanin pinnalle aiheuttaen tietyssä pisteessä nopean TMP:n nousun. Likaantuminen tapahtuu eksponentiaalisesti suhteessa vuon virtaukseen, minkä takia virtaus pidetään kohtuullisen matalana. Jatkuvan virran toiminnalla operoitavien MBR-laitosten likaantumisen vaiheet:

1. Peruskunnon likaantuminen: Membraanin pinnan päästessä vuorovaihtukseen solun ulkoisten polymeerien (EPS) ja liukoisten mikrobituotteiden (SMP) kanssa alkaa kolloidien ja orgaanisten aineiden aiheuttama nopea peruuttamaton likaantuminen. Vuon virtaus vähenee nopeasti (kuva 9)
2. Tasainen likaantuminen: Membraanin ollessa liukoisten mikrobijyhdisteiden peitossa alkaa se kerätä biomassan partikkeleita ja kolloideja muodostaen kerroksen membraanin pinnalle ja hitaasti hidastaen vuon virtausta
3. TMP loikkaus: Membraanin pinnan likaantuessa epätasaisesti heikentyy läpäisevyys likaisimmissa kohdissa merkittävästi. Kolmannen vaiheen likaantuminen on itseään kiihtyvä ja erittäin nopea, aiheuttaen nopean nousun TMP:ssä (Zhang ym. 2012, 99–101.)

5 JÄTEVESILAINSÄÄDÄNTÖ ITÄMERELLÄ

Laivojen jätevesilainsäädäntöä Itämerellä kontrolloivat IMO, HELCOM ja Itämeren rannikkovaltioiden aluevesien kansalliset lainsäädännöt. International maritime organization eli IMO hyväksyi jo vuonna 2005 Itämeren erityisen herkäksi merialueeksi, Venäjän aluevedet pois lukien. Erityisen herkän merialueen aseman takia Itämereen liikkuvaan laivaliikenteeseen kohdistuu päästöjen osalta tiukemmat rajoitukset kuin suurimalla osalla maailman meriä. Hyvänä esimerkkinä tästä käy MARPOL liite IV "Special areas"-määräykset, jotka tällä hetkellä koskevat vain Itämeren aluetta.



Kuva 10. Itämeren alue

5.1 MARPOL Liite IV Alusten käymäläjätevedet

MARPOL-yleissopimuksen liite IV tuli voimaan vuonna 2003 ja käsittelee käymäläjätevesiä. Liitteen IV luvussa 1 määritellään käsitteet, soveltaminen ja poikkeukset, joita liite koskettaa.

Käymäläjätevesiksi lasketaan:

- Tyhjennyksiä ja muita jätteitä kaikenlaisista käymälöistä ja pisaareista
- Tyhjennyksiä lääkintätiloista (lääkevarastosta, sairausosastossa jne.), näissä tiloissa sijaitsevien pesuallaiden, kylpyammeiden ja lattikaivojen kautta
- Tyhjennyksiä tiloista, joissa on eläviä eläimiä
- Muita edellisten kanssa sekoitettuja jätevesiä

Matkustaja-aluksella tarkoitetaan alusta, joka kuljettaa enemmän kuin 12 matkustajaa. Erityisalueeksi määritellään merialueet, jossa tunnustetuista teknisistä syistä, liittyen sen oseanografiseen ja ekologiseen luonteeseen sekä liikenteen erikoiseen luonteeseen, erityisten pakollisten menetelmien käyttöön-otto on tarpeen käymäläjäteveden aiheuttaman meren pilaantumisen ehkäisemiseksi. Tällä hetkellä ainut erityisalueeksi määritelty alue, jota MARPOL liite IV sitoo, on Itämeren alue. Henkilöllä tarkoitetaan miehistöä tai matkustajaa. (SopS 51/1983. Liite IV)

Liitettä IV sovelletaan koskemaan kaikkiin seuraavien määritelmien alle mah-
tuviin aluksiin:

- Uudet alukset 400 GT tai yli
- Alle 400 GT uudet alukset, joiden henkilöluku on yli 15
- Olemassa olevat alle 400 GT alukset, joiden henkilöluku on yli 15: viisi vuotta liitteen voimaantulon jälkeen
- Olemassa olevat alukset 400 GT tai yli: viisi vuotta liitteen voimaantulon jälkeen

Poikkeustapauksiksi lasketaan seuraavat tilanteet:

- Käymäläjäteveden tyhjentäminen aluksesta, joka on tarpeen aluksen tai sillä olevien turvallisuuden varmistamiseksi tai ihmishengen pelastamiseksi merellä
- Käymäläjätteen tyhjentäminen aluksesta, joka aiheutuu aluksen tai sen varusteiden vahingoittumisesta, kun kaikki kohtuulliset varotoimet on tehty, vahingoittumista ennen ja sen jälkeen, tyhjentämisen estämiseksi tai minimoimiseksi. (SopS 51/1983 Liite IV; Gango 2019.)

Liitteen IV luku 2 "Surveys and certification" määrittelee aluksilta vaadittavat katsastukset ja todistukset liitteen IV määrittelemien vaatimusten toteuttamiseksi käymäläjätevesiä koskien.

Katsastukset säännön 4 mukaisesti:

- Peruskatsastus ennen aluksen käyttöönottoa. Katsastuksen tulee olla sellainen, että saadaan varmuus siitä, että aluksen rakenne, varusteet, laitteet, yleisjärjestely ja rakennusaineet vastaavat täysin tämän liitteen soveltuvia vaatimuksia
- Uusintakatsastus, joka toimitetaan hallinnon määräämin väliajoin, maksimissaan 5 vuoden välein
- Yleinen tai osittainen lisäkatsastus merkittävien korjausten ja uudistusten jälkeen (SopS 51/1983. Liite IV; Gango 2019.)

Säännöt 5–8 käsittelevät kansainvälistä todistuskirjaa käymäläjäteveden aiheuttamana pilaantumisen ehkäisemiseksi (international sewage pollution prevention certificate eli ISPP-certificate). ISPP-sertifikaatti on oltava jokaisella aluksella, joka tekee matkoja muiden tämän yleissopimuksen sopimuspuolten lainkäyttövallassa oleviin satamiin tai rannikon ulkopuolella sijaitseviin terminaaleihin, sen jälkeen, kun aluksessa on toimitettu perus- tai uusintakatsastus. Todistuskirjan antaa tai vahvistaa hallinto tai sen asianmukaisesti valtuuttama henkilö tai laitos, joka myös on täysin vastuussa todistuskirjasta. Yleissopimuksen sopimuspuolen hallitus voi hallinnon pyynnöstä katsastuttaa aluksen ja todettuaan liitteen määräyksien täyttyvän, sen on annettava alukselle kansainvälinen todistuskirja käymäläjäteveden aiheuttaman pilaantumisen ehkäisemisestä tai valtuutettava sen antaminen alukselle tai tarvittaessa vahvistettava aluksella oleva todistuskirja tai valtuutettava todistuskirjan vahvistaminen tämän liitteen mukaisesti. ISPP-sertifikaattia ei tule antaa alukselle, joka on oikeutettu käyttämään sellaisen valtion lippua, joka ei ole sopimusosapuoli. Todistuskirja on voimassa enintään viisi vuotta ja päättyy, jos katsastuksia ei ole toimitettu määräysten mukaisesti tai, kun alus siirtyy käyttämään toisen valtion lippua. (SopS 51/1983. Liite IV; Gango 2019.)

Yleissopimuksen liitteen IV luvuissa 3 ja 4, ”Equipment and control of discharge” ja ”Reception facilities” määrittellään aluksilta vaadittavat käymäläjätevesijärjestelmät, purkausliittimet ja käymäläjäteveden tyhjentäminen, sekä satamilta vaadittavat vastaanottolaitteistot.

Käymälävesijärjestelmiä koskevat seuraavat vaatimukset erityisalueilla:

- Käymäläjäteveden käsittelylaitteisto, tai
- Jätevesisäiliö, jolla riittävä tilavuus, jotta kaikki käymäläjätevesi pystytään säilyttämään aluksella, ottaen huomioon aluksen liikenteen, sillä olevien henkilöiden lukumäärän ja muut vaikuttavat tekijät. Jätevesisäiliön sisällön määrä on voitava tarkistaa silmämääräisesti.

Käymäläjätevesien tyhjentäminen Itämerellä (erikoisalue) on liitteen vaikutusten alaiset alukset jaoteltu kahteen luokkaan, matkustaja-aluksiin ja muihin aluksiin. Muita kuin matkustaja-aluksia koskevat määräykset kieltävät näiltä

aluksilta käymäläjäteveden tyhjentämisen mereen paitsi seuraavissa tilanteissa:

- Alus tyhjentää hyväksytysti hienonnettua ja desinfioitua käymäläjätevettä yli 3 mpk päässä lähimmästä maasta, tai
- käsittelemätöntä käymäläjätevettä yli 12 mpk päässä lähimmästä maasta.
- Ehtona käymäläveden päästämiseksi mereen on, että alus kulkee vähintään neljän solmun nopeutta, ja käymälävedettä, jota on varastoitu jätevesisäiliössä tai joka on peräisin eläviä eläimiä sisältävistä tiloista, ei tyhjenetä hetkessä, vaan kohtuullisella nopeudella
- Aluksella on toiminnassa hyväksytty käymäläjäteveden käsittelylaitteisto.
- Poistovesi ei saa muodostaa näkyviä kelluvia kiinteitä kappaleita tai aiheuttaa ympäröivän veden värjäytymistä (SopS 51/1983. Liite IV; Gango 2019.)

Matkustaja-aluksilta on käymäläjäteveden tyhjentäminen kielletty Itämeren erikoisalueella:

- Uusilta matkustaja-aluksilta 1.6.2019 lähtien
- Olemassa olevilta matkustaja-aluksilta 1.6.2021 alkaen
- 1.6.2023 alkaen olemassa olevilta matkustaja-aluksilta, jotka tulevat tai lähtevät erityisalueen ulkopuolella olevasta satamasta ja tulevat tai lähtevät suoraan satamaan, joka sijaitsee 28°10' E itäistä pituutta
- Poikkeuksen muodostaa, jos aluksella on toimiva ja hyväksytty käymäläjäteveden käsittelylaitteisto, ja poistovesi ei muodosta näkyviä kelluvia kiinteitä kappaleita, eikä aiheuta ympäröivän veden värjäytymistä.

Jos käymälävedettä sekoitetaan sellaisten jätteiden tai jäteveden kanssa, jotka kuuluvat muiden MARPOL 73/78 liitteiden soveltamisalaan, asianomaisten liitteiden vaatimukset on täytettävä tämän liitteen vaatimusten lisäksi.

Kaikilla aluksilla on myös oltava standardoidut purkausliittimet ja jokaisen sopimuspuoli, jonka rantaviiva rajoittuu erityisalueeseen, ryhtyy toimiin varmistukseen, että erityisalueella sijaitsevilla matkustaja-alusten käyttämissä satamissa ja terminaaleissa on asianmukaiset laitteistot käymäläjäteveden vastaanottoa varten matkustaja-aluksista ja niitä käytetään siten, että näille matkustaja-aluksille ei aiheuteta tarpeetonta viivytystä. (SopS 51/1983. Liite IV; Gango 2019)

6 TUTKIMUS

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko MARPOLin liitteen IV:n erikoisalueita koskevilla jätevesien uusilla päästövaatimuksilla vaikutusta varustamoiden investointeihin tai toimintaan. MARPOL liite IV tuli voimaan 1. tammikuuta 2013 ja määritteli ”Erikoisalueet” ja vaatimukset matkustaja-aluksien jätevesien päästämiseksi näillä erikoisalueilla. Erikoisalueisiin, joita liite IV koskettaa, kuuluu tällä hetkellä pelkästään Itämeren alue ja asetus kieltää matkustaja-aluksilta kaiken käsittelemättömän jäteveden päästämisen mereen Itämeren alueella.

Asetus tulee voimaan seuraavalla aikataululla:

“Currently, the Baltic Sea area is the only Special Area under Annex IV. In accordance with resolution MEPC.275(69), the discharge requirements for Special Areas in regulation 11.3 of MARPOL Annex IV for the Baltic Sea Special Area shall take effect:

- .1 on 1 June 2019, for new passenger ships
- .2 on 1 June 2021, for existing passenger ships other than those specified in .3 and
- .3 on 1 June 2023, for existing passenger ships en route directly to or from a port located outside the special area and to or from a port located east of longitude 28°10'E within the special area that do not make any other port calls within the special area (SopS 51/1983. Liite IV)

6.1 Kysely

Tutkimus suoritettiin kyselytutkimuksena Itämerellä toimiville varustamoille. Tutkimuksen avulla selvitettiin vaikuttavatko kiristyvät määräykset varustamoiden jätevesienkäsittelylaitosten valintaan uusilla aluksilla, sekä tehdäänkö jo liikennöinnissä oleville aluksille uusia investointeja rajoituksista johtuen. Kyselyn kohteena olivat matkustajaliikenteeseen soveltuvia aluksia omistavat varustamot. Tutkimus toteutettiin strukturoidulla haastattelulla. Kysely suoritettiin sähköisesti Webropolsurveys-sivustoa hyväksikäyttäen ja kysely välitettiin varustamoille sähköpostilla, sekä yhtiöiden internet-sivujen kautta. Kyselytutkimus lähetettiin yhteensä 26 varustamolle, joihin sisältyy niin Suomen lipun alla toimivia varustamoita kuin kansainvälisiä varustamoita.

6.1.1 Kyselyn lähtökohdat ja oletukset

Tutkimuksen rajallisen kohderyhmän takia oli etukäteen tiedossa, että vastauksia ei määrällisesti saada paljon, joten vastausten laadullisuuden merkitys korostuu. Lähtöoletuksena tiedettiin myös, että Suomen Varustamot Ry:n matkustaja-alusvarustamot jättävät jo kaiken käymäläjätevesensä maihin (Hartonen 2019.), joten uusilla määräyksillä ei ole vaikutusta näiden varustamoiden nykyiseen toimintaan. Kyseiset varustamot päätettiin kuitenkin ottaa kyselytutkimukseen mukaan, koska näillä varustamoilla on jo kokemusta, miten käymäläjätevesien laskeminen maihin, mereen verrattuna, vaikuttaa yhtiön investointeihin. Kysely lähetettiin yhteensä 26 varustamolle, joista neljä kuuluu Suomen Varustamot Ry:hyn.

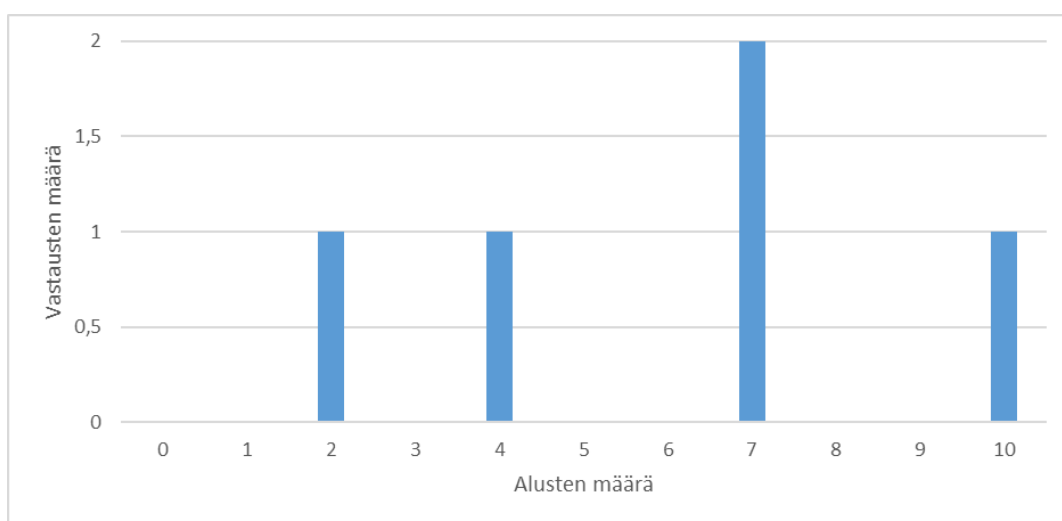
6.2 Kyselyn sisältö

Kyselytutkimus sisälsi kuusi kysymystä ja avoimen kommenttiosion. Kysymykset sisälsivät varustamon matkustaja-alusten lukumäärän Itämeren liikenteessä, vaikuttaako mustan veden päästökielto yhtiön investointeihin, onko yhtiö laskenut investointien takaisinmaksuaikaa, onko uusilla määräyksillä vaikutusta investointeihin jo olemassa oleviin aluksiin tai uusien matkustaja-aluksien jätevedenkäsittelylaitoksen valintaan, sekä vastaajan mielestä mieluisin jätevedenkäsittelylaitos. Kyselylomake löytyy kokonaisuudessaan liitteistä.

7 VASTAUSTEN ANALYSOINTI

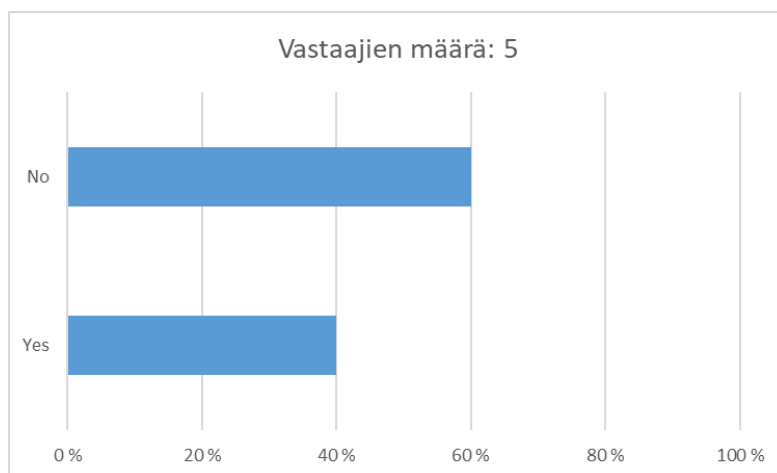
Vastausten analysoinnin kannalta oli oleellista tietää, kuinka monta matkustaja-alusta vastaajan edustamalla varustamolla on liikennöinnissä Itämeren alueella. vastausvaihtoehdoiksi annettiin luvut 0–10, jossa 10 tarkoittaa kymmentä alusta, tai sitä suurempaa määrää. Varustamon Itämerellä operoitujen matkustaja-alusten lukumäärällä voidaan arvioida, kuinka suuri liiketoimintakohde Itämeri on vastaajien varustamoille. Saadut vastaukset jakautuivat kahden aluksen ja kymmenen tai sitä suuremman määrän välille. Kymmentä tai sitä suurempaa määrää matkustaja-aluksia Itämerellä liikennöivälle varustamolle Itämeri on todennäköisesti iso osa varustamon liiketoimintaa, jolloin

myös lainsäädännölliset muutokset aiheuttavat toimenpiteitä, mutta näihin todennäköisesti ollaan varauduttu. Kyselyn saaneiden varustamoiden laivastojen koossa on kuitenkin suuria eroja, minkä takia ei voida varmuudella olettaa, että Itämerellä operoivien matkustaja-alusten määrä korreloisi suoraan Itämeren liikenteen tärkeydestä varustamon kokonaisliiketoimintaan tai varustamon laivueen kokoon. Vastausten analysointia vaikeuttaa vastausprosentin jääminen heikoksi. Kysely lähetettiin 26 varustamolle ja vastauksia saatiin 5 kappaletta. Näin ollen vastausprosentti jäi 19,2 prosenttiin.



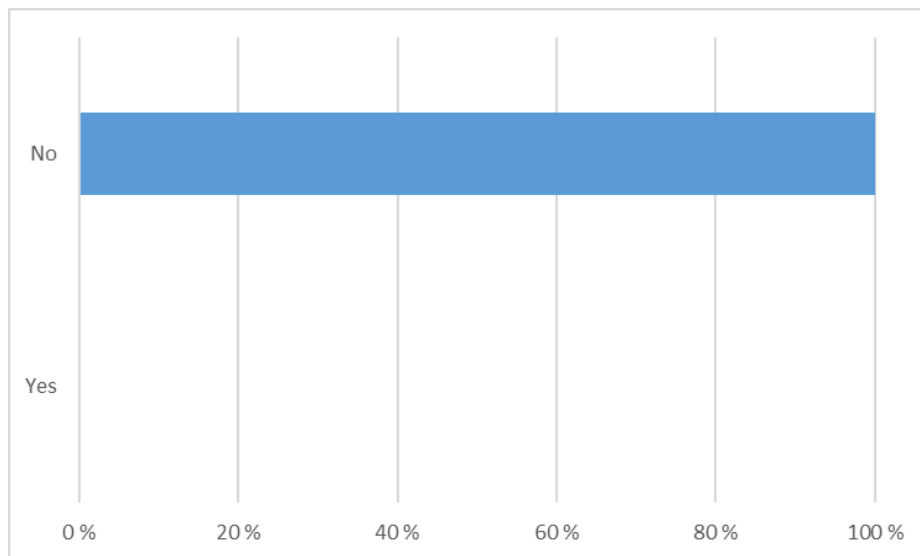
Kuva 11. Kysymys 1. How many passenger ships does your company operate in the Baltic Sea Region?

Uusien käymäläjätevesien päästöjen määräykset vaikuttivat varustamoihin vaihtelevasti. 40 % vastaajista oli sitä mieltä, että vaikutuksia investointeihin on. (kuva 12) Kysymyksen vastauksiin suurimpana vaikuttavana tausta tekijänä todennäköisesti on varustamon käytäntö, lasketaanko käymäläjätevedet matkustaja-aluksilta jo valmiiksi satamien vastaanottolaitoksiin.



Kuva 12. kysymys 2. Does banning the black water discharge into the Baltic Sea cause investments for your shipping company?

Mikään kyselyyn vastanneista varustamoista ei ollut laskenut takaisinmaksuaikaa jätteenkäsittelylaitokselle tehtäville investoinneille, verrattuna satamien perimiin jätteen vastaanotto- ja käsittelymaksuille. Kysymyksen avoimeen kommenttikenttään oli yksi vastaaja kommentoinut, että yhtiön politiikkana on ollut suorittaa tyhjennykset satamien vastaanottolaitoksiin. Takaisinmaksuajan laskemattomuuteen vaikuttaa Itämeren lyhyet välimatkat satamien välillä, jolloin satamien vastaanottolaitosten hyödyntäminen on yksinkertaista, varsinkin jos alus liikennöi säännöllisesti samojen satamien välillä. Toisaalta myös suurien ulkomaisten risteilijöiden reitit vaihtelevat risteilyn mukaan, jolloin takaisinmaksuajan laskeminen tuottaisi haasteita, koska satamien jätteenottomaksut vaihtelevat eri satamien välillä.

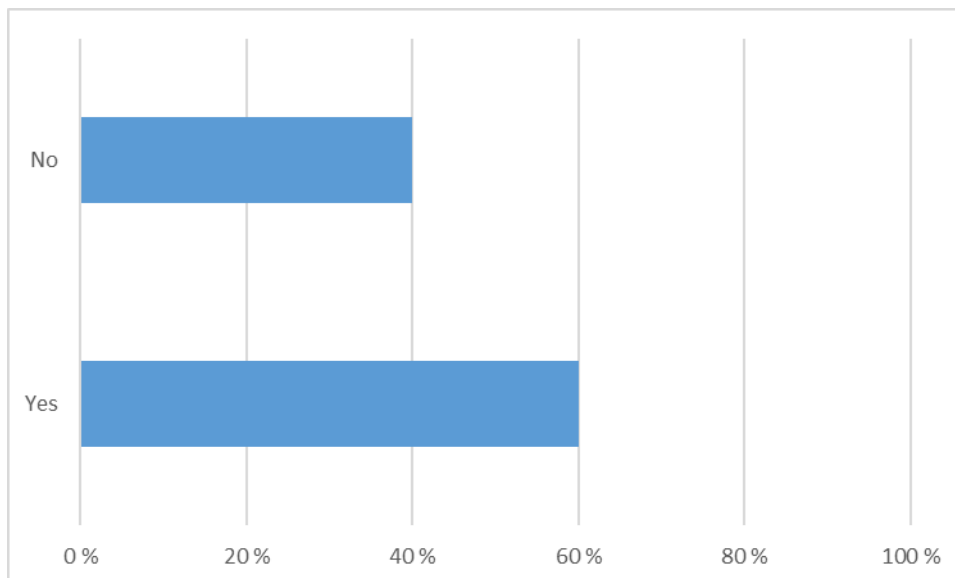


Kuva 13. Kysymys 3. Have you calculated the payback period for investments compared to discharging sewage in port?

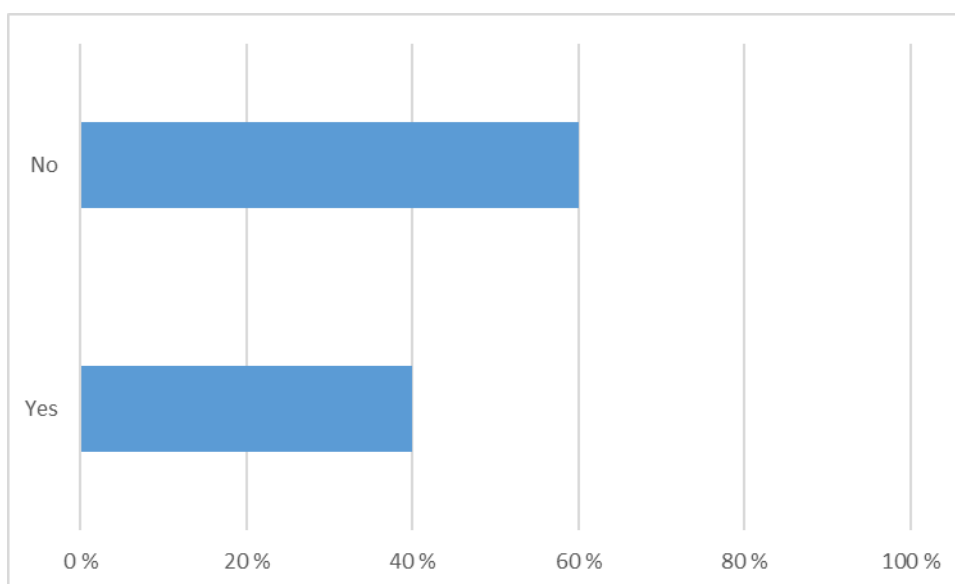
Avoimeen tekstikenttään saadut vastaukset:

Vastausvaihtoehdot	Teksti
No	Its been a Company policy to discharge into PRF

Kuvien 14 ja 15 perusteella voidaan todeta 60 % vastaajista olevan sitä mieltä, että uusilla määräyksillä on vaikutusta jätteenkäsittelylaitoksen valinnassa uusille aluksille, kun taas 40 % on sitä mieltä, että investointeja joudutaan tekemään jo olemassa oleville aluksille. Karkeasti arvioiden voidaan todeta että 40 % vastaajien varustamoista joutuu reagoimaan uusiin määräyksiin niin nykyisten alusten, kuin vanhojen alustenkin kohdalla. 60 % vastaajista on taas jo ennestään todennäköisesti jättänyt Itämerellä liikennöivien matkustaja-aluksiensa käymäläjätevedet sataman vastaanottolaitoksiin, joten investointeja jätevedenkäsittelylaitoksiin ei jouduta tekemään. Kyselyn lopussa olevaan avoimeen kommentti osioon tullut vastaus, ”All black, grey and bilge water is pumped ashore from all of our vessels”, eli kaikki musta-, harmaa- ja pilssivesi pumpataan maihin kaikilta heidän aluksiltaan, joka vahvistaa tätä päätelmää.

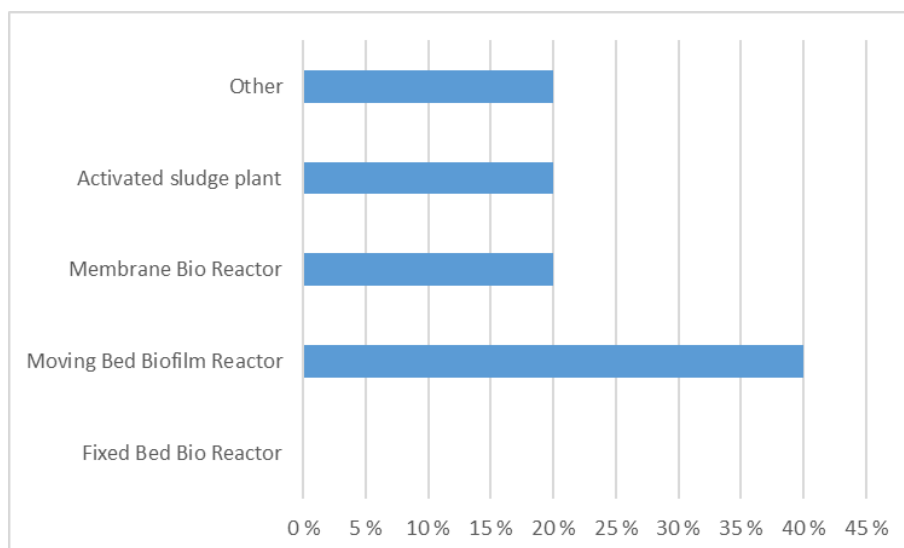


Kuva 14. Kysymys 4. Does the new regulation have affect, when choosing sewage treatment plant for the new passenger ship orders?



Kuva 15. Kysymys 5. Does the new regulation cause investments for your existing passenger ships?

Vastaajien suosimaa jätevedenkäsittelylaitoksen tyyppiä kysyttäessä vastaukset jakaantuivat tasaisesti (kuva 16) eri laitosten välille, ainoastaan fixed bed bio rectoria (FBBR) ei olisi yksikään vastaajista valinnut omalle matkustajalukselleen. Valintojensa syitä yksikään vastaajista ei kommentoinut, mutta voidaan pohtia, että syy FBBR:n valitsematta jäämiseksi johtuu haastavuudesta päästä vaadittaviin päästörajoituksiin jäteveden puhdistuksessa kyseisellä laitoksella, sekä laitoksen suuri tilan tarve.



Kuva 16. Kysymys 6. Which type of sewage treatment plant you do prefer in your passenger ships?

Taulukko 5 Kysymys 6. vastaukset

	n	Prosentti
Fixed bed Bio Reactor (FBBR)	0	0%
Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	2	40%
Membrane Bio Reactor (MBR)	1	20%
Activated sludge plant	1	20%
Other	1	20%

Avoin kommenttiosio:

Vastaukset
All black-, grey- and bilge water is pumped ashore from all of our vessels.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkempien johtopäätöksiä tekeminen viiden varustamon vastausten perusteella, on vaikeaa, eikä anna varmuutta kuinka iso vaikutus MARPOLin liitteen IV:n erikoisalueita koskevilla jätevesien uusilla päästövaatimuksilla on varustamoiden toimintaan. Vastauksista voidaan kuitenkin huomata, että ainakin oletettavasti osa kansainvälisistä varustamoista joutuu muutoksiin reagoimaan vaatimukseen pääsemiseksi. Uusien määräyksien tavoitteena on estää matkustaja-alusten käymäläjätevesien aiheuttamaa likaantumista Itämerellä ja jokaisen varustamon joutuessa sen huomioon voidaan olettaa, että uusilla määräyksillä on positiivinen vaikutus asian suhteen.

Membranitekniikan käyttämisellä jätevesien puhdistamisessa saadaan tuotettua erittäin puhdasta vettä, ja päästään vaadittuihin raja-arvoihin ongelmitta. Tulevaisuudessa vaatimukset todennäköisesti vielä nousevat, mikä johtaa suurempiin vaatimuksiin teknologian osalta. Teknologia itsessään on kehittynyt nopeasti 2000-luvun aikana ja kehittyä jatkuvasti edelleen puhtaan veden tarpeen kasvaessa ympäri maailmaa. Tulevaisuudessa jatkotutkimuksissa voitaisiin selvittää 5–10-vuoden sisällä, miten rajoitukset ovat käytännössä vaikuttaneet, ja ovatko kansainväliset varustamot siirtyneet kasvavissa määrin jättämään jätevetensä satamien vastaanottolaitoksiin. Membranitekniikan käyttö kaasujen suodatuksessa on myös mielenkiintoinen aihe, mutta en näe sille suurta käyttötarkoitusta laivoilla, minkä takia sitä ei tässä opinnäytetyössä käsitelty.

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1: Membraani kalvojen ominaisuudet. Zhang, T. C., Surampalli, R. Y., Tyagi, R. D., Kao, C. M., Ong, S. L., Vigneswaran, S. 2012. Membrane technology and environmental applications. American society of civil engineers. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 16.10.2019].

Taulukko 2: Membraani materiaalien ominaisuudet. Mackenzie L, D. 2011. Water and wastewater engineering: design principles and practices. New York: McGraw-Hill. [Viitattu 16.10.2019].

Taulukko 3: Membraani moduulien ominaisuudet. Zhang, T. C., Surampalli, R. Y., Tyagi, R. D., Kao, C. M., Ong, S. L., Vigneswaran, S. 2012. Membrane technology and environmental applications. American society of civil engineers. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 20.10.2019].

Taulukko 4: Membraanien likaantuminen

Taulukko 5: Kyselytutkimuksen kysymys 6. vastaukset

KUVALUETTELO

Kuva 1: Membraanikalvojen erot. Osmotechmembranes.com. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.osmotechmembranes.com/layers.php> [Viitattu 14.10.2019].

Kuva 2: Poikkivirtausmoduuli. Design and Retrofit of the c 2 splitter in a commercial ethylene plant utilizing a new hybrid separation system. Al-Rabiah, A.A. 2019. Verkkosivu. Saatavilla: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-cross-flow-membrane-module_fig2_267920865 [Viitattu 16.10.2019].

Kuva 3: Käänteisosmoosi järjestelmä veden puhdistuksessa.

Kuva 4: Flat-Plate-moduuli. Thembrsite.com. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.thembrsite.com/mbr-flat-sheet-configurations/> [Viitattu 20.10.2019].

Kuva 5: Spiral-Wound moduuli. Design optimixation os a Solar Powered Reverse osmosis Desalination System for Small Communities. Saitou, K. 2013. Verkkosivu. Saatavilla: https://www.researchgate.net/figure/Spiral-wound-RO-module-wwwmembranescom_fig1_267490760 [Viitattu 20.10.2019].

Kuva 6: Tubular eli putkimainen moduuli. Spintek.com. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <http://spintek.com/tubular-membrane-ultrafilters-modules/> [Viitattu 20.10.2019].

Kuva 7: Hollow-Fibre eli onttokuitumoduuli. Akafor.com. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.akafor.com/bilgimerkezi/membran-konfigurasyonu> [Viitattu 20.10.2019].

Kuva 8: Membraanibioreaktori yksiköt. Gurung, K. 2019. Väitöskirja. PDF-tiedosto saatavilla: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159982/Khum%20Gurung%20A4.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Viitattu 5.11.2019].

Kuva 9: Membraanin likaantumisen suhde aikaan ja paine-eroon. Gurung, K. 2019. Väitöskirja. PDF-tiedosto saatavilla: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159982/Khum%20Gurung%20A4.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Viitattu 11.11.2019].

Kuva 10: Itämeren alue. Stateofhtebalticsea.helcom.fi. s.a. 2010. Verkkosivu. Saatavilla: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/helcom-actions/> [Viitattu 22.11.2019].

Kuva 11: Kaavio kyselytutkimuksen vastauksista kysymykseen 1: How many passenger ships does your company operate in the Baltic Sea region?

Kuva 12: Kaavio kyselytutkimuksen vastauksista kysymykseen 2: Does banning blackwater discharge into the Baltic Sea cause investment for your shipping company?

Kuva 13: Kaavio kyselytutkimuksen vastauksista kysymykseen 3: Have you calculated the payback period for investments compared to discharging sewage in port?

Kuva 14: Kaavio kyselytutkimuksen vastauksista kysymykseen 4: Does the new regulation have affect, when choosing sewage treatment plant for the new passenger ship orders?

Kuva 15: Kaavio kyselytutkimuksen vastauksista kysymykseen 5: Does the new regulation cause investments for your existing passenger ships?

Kuva 16: Kaavio kyselytutkimuksen vastauksista kysymykseen 6: Which type of sewage treatment plant you do prefer in your passenger ships?

LÄHTEET

Baker, R. W. 2012. Membrane Technology and Applications. 3. painos. John Wiley & Sons, incorporated. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 27.10.2019].

Gango, A. 2019. Ympäristölainsäädäntö. Luento 3: Marpol III ja IV, Solas, IMDG, antifouling. Luentosarja. Kotka: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. PowerPoint-diat. [Viitattu 18.11.2019].

Gurung, K. 2019. Membrane bioreactor for the removal of emerging contaminants from municipal wastewater and its viability of integrating advanced oxidation processes. Teknillinen tiedekunta. Väitöskirja. PDF-dokumentti saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159982/Khum%20Gurung%20A4.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Viitattu 16.11.2019].

Hartonen, S. s.a. Vesiensuojelu, Suomen Varustamot Ry. WWW-dokumentti saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/vesiensuojelu/> [Viitattu 22.11.2019].

Itämeren rehevöityminen. s.a. WWF julkaisu. WWW-dokumentti saatavissa: <https://wwf.fi/alueet/itameri/rehevoityminen/> [Viitattu 22.11.2019].

Li, N. N., Matsuura, T., Ho, W.S. W. & Fane, A. G. 2008. Advanced membrane technology and applications. American institute of chemical engineers. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 16.11.2019].

Mackenzie, L. D. 2011. Water and wastewater engineering: design principles and practices. New York: McGraw-Hill. [Viitattu 10.11.2019].

Nissinen, M. 2014. Typenpoiston tehostaminen kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa membraanibioreaktorin avulla. Teknillinen tiedekunta. Diplomityö. PDF-dokumentti saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/102211/Diplomity%C3%B6_Miia%20Nissinen.pdf?sequence=4 [Viitattu 16.11.2019].

Valtiosopimus alusten aiheuttaman meren pilaantumisen ehkäisemisestä vuonna 1973 tehtyyn kansainväliseen yleissopimukseen liittyvä vuoden 1978 pöytäkirja 12.10.1983 51/1983 (SopS 51/1983). WWW-dokumentti saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1983/19830051#idp446718928> [Viitattu 22.11.2019].

Zhang, T. C., Surampalli, R. Y., Tyagi, R. D., Kao, C. M., Ong, S. L. & Vigneswaran, S. 2012. Membrane technology and environmental applications. American society of civil engineers. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 18.10.2019].

Xu, T. 2009. *Advances in Membrane Science and Technology*. Nova Science Publishers, Incorporated. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [Viitattu 25.10.2019].

Kyselylomake

Sewage treatment

MARPOL Annex IV entered into force on 1 January 2013 and introduced definition for Special Area and requirements for the discharge of sewage from passenger ships in Special Areas. Regulation for Special Area, which currently only includes Baltic Sea, bans discharging of untreated sewage out at seas in the Baltic area region completely.

The discharge requirements for Special Areas in regulation 11.2 of MARPOL Annex IV shall take effect:

.1 On June 2019 for new passenger ships

.2 On June 2021, for existing passenger ships other than those specified in .3

.3 On June 2023, for existing passenger ships en route directly to or from a port located outside the special area and to or from port located east of longitude 28°10' E within the special area that do not make any other port calls within the special area.

1. How many passenger ships does your company operate in the Baltic Sea region?

0
None Or more

2. Does banning blackwater discharge into the Baltic Sea cause investment for your shipping company?

- Yes
 No

3. Have you calculated the payback period for investments compared to discharging sewage in port?

- Yes
 No

4. Does the new regulation have affect, when choosing sewage treatment plant for the new passenger ship orders?

- No
 Yes

