

Tekniikan kandidaatintyö

**RATKAISUJA MIKROMUOVIENTEN
AIHEUTTAMAAN VESISTÖJEN
SAASTUMISEEN**

Lappeenranta 2018

Elina Heinonen

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of engineering science

Kemiantekniikan koulutusohjelma

**Kemiantekniikan tarjoamat ratkaisut mikromuovien aiheuttamaan
vesistöjen saastumiseen**

Elina Heinonen

Lappeenranta

Kevät 2018

Ohjaaja TkT Mari Kallioinen

Tiivistelmä

Lappeenrannan tekninen yliopisto

School of Engineering Science

Kemiantekniikka

Elina Heinonen

Kemiantekniikan tarjoamat ratkaisut mikromuovien aiheuttamaan vesistöjen saastumiseen

Kandidaatintyö

Kevät 2018

36 sivua, 8 kuvaa ja 2 taulukkoa

Työn tarkastaja: TkT Mari Kallioinen

Hakusanat: mikromuovit, mikromuovien poisto, suodatus, muovijäte, jätevedenpuhdistus

Mikromuoveja päätyy vesistöihin useita eri reittejä, ja niiden poistaminen vesistöistä on miltei mahdotonta. Mikromuovit voivat sisältää makromuovien tavoin vaarallisia kemikaaleja, kuten pehmentimiä, väriaineita ja lujitteita. Ne voivat myös kerätä itseensä vesistöihin päässeitä ympäristömyrkyjä. Vesistöistä mikromuovit voivat päätyä eläinten ja ihmisten elimistöön aiheuttaen suuria terveysuhkia.

Tämän kandidaatin työ käsittelee mikromuovien poistoon kehiteltyjä ratkaisuja. Työssä tarkastellaan erilaisia suodatus ja keräysmenetelmiä ja arvioidaan niiden tehokkuutta mikromuovien poistossa. Työssä tarkastellaan myös erilaisia ehkäisykeinoja, jotka voisivat estää mikromuovien pääsyä vesistöihin. Tutkimuksen perusteella parhaimmat tavat ehkäistä mikromuovien aiheuttamaa vesistöjen saastumista on poistaa suuret muoviroskat vesistöistä ja kehittää vedenpuhdistuslaitosten suodatusmenetelmiä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

School of Engineering Science

Chemical Engineering

Elina Heinonen

Solutions offered by chemical engineering to water pollution caused by microplastics

Bachelor's Thesis

Spring 2018

33 pages, 8 pictures and 2 tables

Inspector of the thesis: D.Sc. (Tech) Mari Kallioinen

Keywords: microplastic, microplastic removal, filtration, plastic waste, wastewater treatment

Microplastics end up in water systems through several different roads and their removal from water is almost impossible. Like macro plastics, microplastics can contain hazardous chemicals like plasticizers, toners and reinforcement components. They can also collect environmental poisons, that are in the water systems, into themselves. Microplastics can end up in living organisms, like animals and humans, causing several health threats.

This bachelor's thesis goes through solutions developed for the removal of microplastics. Different filtration and collection methods are examined, and their effectiveness is evaluated in the removal of microplastics. The thesis also examines various preventive measures that could prevent microplastics from entering the water systems. Based on the research, the best ways to prevent pollution caused by microplastics is to remove big plastic trash particles from the water systems and to improve the filtration methods in wastewater treatment plants.

SISÄLLYSLUETTELO

Lyhenneluettelo	5
1 Johdanto.....	6
2 Materiaalit ja menetelmät	7
3 Muovit	7
4 Mikromuovit.....	10
4.1 Mistä mikromuovit tulevat.....	11
4.2 Miten mikromuovien pääsyä vesistöihin voidaan ehkäistä?	13
5 Mikromuovien poisto vesistöistä.....	14
5.1 THE Ocean Cleanup	15
5.2 Muut muovin keräys laitteet ja menetelmät	16
6 MIKROMUOVIEIN poisto vedenpuhdistamoissa	18
6.1 Suodattimet	20
6.1.1 Ilmaflotaatio	20
6.1.2. Hiekkasuodatus.....	21
6.1.3. Kiekkosuodatin.....	22
6.1.4 Membraanibioreaktori	23
6.1.5 Suodattimien tehokkuus	24
6.2 Öljysuodatus.....	25
6.3 Muovia syövät bakteerit.....	28
7 Johtopäätökset.....	29
Lähdeluettelo	31

LYHENNELUETTELO

PET	Polyeteenitereflaatti
PE-HD	Suuritiheksinen polyeteeni (eng. High density polyethylene)
PE-LD	Pienitiheksinen polyeteeni (eng. Low density polyethylene)
PVC	Polyvinyylikloridi
PS	Polystyreeni
PP	Polypropeeni
O	Muut muovit
MBR	Membraanibioreaktori

1 JOHDANTO

Muovijätteen määrä vesistöissä on huolestuttanut ihmisiä jo pitkään. Joka vuosi noin 12 miljoonaa tonnia muovijätettä ajautuu merivesiin [1]. Merissä muovi aiheuttaa useita ongelmia niin merenkululle ja turismille kuin eläinten ja ihmisten terveydellekin. Muoviroskat jäävät helposti kiinni eläimiin tai tukkivat niiden ruuansulatuskanavan, mikä johtaa usein hoitamattomana eläimen kuolemaan. Muovijäte voi myös kerätä itseensä ympäristömyrkyjä, jotka usein sisältävät haitallisia kemikaaleja. Nämä kemikaalit voivat imeytyä ruuansulatuksen kautta eläimen elimistöön. Nämä samat haitta-aineet voivat päätyä myös ihmisen elimistöön eläinperäisen ravinnon tai veden ja ilman kautta kulkeutuvien mikromuovien kautta.

Mikromuovi on pieni muovihiukkanen, joka on joko valmistettu mikromuoviksi, tai se on suuremman muovin hajoamistuote. Mikromuoveja on erittäin vaikeaa saada pois vesistöistä pienen kokonsa vuoksi. Ne voivat kiertää jopa takaisin hanaveteen ja sieltä ihmiskehoon.[1] Koska mikromuoveja on alettu tarkemmin tutkia ympäristöhaittana vasta 2000-luvun alkupuolella [2], ei mikromuovien terveysvaikutuksista ihmiseen ole vielä paljon tietoa. On kuitenkin syytä uskoa, että ne voivat aiheuttaa vakavia uhkia terveydelle, sillä niiden mukana voi esimerkiksi kulkeutua vaarallisia bakteereja, jotka voivat aiheuttaa muun muassa ripulia ja jopa verenmyrkytyksen. [1]

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuustyö, jonka asiasisältö on koottu jo tehtyjä tutkimuksia lähteeksi käyttäen. Työn tarkoituksena on selvittää, millaisilla kemiantekniikan menetelmillä mikromuovien aiheuttamaa vesistöjen saastumista voidaan ehkäistä ja kuinka niiden pääsyä vesistöihin voidaan estää. Työssä kerrotaan erilaisten suodatus- ja poistomenetelmien toiminnasta ja arvioidaan niiden tehokkuutta mikromuovien poistossa.

2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tämän kandidaatintyön asiasisältö on koottu jo tehdyistä tutkimuksista, jotka on kerätty käyttämällä erilaisia tietokantoja ja kirjallisuuslähteitä. Yleisimmät tietokannat joista tietoa on etsitty ovat Scopus, ACS publications ja Science Direct. Tämän lisäksi olen käyttänyt lähteinä erilaisia uutisia. Tietoa etsittäessä kävi ilmi, että vaikka julkaisuja mikromuoveista erilaisissa konteksteissa oli paljon, ei tietoa mikromuovien poistosta vedestä ollut vielä julkaistu paljon.

Mikromuoveista kertovat tutkimukset ovat lisääntyneet tasaisesti 1970-luvulta noin vuoteen 2010, jonka jälkeen julkaisujen määrä on lähtenyt suureen kasvuun. Tämä siis tarkoittaa, että juuri nyt tehdään kovasti töitä sen eteen, että tehokkaat mikromuovien poistomenetelmät saataisiin käyttöön.

3 MUOVIT

Muovit koostuvat pitkistä polymeeriketjuista, joihin on lisätty erilaisia kemikaaleja, joiden avulla muoviin saadaan halutut ominaisuudet. Tällaisia lisäaineita ovat esimerkiksi pehmentimet, UV-stabilisaattorit, väriaineet ja lujitekomponentit. [3] Polymeerit jaetaan usein kolmeen ryhmään; elastomeerit, kertamuovit ja kestumuovit. Kaikkia näitä muovityyppejä esiintyy ihmisen toiminnan seurauksena luonnossa ja merissä. Mikäli muoveja ei kerätä pois, ne hajoavat ajansaatossa mikromuoveiksi, vaikkakin toiset muovit hitaammin kuin toiset.

Kumimaiset muovit eli elastomeerit ovat joustavia ja venyviä muoveja. Ne voivat venyä yli kaksikertaisiksi verrattuna kokoonsa levossa, ja palautua takaisin alkuperäiseen muotoonsa, kun venytyksen lähde poistetaan. [3] Esimerkiksi ilmapallot ja kuminauhat on valmistettu elastomeereistä. Vuosittain ilmapalloja päätyy luontoon tuhansia, sillä ihmiset pitävät ilmapallojen irti laskemisesta esimerkiksi erilaisissa tapahtumissa. Vaikka näky sadoista leijailevista ilmapalloista on kaunis, on ilmiö erittäin haitallinen ympäristölle.

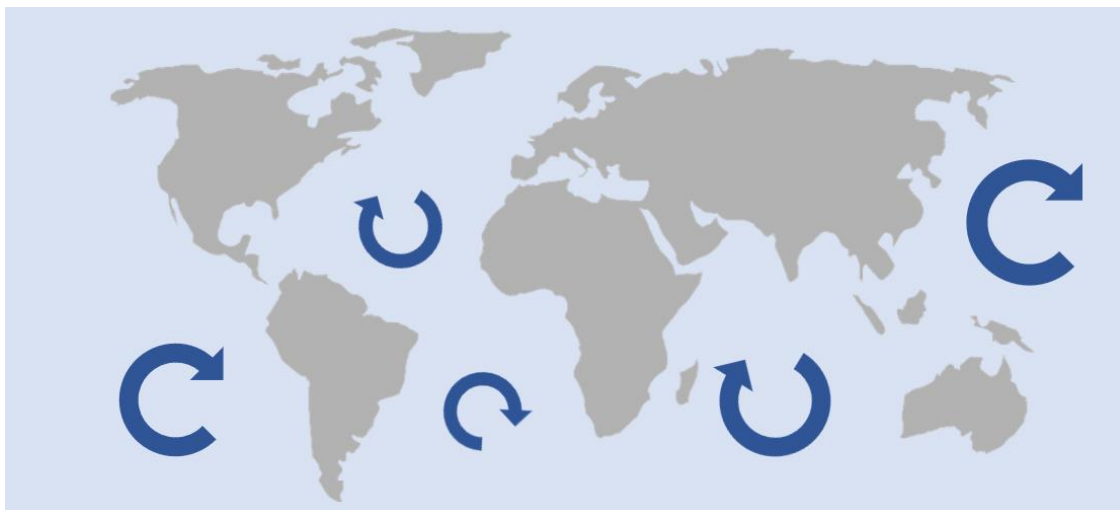
Kertamuovissa molekyyliketjut ovat verkostoituneet niin, että muovi on erittäin kestävä ja sulamatonta. Tämä siis tarkoittaa, että muovi kovettuu vain kerran, jonka jälkeen tuote pysyy

muuttumattomana. Esimerkkejä kertamuoveista ovat fenolimuovit kattiloiden kahvoissa, epoksi kaksikomponenttiliimoissa ja vinyyliesteri auton koreissa. [4]

Kestomuovit ovat kierrätettäviä ja uudelleen muokattavia. Uudelleen muokkauksen yhteydessä muovissa tapahtuu kuitenkin usein hajoamista. Myös UV-valo, hapettuminen ja kemikaalit aiheuttavat muovin ominaisuuksien heikkenemistä. Esimerkkejä kestopuoveista valmistetuista tuotteista ovat muovipussit ja pullot. [4]

Muovin valmistamiseen käytetään hiilivetyjä. Noin 4% tuotetusta öljystä menee uusien muovituotteiden valmistukseen. Muovia voidaan valmistaa myös biopohjaisista materiaaleista, kuten esimerkiksi selluloosasta tai tärkkelyksestä. [3] On arvioitu, että muovituotannon laajamittaisen tuotannon alkamisesta nykypäivään muovia on tuotettu noin 8,3 miljardia tonnia. Tästä määrästä noin 79% on kaatopaikoilla tai kulkeutunut luontoon ja vesistöihin.[5]




Muoviroskaa on kaikkialla merissä ja sisävesissä. Merissä muoviroska kerääntyy pääsääntöisesti rannoille ja merivirtojen kuljettamana ns. jätepyörteisiin valtamerien keskelle. Jätepyörteet ovat niin suuria, että niitä voidaan sanoa ihmisten tekemiksi mantereiksi. Suurin pyörre on pohjoisen Tyynenmeren jätepyörre, jonka on arvioitu olevan jopa kuuden Ranskan valtion kokoinen. [6] Jätepyörteisissä muoviroska hankautuu toisiaan vasten ja hajoaa pienemmiksi muovihiukkasiksi ja lopulta mikromuoveiksi. Kuvassa 1 on esitetty suurimpien jätepyörteiden sijainnit maailman valtamerissä.







Kuva 1. Jätepyörteiden sijainnit valtamerissä.

Taulukossa I on esitelty seitsemän yleisintä muovityyppiä sekä niiden ominaisuuksia ja käyttökohteita. [3] Taulukossa on myös eritelty materiaalin kelluminen merivedessä. Mikäli muovilla on suurempi tiheys kuin merivedellä ($\rho \approx 1,02 \text{ g/cm}^3$) se uppoaa, mikä vaikeuttaa sen poistoa merestä huomattavasti. [7] Pinnan alla muovin hajoaminen myös hidastuu, sillä uv-valo ei yllä hajottamaan sitä. [8] Mutta pinnan alla muovi aiheuttaa yhtä paljon ympäristöhaittoja kuin pinnallakin, ja päätyy luultavammin jonkin eliön ruuaksi.[9] Kaikki taulukossa esitellyt muovit kuuluvat niin sanottuihin valta- ja kuluttajamuoveja, joita valmistetaan paljon. [3] Muovien taulukossa esitellyt ominaisuudet ovat samat huolimatta siitä onko kyseessä suuri muoviroska, vai mikromuovi.

Taulukko I. Yleisempiä muoveja ja niiden ominaisuuksia.

Merkintä	Nimi	Ominaisuudet	Yleiset käyttökohteet	Kelluu/uppoaa
 [15]	polyeteeni-tereflataatti	Kova, kirkas, kemikaaleja kestävä [11]	Vesi- ym. pullot, vaate- ja mattokuidut [12], uunin kestävät pakkaukset ja kalvot, salaattinkastike- ym. pullot [10]	uppoaa $\rho \approx 1,34-1,39 \text{ g/cm}^3$ [7]
 [15]	Polyeteeni high density	Joustava, samea tai värillinen, vahamainen pinta [11]	Kosmetiikka- ja pesuainepullot, [12] virvoitusjuomapullot, roskapöntöt [10]	kelluu $\rho \approx 0,94-0,96 \text{ g/cm}^3$ [7]
 [15]	polyvinyylidikloridi	Monipuolinen, sekoittuu hyvin erilaisten lisäaineiden kanssa, vahva ja kestävä kestää öljyä ja kemikaaleja [10]	Putket, letkut, rakennusmateriaalit [11]	uppoaa $\rho \approx 1,16-1,30 \text{ g/cm}^3$ [7]

 [15]	polyeteeni low density	joustava, kestävä [12], pehmeä, vahamainen pinta [11], kestää osittain kemikaaleja [13]	muovikassit, pussit [11], kokoon puristettavat pullot (esim. hunajapullot) [12]	kelluu $\rho \approx 0,91-$ $0,94\text{g/cm}^3$ [7]
 [15]	polypropeeni	Jäykkä, sitkeä, monikäyttöinen [11], kestää kemikaaleja, kuumuutta ja öljyä [12]	narut, rasiat, kalvot pehmusteet [11] jogurttipurkit, voirasiat, muovipullon korkit [12]	kelluu $\rho \approx 0,90-0,92$ g/cm^3 [7]
 [15]	polystyreeni	kirkas tai värjätty [11], helposti vaahdotettavaa (styroksi) [12] joko haurasta tai iskun kestävää [14]	rasiat, purkit, pehmusteet [11], ruokailuvälineet, lelut [10]	uppoaa $\rho \approx 1,04-$ $1,09\text{g/cm}^3$ [7]
 [15]	muut muovit	kaikkien ylläolevien yhdistelmät riippuen materiaaleista [11]	sipsipussit, cd-levyt, autonosat, puhelimet [10]	-

4 MIKROMUOVIT

Mikromuovit määritellään alle 5 mm suuruisiksi muovinkappaleiksi. Suurin mikromuoveista aiheutuva ongelma on merten ja makeiden vesistöjen saastuminen. Tällä hetkellä on arvioitu, että noin 10 % merissä kelluvasta yli 250 000 tonnista muoviroskaa on mikromuoveja. Mikromuovit ovat pitkäikäisiä ja voivat kerätä itseensä vesistöissä olevia ympäristömyrkyjä,

jotka siirtyvät mikromuoveja syöviin eliöihin. Mikromuoveista voi myös vapautua haitallisia kemikaaleja vesistöihin. [16] Toistaiseksi mikromuovien kautta kulkeutuneita ympäristömyrkyjä ei ole löydetty ihmisistä, mutta mikromuovien lisääntyessä tämän uhan toteutumista voidaan pitää vain ajan kysymyksenä.

Mikromuovit voidaan jakaa kahteen ryhmään, primääriset mikromuovit ja sekundaariset mikromuovit. Primäärisinä mikromuoveina pidetään sellaisia muoveja, jotka on valmistettu mikromuoveiksi. Esimerkiksi kosmetiikassa käytetyt mikrohelmet, jotka kuorivat ihoa, tai teollisuudessa muovituotteidenvalmistukseen käytetyt muovipelletit.[17]

Sekundaariset mikromuovit ovat mikromuoveja jotka ovat irronneet suuremmista muovikappaleista. Esimerkiksi meressä oleva muoviroska voi haurastua uv-valon vaikutuksesta mikromuoveiksi tai vaatteista voi irrota kuituja pyykkäyksen yhteydessä. Yksi suurimmista sekundaaristen mikromuovien lähde on liikenne.[17]



Kuva 2. Mikromuoveja [18]

4.1 MIKROMUOVIIEN PÄÄSTÖLÄHTEET

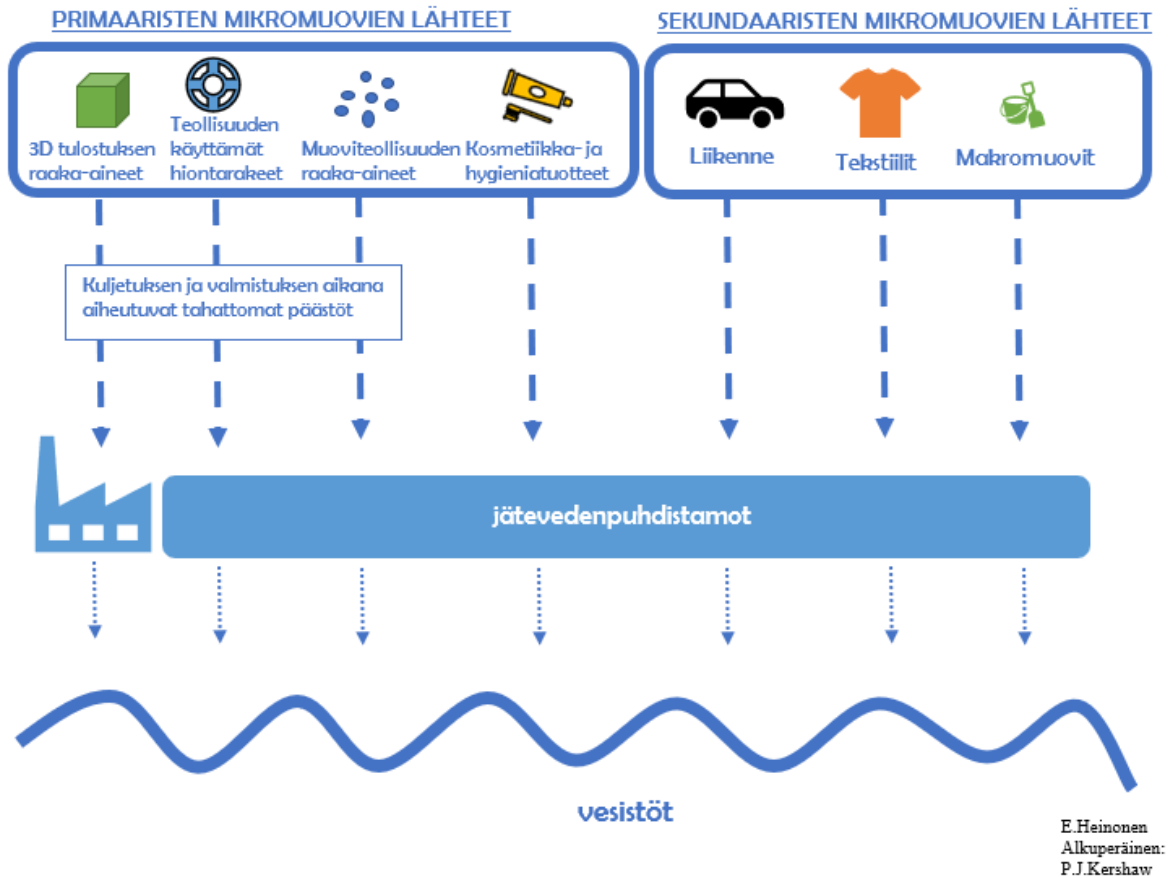
Mikromuoveja voi ilmaantua vesistöihin useista eri lähteistä. Suurimmat maalta peräisin olevien mikromuovien lähteet ovat hulevedet eli sade- ja sulamisvedet, johon liikenteestä aiheutuvat mikromuovit kulkeutuvat, ja yhdyskuntajätevedet. Liikenteessä suurimmat mikromuovien lähteet ovat autonrenkaat ja tiemerkintämateriaalit.[1] Myös rakennustöistä aiheutuu mikromuovipäästöjä.

Yhdyskuntajätevesien mikromuovit ovat useimmiten lähtöisin kosmetiikasta ja hygieniatuotteista, pyykkäyksestä ja kotitalouspölystä [1]. Pyykkäys on suurin mikromuovien lähde, sillä vaatteita pestäessä niistä irtoaa pienen pieniä muovikuituja. Esimerkiksi fleecemangasta pestäessä jokaisessa pesussa irtoaa jopa 200 000 mikromuovikuitua.[19] Kotitalouspölyyn muovia pääsee yleensä elektroniikkalaitteista, leluista, remonteista ja muista muovituotteista.

Teollisuudesta lähtöisin olevat tahattomasti ympäristöön kuljetuksen ja siirtojen aikana pääsevät mikromuovit voivat kulkeutua vesistöihin joko tehtaan jätevesien tai hulevesien kautta. [7]

Jätevesien mikromuoveista noin 99% saadaan poistettua veden puhdistamoissa, mutta pienimmät mikromuovipartikkelit kulkeutuvat silti vesistöihin, joista ne voivat kulkeutua hanavesiin ja jälleen ihmisiin.[17] Kuvassa 3 on esitetty pelkistetty prosessi maalta lähtöisin olevien mikromuovien osalta. Maalta lähtöisin olevien mikromuovien lisäksi on huomioitava vesiliikenteestä peräisin olevat mikromuovit. Vesillä mikromuovin lähteitä ovat esim. kalastus sekä venemaalien ja pinnoitteiden kuluminen. [20] Noin 30% merissä olevasta muoviroskasta tulee merillä purjehtivilta aluksilta. [1]

Tavallinen ihminen ei usein huomaa omia mikromuovipäästöjään eikä välttämättä ymmärrä yhtä suurta mikromuovien lähdettä, roskaamista, jonka ihminen aiheuttaa omalla ajattelemattomuudellaan ja elämäntavoillaan. Luonnon ja vesien roskaaminen aiheuttaa suuria mikromuovipäästöjä [2]. Suuret muoviroskat hajoavat ajan kuluessa mikromuoveiksi. Kuten jo aiemmin mainittiin, muoviroska itsessään aiheuttaa suuria ympäristöongelmia ja vahingoittaa eläimiä. Tämän lisäksi se aiheuttaa ongelmia kalastukselle ja merenkululle sekä on uhka turismille. [21]



Kuva 3. Maalta lähtöisin olevat primaariset ja sekundaariset mikromuovit.

4.2 MITEN MIKROMUOVIEIN PÄÄSYÄ VESISTÖIHIN VOIDAAN EHKÄISTÄÄ?

Mikromuoveja on erittäin hankalaa poistaa vesistöistä, mutta niiden pääsyä sinne voidaan yrittää ehkäistä erilaisin ratkaisuin. Mikromuovien valmistusta voidaan vähentää joko lopettamalla mikromuovien käyttö tietyissä tuotteissa kokonaan tai käyttämällä biopohjaisia ja hajoavia materiaaleja. Yksi tällainen materiaali on selluloosa, jonka käyttöä kosmetiikassa ja vaatteissa on Suomessa tutkittu viime vuosina paljon. [22]

Yksi tapa ehkäistä mikromuovien pääsyä vesistöihin on koittaa rajoittaa niiden käyttöä ja valmistusta. Valtiot ovat alkaneet säätää lakeja mikromuovien kieltämiseksi tietyissä tuotteissa ja tarkoituksissa. Esimerkiksi USA:ssa kosmeettisten mikrohelmiä käyttö on kielletty lailla, ja

useat muut maat ovat siirtymässä noudattamaan samantyyppisiä säädöksiä. Myös jotkut yksittäiset kosmetiikkayritykset ovat luvanneet lopettaa mikrohelmien käytön tuotteissaan vuoteen 2020 mennessä. [22]

Valmistettavien muovituotteiden kierrätys on erittäin tärkeää, jotta mikromuovien tai muoviroskan päätymistä vesistöihin voitaisiin ehkäistä. YK on sitoutunut vähentämään muoviroskan määrää huomattavasti vuoteen 2025 mennessä, ja tulevaisuudessa tavoitteena on valtamerien muovijätteen nollatoleranssi. Tavoitteena on myös puhdistaa rannat muoviroskasta, jotta ne eivät hajoaisi mikromuoveiksi ja kulkeutuisi meriin.[23] Kuten edellä on jo mainittu, muovi on pitkäikäistä, ja yhden muovipullon hajoaminen voi kestää jopa 450 vuotta. Muovipullo hajoaa aina vain pienemmiksi mikromuovikappaleiksi. [1]

Vaikka mikromuovien päätymistä vesistöihin voitaisiin ehkäistä suuresti edellä mainituilla keinoilla, emme kuitenkaan pysty estämään prosessia kokonaan. Vaikka voisimme kieltää primaaristen mikromuovien valmistuksen osittain, emme voi kieltää liikennettä, tai vaatteiden pesua, jotka ovat suurimpia sekundaarisen mikromuovin lähteitä. Ei siis riitä, että yritämme ehkäistä mikromuovien päätymistä vesistöihin, meidän on yritettävä löytää keinoja poistaa ne.

5 MIKROMUOVIENTEN POISTO VESISTÖISTÄ

Tässä osiossa tarkastellaan erilaisia prototyyppivaiheessa olevia muovien poistomenetelmiä. Mikromuoveja on miltei mahdotonta poistaa vesistöistä niiden pienen koon takia, tämän vuoksi tarkastelen enimmäkseen suurempien muovikappaleiden poistolaitteita, jotka estävät sekundaaristen mikromuovien syntyä vesistöissä. Kemiantekniikan kannalta prosessit ovat hyvin tunnettuja ja yksinkertaisia toteuttaa, lähinnä erilaisia suodatuslaitteita ja -menetelmiä. Osa esiteltävistä poistomenetelmistä sijoittuu vedenpuhdistamoihin ja osa luonnonvesistöihin.

5.1 THE OCEAN CLEANUP

Alankomaalainen Boyan Slat uskoo keksineensä ratkaisun merien muoviongelmaan. Hän on perustanut voittoa tavoittelemattoman järjestön The Ocean Cleanup, joka on kehitellyt laitteiston, jonka on arvioitu pystyvän poistamaan noin 42% tyynenmeren pohjoisosan jätepyörteestä kymmenessä vuodessa.[24] Tällä hetkellä laitteistosta on käytössä prototyypppejä, ja mikäli kokeet sujuvat hyvin, täyspitkiä laitteistoja on tarkoitus asentaa vuonna 2020.[25]

Laitteisto koostuu useita kilometrejä pitkistä kelluvista suluista, jotka keräävät meren pinnalla kelluvan muoviroskan sisäänsä käyttäen hyödyksi merivirtoja, jotka työntävät muovin sulkuihin. U-malliset sulut ovat vain noin kolme metriä syviä, ja koostuvat läpäisemättömästä materiaalista. Tämä estää kalojen ja muiden mereneliöiden jäämisen sulkuihin, sillä ne voivat uida sulkujen ali. Sulut on suunniteltu kestävämmän meren vaihtelevia sääolosuhteita ja merenpinnan korkeuden vaihteluita, tällä hetkellä sulkujen on arvioitu kestävän 95% meren sääolosuhteista. Sulkujen lisäksi merelle vietäisiin kokoamisasemia, jotka siirtäisivät muovia merestä säiliöön. Suuret partikkelit nostetaan säiliöön kuljetushihnan avulla, ja pienemmät imetään pumpun avulla. Asemat on myös varustettu murskaimella, joka jauhaa suuret muovipartikkelit pienemmiksi. Koko laitteisto on ankkuroitu merenpohjaan ja toimii aurinkoenergian avulla. [24] Muoviroska kerättäisiin suluilta ja säiliöstä laivalla kuuden viikon välein, ja myytäisiin kierrätysmateriaaliksi. [26]

Laitteisto on kuitenkin herättänyt epäilystä ja sen toiminnasta on esitetty huolia. Vaikka laitteiston ei pitäisi vahingoittaa meren eliökantaa, on huomautettu, että laitteisto voisi olla vaarallinen meressä eläville eliöille, jotka kelluvat meren pinnalla ja eivät täten pysty sukeltamaan sulun ali. Pienet eliöt voivat myös joutua imetyksi roskan mukana laitteistoon. Koska laitteistosta on käytössä vasta prototyypppejä, ei laitteiston merenkestävyydestä voi olla varma, ja mikäli jokin menisi rikki keskellä merta, korjaustyöt olisivat kalliita.[26] Mikäli The Ocean Cleanup kuitenkin toimii lupaamallaan tavalla, se vaikuttaa tällä hetkellä parhaalta vaihtoehdolta poistaa muoviroskaa meristä.

Vaikka The Ocean Cleanup –laitteisto ei pysty poistamaan mikromuoveja, se auttaa vähentämään mikromuovien määrää poistamalla suuret muovikappaleet, joka muuten

hajoaisivat ajan kuluessa mikromuoviksi. Pienimmät partikkelit jota laitteisto itsessään pystyy poistamaan ovat 10mm [25]

5.2 MUUT MUOVIN KERÄYS LAITTEET JA MENETELMÄT

The Ocean Cleanup-laitteistoa pienempiä muoviroskan poistomenetelmiä on jo otettu käyttöön. Erilaisista keräilijäaluksista, verkoista, uivista meriroskiksista ihmisjoukkojen muodostamiin keräilijäryhmiin. Erilaisia laitteita ja menetelmiä on vuosien saatossa kehitelty useita, mutta suurin osa näistä keksinnöistä ei ole toiminut tarpeeksi tehokkaasti tai niitä ei ole otettu laajamittaiseen käyttöön. Menetelmät eivät lupaa puhdistaa yhtä suurta osaa merten muovijätteestä kuin The Ocean Cleanup, mutta ne ovat silti tärkeitä. Suurin osa menetelmistä poistaa ensisijaisesti sekundaarisen mikromuovin lähteitä, eli makromuoveja. Tässä kappaleessa esitellään näistä muutamia menetelmiä ja laitteistoja.

Yksi helppo tapa kerätä muoviroskaa meristä on uiva roskakori Seabin. Seabin on automaattinen jätteenkerääjä, joka toimii parhaiten satamissa. Seabin asennetaan veteen niin, että sen suuaukko on muutaman senttimetrin veden pinnan alapuolella. Seabin kytketään pumppuun, joka imee vettä roskiksen sisään, jolloin kelluvat roskat ja osa haitallisista nesteistä, kuten öljy, imeytyvät sen sisään.[27] Seabin pystyy siis itsessään poistamaan myös mikromuoveja, mikäli ne kelluvat veden pinnalla. Vesi poistuu laitteiston alapuolelta, ja jäte jää keräyspussukkaan. Seabinistä käytännöllisen tekee sen pieni koko, ja helppokäyttöisyys, sillä Seabinin käyttöön ei tarvita kuin yksi henkilö.[27] Suomi on yksi Seabin Projectin pilottikumppani ja Seabin roskiksia on jo asennettu muutamaankin Helsingin satamaan.[28]

Seabinin kaltainen laitteisto toimii myös Baltimoressa. Jones Falls joella on otettu käyttöön satamassa toimiva roskankeräys laitteisto, joka käyttää veden virtausta hyödykseen. Paikalliset kutsuvat laitteistoa nimellä ” Mr. Trash Wheel”. Virtaava vesi pyörittää siipiratasta, joka vetää liukuhinnan avulla roskaa vedestä jätepuuhuonon. Mikäli virtausta ei ole, laitteisto toimii aurinkoenergian avulla. [29] Laitteisto on Seabiniä isompi, ja vaatii siis enemmän tilaa ja

useamman työntekijän esimerkiksi täyden proomun vaihtoon. Toisaalta laitteisto voi kerätä myös enemmän roskaa yhdellä proomun vaihtovälillä. Laitteisto on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Mr. Trash Wheel-laitteisto. Aurinkokennot on asennettu laitteiston päälle, taaksepäin kaartuvaan osaan. [30]

Myös yksittäiset roskien keräilyryhmät ovat tärkeä osa muoviroskaongelman ratkaisua. Erilaiset yritykset ja vapaaehtoisryhmät keräävät rannoille ajautunutta muovia, jotta se ei päätyisi takaisin mereen. Ihmiset pystyvät myös siihen mihin mikään laitteisto ei pysty, keräämään meren pohjassa olevaa muovia.

4Ocean on yritys, jonka on perustanut kaksi surffaria. Harrastuksensa parissa he huomasivat meren olevan täynnä muovia ja he päättivät tehdä asialle jotain. Yritys alkoi pienestä, vain he kaksi keräilivät muovia meren pinnalta ja sukeltelivat poistaakseen roskaa myös meren pohjasta. Nykyään yritys on kasvanut ja levinnyt maailmanlaajuisesti. Se on järjestänyt keräilyjä 16 maassa ja kerää roskaa seitsemänä päivänä viikosta. Yritys työllistää muutamia henkilöitä mutta toimii suureksi osaksi vapaaehtoisten avulla. Keräyksiä järjestetään niin rannoilla, kuin meren pinnalla ja pinnan alla. Yritys rahoittaa toimintansa myymällä keräämistään roskasta valmistettuja rannekoruja. Jokaista myytyä korua kohden he lupaavat poistaa puolikiloa roskaa merestä. Vuonna 2018 4Oceanin tavoite on poistaa 500 000 kiloa muoviroskaa merestä. [31]

6 MIKROMUOVIEN POISTO VEDENPUHDISTAMOISSA

Vedenpuhdistuslaitokset ovat kotitalouksista jätevesien mukana tulevien mikromuovien paras poistomenetelmä. Jätevedenpuhdistamoissa voidaan poistaa jätevesien mikromuovit erilaisten suodattimien avulla, mikä ehkäisee niiden päätymistä vesistöihin.

Jätevedenpuhdistus jaetaan yleensä kolmeen osaan: biologiseen puhdistukseen, kemialliseen puhdistukseen ja mekaaniseen puhdistukseen. [32] Jotta voidaan kunnolla tutkia, miten mikromuoveja poistetaan jätevedenpuhdistamoissa, on hyvä selvittää päävaiheiltaan yksinkertaistettuna koko jätevedenpuhdistus prosessi.

Ensimmäinen vaihe mekaanisessa puhdistuksessa on jäteveden välppäys. Välppäyksessä vedestä poistetaan kaikki myöhempiä prosesseja haittaavat ja laitteita vahingoittavat vierasesineet, kuten vanupuikot, terveyssiteet ja hammasharjat.[32] Tällöin siis jätevedestä pyritään poistamaan kaikki sekundaarisen mikromuovin lähteet, sekä suurempaan jätteeseen tarttuneet mikromuovikappaleet.

Välppä koostuu seuloista, joiden läpi vesi pääsee virtaamaan, mutta seulakokoa isommat roskat ja muut partikkelit jäävät niihin kiinni. Roskat kaavitaan seuloista ja siirretään kaatopaikalle. Välppäys voidaan suorittaa useammassa osassa erikokoisilla seuloilla.[33]

Toinen mekaanisen puhdistuksen vaihe on hiekan ja rasvan erotus. Hiekanerotuksessa raskaat hiekanjyvät laskeutetaan altaan pohjalle. Laskeutuksen aikana allasta ilmastetaan, mikä aiheuttaa altaassa kevyen sekoituksen ja estää kevyttä orgaanista ainesta eli rasvaa laskeutumasta, vaan nostaa sen altaan pinnalle. [32]

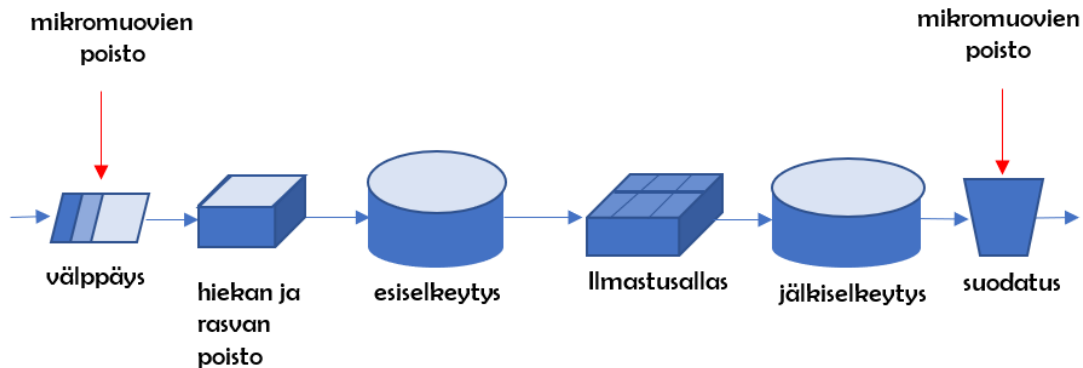
Viimeinen mekaanisen puhdistuksen vaihe on esiselkeytys, jonka tarkoituksena on saada kaikki kiinteä aine laskeutumaan altaan pohjalle. Selkeytysaltaiden tulee olla riittävän suuria, jolloin veden virtausnopeus laskee ja kevyetkin partikkelit ehtivät laskeutua pohjalle. Altaan pohjalle laskeutunut kiintoaine kerätään pois ja ohjataan lietteenkäsittelyyn.[33]

Mekaanisen puhdistuksen jälkeen vesi johdetaan joko biologiseen- tai kemialliseen vedenpuhdistukseen, tai niiden yhdistelmään rinnakkaissaostukseen [32]. Biologinen vedenpuhdistus koostuu aktiivilietemenetelmästä, jonka tarkoituksena on poistaa ennen kaikkea jäteveden typpi, mutta siinä voidaan poistaa myös muita kemikaaleja, kuten hiilivetyliuottimia ja fosforia. Aktiivilietemenetelmässä hyödynnetään vedessä olevia bakteereja, jotka ilmastetussa altaassa käyttävät veden epäpuhtauksia ravintonaan vapauttaen hiilidioksidia ja vettä. Bakteerit muodostavat flokkeja, jotka laskeutuvat altaan pohjalle. [34]

Kemiallisessa vedenpuhdistuksessa tarkoituksena on poistaa jäteveden fosfori joko alumiini-, rauta- tai kalsiumsuoloina. Suomessa saostumiskemikaalina käytetään usein ferrosulfaattia ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) joka on edullinen eikä vaikeuta biologista typen tai fosforin poistoa. [32]

Rinnakkaissaostuksessa käytetään molempia menetelmiä samaa aikaa. Esimerkiksi lisäämällä ferrosulfaatti jo mekaanisen puhdistuksen vaiheessa veteen, jolloin saostuneet fosforiyhdisteet poistuvat esiselkeytyksen tai aktiivilietemenetelmän aikana.[33]

Biologisen- ja/tai kemiallisen puhdistuksen vesi kulkeutuu jälkiselkeytysaltaisiin, jossa viimeisetkin flokit laskeutuvat. Tämän jälkeen prosessissa on yleensä jonkinlainen suodatusprosessi, jonka jälkeen vesi on valmista laskettavaksi vesistöihin. Suurin osa mikromuoveista saadaan yleensä poistettua tässä suodatusvaiheessa. Tavallisesti suodatus tehdään flotaatiosuodatuksen ja hiekkasuodatuksen peräkkäisenä yhdistelmänä mutta muitakin vaihtoehtoja on olemassa. [34] Kuvassa 5 on esitetty jätevedenpuhdistamon kaaviokuva pääpiirteittäin. Punaiset nuolet merkitsevät kohtia, jossa mikromuovia tai sekundaarisen mikromuovin lähteitä poistetaan eniten. Mikromuoveja poistuu mahdollisesti pieniä määriä myös muissa vaiheissa.



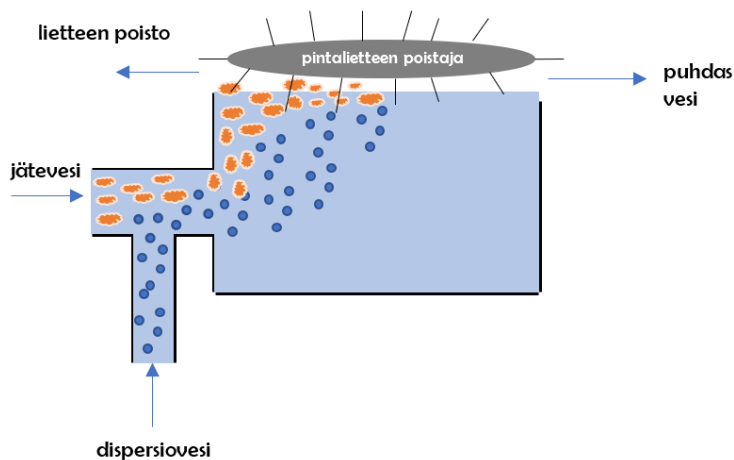
Kuva 5. Jätevedenpuhdistuksen päävaiheet. Punaiset nuolet merkitsevät paikkoja, joissa mikromuovia tai sekundaarisen mikromuovin lähteitä poistuu eniten.

6.1 SUODATTIMET

Talvitie et al. [35] testasivat erilaisten suodattimien tehoa mikromuovien poistossa selvittääkseen, mikä menetelmä oli tehokkain. Tutkijoiden tutkimat teknologiat olivat nopea hiekkasuodatus, mikroseulakiekkosuodatin, membraanibioreaktori, sekä flotaatio. Kaikki muut kokeet, paitsi flotaatio ja hiekkasuodatus, suoritettiin pilottimittakaavan laitteistoilla. Kaikkien tutkimukseen osallistuneiden vedenpuhdistamoiden puhdistusprosessi perustui aktiivilietemenetelmään.

6.1.1 ILMAFLOTAATIO

Ilmaflotaatio perustuu kiintoaineen poistoon nesteestä ilmakuplien avulla. Vettä kyllästetään ilmalla korkeassa paineessa muodostaen dispersioveettä, ja pumpataan sitten jäteveden kanssa ilmanpaineessa olevaan flotaatioaltaaseen, jossa vedessä vapautuvat ilmakuplat nostavat kiintoaineen pinnalle.[35] Pinnalta kiinteät partikkelit voidaan poistaa joko säännöllisellä ylijuuksutuksella tai kaavintalaitteella [36], kuten Talvitie et al.[35] olivat kokeessa tehneet. Ennen flotaation aloittamista, jäteveteen lisättiin polyalumiinikloridia 40ml/L flokkulaation edistämiseksi. Testi suoritettiin Paroisen jätevedenpuhdistamolla Hämeenlinnassa. Kuvassa 6 on esitetty flotaatiolaitteiston yksinkertaistettu toimintaperiaate.

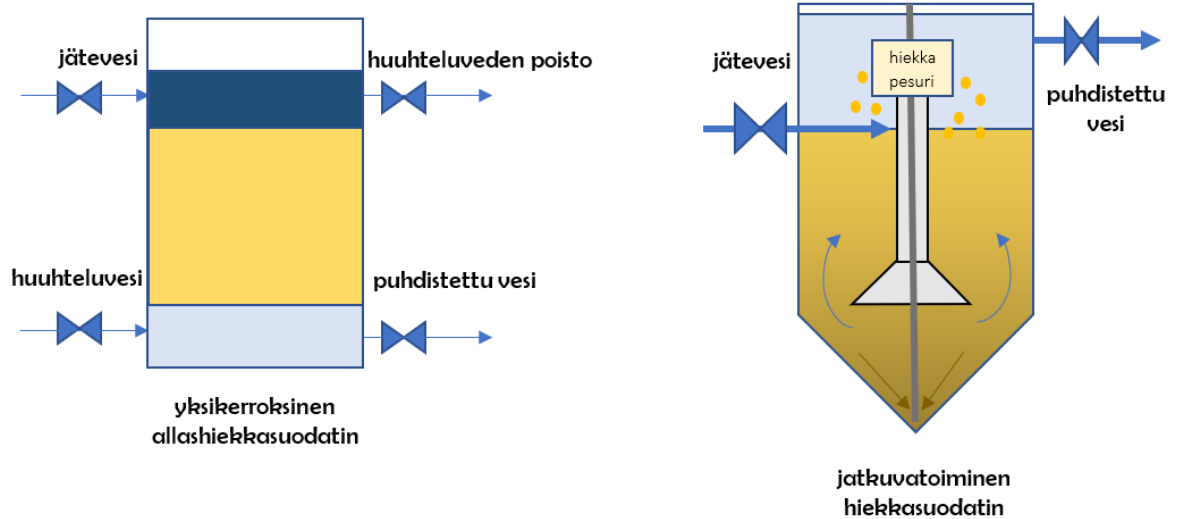


Kuva 6. Flotaatiolaitteiston yksinkertaistettu toimintaperiaate

6.1.2. HIEKKASUODATUS

Hiekkasuodatin voi olla joko allassuodatin tai jatkuvatoiminen suodatin. Nopeassa allassuodatuksessa vesi virtaa painovoiman ansiosta hiekkamassan läpi ylhäältä alaspäin. Hiekkasuodatin voi olla joko yksi tai kaksikerroksinen, mutta on tärkeää pitää kerrokset erillään toisistaan, sillä kerrosten sekoittuminen voi heikentää suodattimen suodatuskykyä huomattavasti. Suodattimessa kevyemmät mutta karkeat partikkelit ovat pinnalla, ja painavimmat partikkelit pohjalla. Avosuodatin täytyy pestä aika ajoin vastavirta pesulla, jolloin suodattimeen kertynyt kiintoaine poistuu.[37]

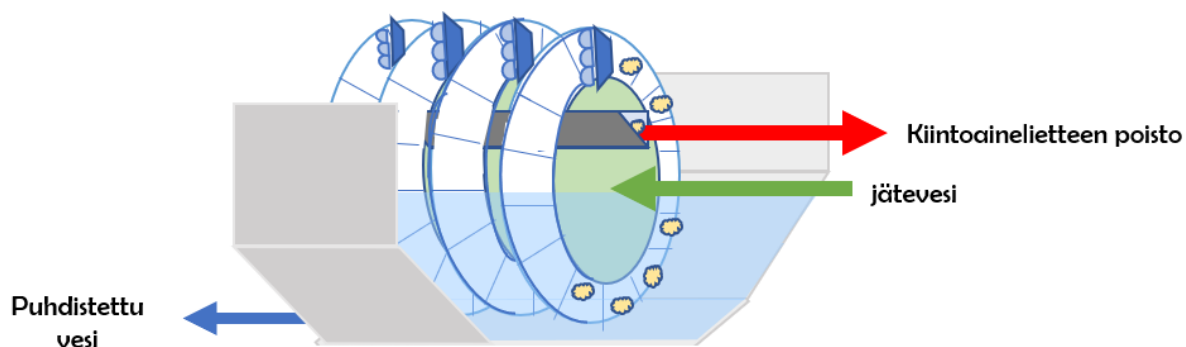
Jatkuvatoimisessa hiekkasuodattimessa jätevesi syötetään hiekkamassan alle, josta se nousee ylöspäin ja poistuu säiliön päältä. Toisin kuin allassuodatin, jatkuvatoimista suodatinta ei tarvitse pysäyttää pesun ajaksi. Likaantuneen hiekan pesu tapahtuu jatkuvatoimisesti, kun koneisto siirtää pohjalla olevaa hiekkaa hiekkapesurin kautta altaan pinnalle. [38] Kuvassa 7 on esitetty yksikerroksisen avosuodattimen toimintaperiaate ja jatkuvatoimisen hiekkasuodattimen toimintaperiaate. Talvitie et al.[35] kokeessa on kyseessä kaksikerros-avosuodatin, jossa oli metri soraa, jonka raekoko oli 3-5 mm ja puoli metriä kvartssia jonka raekoko oli 0,1-0,5 mm. Testi suoritettiin Kakolanmäen jätevedenpuhdistamossa Turussa.



Kuva 7. Yksikerroksisen allashiekkasuodattimen ja jatkuvatoimisen hiekkasuodattimen yksinkertaistettu toimintaperiaate.

6.1.3. KIEKKOSUODATIN

Kiekkosuodattimessa kiekolla olevat mikroseulapaneelit suodattavat jätevettä painovoiman avulla. Peräkkäin asetetut kiekot on sijoitettu osittain veden alle. Jätevesi tulee sisään kiekon keskiosasta ja vesi virtaa seulan läpi jättäen kiekolle lietekerroksen. Kun liete alkaa tukkia seulaa, veden pinta kiekolla nousee, mikä aiheuttaa pesurin aktivoitumisen. Paineistetut pesusuihkut sijaitsevat kiekon yläpäässä vedenpinnan yläpuolella, kiekko pyörii ympäri ja pesurit poistavat kiekolle jääneen kiintoaineen seulan pinnasta. Pesuri käyttää putsaukseen suodatettua vettä, jota on kertynyt kiekkojen toiselle puolelle.[39] Kuvassa 8 on esitetty kiekkosuodattimen yksinkertaistettu toimintaperiaate.



Kuva 8. Kiekkosuodattimen toimintaperiaate.

Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamossa tehdyssä pilottikokeessa kiekkosuodatin koostui kahdesta peräkkäisestä kiekosta, joissa molemmissa oli 24 mikroseulapaneelia. Kokonaissuodatuspinta-ala oli $5,76 \text{ m}^2$ ja seulan huokoskoko oli joko 10 tai $20 \mu\text{m}$. Kiekkosuodattimen viipymäaika oli 4 min ja virtaus noin $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Hiukkasten ja ravinteiden poistamisen tehostamiseksi kokeessa jäteveteen lisättiin saostusainetta ja katalyytteja.[35]

6.1.4 MEMBRAANIBIOREAKTORI

Membraanibioreaktori (MBR) yhdistää aktiivilieteprosessin ja membraaniteknologian, eli se pystyy siis poistamaan niin kiintoaineet, kuin liuenneetkin aineet kuten lääkeaineet, bakteerit ja ravinteet. [35] Prosessin alkupää on samanlainen kuin perinteisessä vedenpuhdistamossa, ero tulee ilmastusaltaan jälkeen. Jätevesi johdetaan ilmastusaltaasta paineen avulla puoliläpäisevän membraanikalvon läpi. [40] MBR:llä käsitelty vesi saadaan niin puhtaaksi, ettei vesi tarvitse enää käsittelyn jälkeen muita suodatuksia, jälkiselkeytystä tai desinfiointia. Käsittelyn jälkeen vesi voidaan laskea suoraan vesistöihin tai kierrättää. MBR-laitteisto on muihin suodatinlaitteistoihin verrattuna pienempi ja koska vesi ei tarvitse käsittelyn jälkeen muita vaiheita, tilantarve pienenee noin 30%:iin tavallisiin laitteistoihin kuten hiekkasuodattimiin verrattuna.[41]

Kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa käytettävät membraanit ovat usein joko tasomembraaneja tai onttokuitumembraaneja, jotka on valmistettu erilaisista polymeereistä. On olemassa myös keraamisia- ja metallisia kalvoja, mutta koska nämä materiaalit ovat kalliimpia polymeereihin verrattuna, on niiden käyttö MBR:ssä vielä harvinaista. [42] On myös olemassa membraaneja, jotka yhdistävät taso- ja onttokuitumembraanin ominaisuuksia, tästä esimerkkinä Alfa Lavalin hollow sheet-membraani. Näiden lisäksi on vielä putkimaisia membraaneja. Mikäli membraani on upotettu ilmastusaltaaseen, valitaan usein taso- tai onttokuitumembraani. Jos taas MBR-yksikkö sijoitetaan altaan ulkopuolelle, valitaan usein putkimembraani. [40]

Upotettu MBR-yksikkö sijoitetaan suoraan aktiivilietealtaan loppupäähän. Tämä menetelmä aiheuttaa vähiten investointikustannuksia, ja laitteiston rakenne on yksinkertainen. Upotettu MBR-laitteisto kuluttaa myös vähemmän energiaa, kuin altaan ulkopuolelle sijoitettu laitteisto, sillä siinä ei ilmene putkistoista johtuvaa painehäviötä. Ulkoinen MBR-laitteisto yhdistetään aktiivilietealtaaseen putkistolla. Ulkoisessa yksikössä suurin hyöty on laitteiston helppo käsiteltävyys. Laitteistoa voidaan korjata häiritsemättä aktiivilietealtaan biomassan toimintaa [40]

Membraanibioreaktorin toimintaa mikromuovien poistossa Talvitie et al.[35] tutkivat Mikkeliissä Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamossa. Upotettu MBR pilottilaitteisto koostui 20 tasomembraanista. Vesi pumpattiin alipaineen avulla kalvon läpi, ja kerättiin erilliseen altaaseen. Suodatuspinta-ala oli 8 m^2 ja kalvojen nimellinen huokoskoko oli $0,4\mu\text{m}$. Viipymääjat vaihtelivat 20-100 h ja virtaus 40-90 l/h.

6.1.5 SUODATTIMIEN TEHOKKUUS MIKROMUOVIER POISTOSSA

Talvitie et al.[35] tutkimuksessa vedestä otettiin useita rinnakkaisnäytteitä ennen suodatusta ja sen jälkeen. Näytteet suodatettiin kokeita varten rakennetussa suodatinlaitteistossa, jotta nähtäisiin, paljonko mikromuoveja veteen oli jäänyt. Suodatinlaitteisto koostui 300, 100 ja 20 μm :n seuloista. Kokeiden perusteella kaikki menetelmät olivat poistaneet yli 95%

mikromuoveista. Parhaan tuloksen tuotti membraanibioreaktori, joka poisti 99,9 % mikromuoveista jätevedessä.

Toiseksi paras tulos oli 20 µm:n seulalla varustettu kiekkosuodatin, joka poisti 98,5 %, mutta 10 µm:n seula poisti vain 40 %:a mikromuoveista. Tulos oli yllättävä, sillä pienemmän seulakoon odotettiin suodattavan mikromuoveja paremmin. Tuloksen oletettiin johtuneen kyseisen suodatuksen aikana jätevedenpuhdistamolla tapahtuneista häiriöistä, joiden takia suodatettavassa näytteessä oli paljon tahmeita polymeeriflokkeja. Flokit tukkivat seulaa nopeasti, jonka takia seulaa oli putsattava tavallista useammin. Tutkijat arvioivat, että pesun aikana mikromuoveja painautui seulan läpi.

Hiekkasuodatin poisti 97,1% mikromuoveista ja flotaatiolaitteisto pystyi poistamaan niistä 95 %: a. Talvitie et al. tutkimuksen perusteella MBR suodatusteknologia olisi tutkituista menetelmistä paras mikromuovien poistamiseksi jätevedestä. Membraanibioreaktorin käyttö olisi suositeltavaa myös sen muiden ominaisuuksien, kuten pienemmän tilantarpeen kannalta verrattuna muihin esiteltyihin suodatuslaitteistoihin.

6.2 ÖLJYSUODATUS

Helsingin metropolia ammattikorkeakoulussa on tehty laboratoriokokeita, joissa mikromuovia poistetaan vedestä kaksifaasierotuksen avulla. Tutkimuksesta tehdyssä julkaisussa tutkijat kutsuvat menetelmää öljysuodatuksiksi. Öljysuodatuksessa veteen, jossa on muovihiukkasia, lisätään orgaanista ainetta, kuten kasviöljyä. Muovihiukkaset siirtyy öljyyn, ja vesi voidaan poistaa puhtaampana.[43]

Tutkimuksessa erilaisia muoveja jauhettiin mikromuoveiksi ja sekoitettiin puhtaaseen veteen. Käytettyjä muoveja olivat PE-HD, PE-LD, PP ja PS. Veteen lisättiin hieman pesuainetta, jotta mikromuovit eivät jäisi veden pinnalle vaan sekoittuisivat kunnolla veteen. [43]

Kokeita tehtiin kaksi erilaista, ensimmäisessä kokeessa öljy lisättiin erotussuppiloon ensin, ja vesi ja muovi seoksen lisäämisen jälkeen seosta ei sekoitettu. Toisessa kokeessa komponentit lisättiin erotussuppiloon ja seosta sekoitettiin voimakkaasti. Erotussuppilon jälkeen faasit

suodatettiin suodatuspaperin läpi ja kuivattiin uunissa, jotta nähtäisiin, kuinka paljon mikromuoveja menetelmä poisti vesifaasista. [43]

Kokeissa huomattiin, että mikromuovit siirtyvät öljyfaasiin, mutta molemmissa kokeissa mikromuoveja myös jäi vesifaasiin. Suodatuksen jälkeen, ensimmäisessä kokeessa vesifaasista oli pystytty poistamaan noin 50-93% mikromuoveista, kun taas kokeessa kaksi mikromuoveja oli poistettu noin 80-93%. Kokeiden perusteella sekoittaminen on siis tehokkaampi tapa poistaa mikromuoveja vesifaasista, mutta erot kokeiden välillä eivät olleet muutamaa prosentti yksikköä suurempaa, paitsi polystyreenin tapauksessa. Seosta voimakkaasti sekoitettaessa polystyreeniä siirtyi öljyfaasiin lähes 40% enemmän. [43]

Kokeista huomattiin, että öljysuodatusta on mahdollista käyttää veden puhdistuksessa esimerkiksi esikäsitteilymenetelmänä, mutta se ei poista kaikkea mikromuovia, jolloin se tarvitsee toisen poistomenetelmän rinnalleen. Parhaiten menetelmällä voi poistaa mikromuoveja, joiden tiheys on korkeampi kuin veden. Mikäli kyseistä menetelmää alettaisiin hyödyntämään vedenpuhdistamoissa, on otettava huomioon erilaiset olosuhteet verrattuna laboratorio-olosuhteisiin. Laboratoriokokeissa käytettiin puhdasta vettä, mutta vedenpuhdistamoissa vedessä on paljon erilaisia saasteita ja kemikaaleja, jotka voivat muokata mikromuovien käyttäytymistä. [43]

Öljysuodatuksen käyttö vedenpuhdistamoissa teollisessa mittakaavassa ei vaikuta järkevältä vaihtoehdolta mikromuovien poiston kannalta, sillä se ei pärjää nykyisin käytössä olevien menetelmien rinnalla. Esimerkiksi Suomessa yleisimmin käytössä oleva hiekkasuodatin poistaa 4-47 %:a enemmän mikromuoveja kuin öljysuodatus, riippuen öljysuodatuksen sekoituksesta. Taulukossa II on vertailtu kappaleessa 6.1 esitettyjen suodatusmenetelmien ja öljysuodatuksen mikromuovien poistoprosentteja.

Teollisen mittakaavan prosessissa öljyä täytyisi olla paljon, ja sitä pitäisi pystyä kierrättämään prosessissa, sillä öljy täytyisi myös putsata siihen siirtyneistä muoveista ja muista epäpuhtauksista tasaisin välein. Tämä toisi paljon lisäkustannuksia puhdistuslaitokselle. Öljysuodatuksen tulisi tapahtua suljetussa ympäristössä ja tulisi varmistaa, että öljyä ei siirry veden mukana eteenpäin. Öljysuodatus ei myöskään poista kaikkia mikromuoveja, jolloin se

tarvitsisi seurakseen jonkin toisen suodatus menetelmän. Mikäli menetelmää haluttaisiin hyödyntää, olisi tutkittava kuinka jäteveden sisältämät eri yhdisteet vaikuttaisivat öljysuodatuksen mikromuovipoistokapasiteettiin. Toisin kuin laboratoriossa käytetyssä puhtaassa vedessä, jätevedessä on paljon epäpuhtauksia bakteereista ja kiinteistä aineista muihin kemikaalisiin haitta-aineisiin, kuten lääkkeisiin. Jos näitä epäpuhtauksia pääsisi sekoittumaan öljyyn, olisi öljyn puhdistus haastavaa.

Jos öljysuodatusta välttämättä kaikista seikoista huolimatta haluttaisiin käyttää, se olisi sijoitettava esimerkiksi ennen hiekkasuodatusta. Voisi myös tutkia mahdollisuutta, olisiko öljysuodatusta mahdollista yhdistää ilmaflotaation kaltaiseen laitteistoon. Öljyn syöttökohta sijoitettaisiin dispersioveden syöttökohdan jälkeen, jolloin vapautuvat ilmakuplat sekoittaisivat öljyn veteen. Mikromuovi sekoittuisi öljyyn ja öljy nousisi veden pinnalle josta se poistettaisiin mahdollisesti imemällä.

Taulukko II. Vertailu mikromuovien poistomenetelmistä vedestä.

Menetelmä	Mikromuoveja poistettu vedestä, %
Öljysuodatus, sekoittamaton	50-93 [43]
Öljysuodatus, sekoitettu	80-93 [43]
Hiekkasuodatus	97 [35]
Ilmaflotaatio	95 [35]
Kiekkosuodatin, 10 µm seula	40 [35]
Kiekkosuodatin, 20 µm seula	99 [35]
Membraanibioreaktori	100 [35]

Taulukkoa II tarkastellessa on otettava huomioon, että menetelmien testiolosuhteet vaihtelevat, mikä siis vaikuttaa tuloksien vertailtavuuteen. Esimerkiksi öljysuodatuskokeissa on käytetty puhdasta vettä ja muissa jätevettä. Kokeiden aikana on myös ollut erilaisia tuloksiin vaikuttavia häiriötekijöitä, jonka takia esimerkiksi 10 µm kiekkosuodattimen tulos on alhaisempi, kuin suuremman 20 µm suodattimen tulos.

6.3 MUOVIA SYÖVÄT BAKTEERIT

Muovia syöviä bakteereja on löydetty erilaisista muovia syövästä toukista, ja nyt tutkitaan, ovatko löydetty bakteerit luonnollinen ratkaisu muoviongelmaan. Löydöksiä muovia hajottavista toukista ja bakteereista on tehty viime vuosikymmenen aikana useita, mutta tutkimukset löydöksiä hyödyntämiseen teollisessa mittakaavassa ovat vielä kesken tai riittämättömiä. Tässä kappaleessa käsittelemme muutamia näistä löydöksistä.

Yoshida et al. [44] on löytänyt bakteerilajikkeen, joka pystyy hajottamaan PET muoveja. Kyseinen bakteerilaji *Ideonella sakaiensis* 201-F6 tuottaa PET-muovia hajottavia entsyymejä ja käyttää siten muovia ravinnokseen. Bakteeri löydettiin pullonkierrätyslaitoksen ulkopuolelta kerätyistä muovikappaleista. Tutkijoiden mukaan bakteerit ovat kehittäneet kyseisen kyvyn viimeisen 70 vuoden aikana, kun muovin määrä ympäristössä on lisääntynyt. Bakteeri pystyi tuhoamaan peukalonkynnen kokoisen palan pienitiheyksistä muovia kuudessa viikossa [45], mutta esim. muovipulloissa käytettävän kiteytetyn PET muovin hajottaminen vei enemmän aikaa [46].

Muovia syöviä toukkalajikkeita on löydetty ainakin kaksi. Molemmat lajikkeet ovat vahakoisia. [47] Vuonna 2014 Yang et al. [48] huomasivat, että vahakoisalaji intianjauhokoisa (*Plodia interpunctella*), kykenee käyttämään muovia ravinnokseen. 60 päivän aikana toukasta erotetut bakteerit *Enterobacter asburiae* and *Bacillus sp* pystyivät hajottamaan 100 mg PE-muovifilmistä 6,1±0,3% ja 10,7±0,2%.

Toisen muovia syövästä toukkalajikkeen löysi mehiläisharrastaja evoluutiobiologi Federica Bertocchini, kun hän oli puhdistamassa mehiläispesiensä kenoja. Koska toukat syövät nimensä mukaan vahaa, ne ovat vahingollisia mehiläispesille, sillä ne syövät pesien mehiläisvahaa. Bertocchini keräsi toukat (*Galleria Mellonella*) pesästä muovipussiin, ja huomasi jonkun ajan kuluttua pussin olleen täynnä reikiä. [49]

Cantabrinin biolääketieteen ja bioteknologian instituutissa työskentelevä Bertocchini alkoi tutkia toukkia tiimensä kanssa. Sata toukkaa laitettiin muovipussiin ja jo 40 minuutin jälkeen pussiin alkoi ilmaantua reikiä, 12 tunnin kuluttua muovia oli hajotettu jo 92 milligrammaa.

Muovi hajosi myös silloin, kun toukkia murskattiin ja tahnaa levitettiin muovin päälle.[49] Tämä siis viittaa siihen, että toukassa oleva bakteerikanta hajottaisi muovia, aivan kuin Yoshida et al. tutkimuksessa. Bakteerit hajottivat muovia paljon hitaammin kuin toukat, 12 tunnissa muovia oli hajonnut 0,13 mg [50]. Vauhti on silti paljon suurempi verrattuna muihin muovia hajottaviin bakteereihin.

Tällä hetkellä tutkijat yrittävät selvittää, kuinka löydettyjä bakteereja ja entsyymejä voisi käyttää hyödyksi muoviongelman ratkaisemiseksi. Nykyisessä tilassaan toukat ja bakteerit ovat vielä liian hitaita ratkaisemaan jäteongelmaa. Koska toukat luokitellaan tuholaisiksi, ja ne kehittyvät ajan myötä koisaperhosiksi, ei niiden lisääminen ole järkevää. On siis selvitettävä, onko muoveja hajottavia entsyymejä mahdollista valmistaa synteettisesti, ja missä sitä voisi hyödyntää. Mikäli menetelmää aletaan hyödyntämään, on sen tapahduttava valvotussa ympäristössä, kuten esim. jätevedenpuhdistamoissa, jotteivät toukat tai bakteerit vahingoita muuta ympäristöä. Toistaiseksi kirjallisuudessa ei ole kuitenkaan vielä saatavilla tietoa siitä, kuinka kyseiset organismit käyttäytyvät vesiympäristössä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mikromuovien päästyä vesistöihin, niitä on lähes mahdotonta poistaa. Parhaat tavat jatkossa ehkäistä mikromuovien aiheuttamaa vesistöjen saastumista on keskittyä ehkäiseviin toimiin, kuten kierrätykseen ja ison muoviroskan pois saamiseen sekä vedenpuhdistuslaitosten kehittämiseen.

Kierrätyksen lisäämistä ja roskaamisen vähentämistä olisi hyvä alkaa valvomaan paremmin, jotta roskaa ei enää päätyisi luontoon ja vesistöihin. Tämä edellyttäisi ihmisten opettamista kierrättämisestä ja lainsäädännöllisiä toimia maailmanlaajuisesti. Lainsäädännöllisiä toimia vaadittaisiin myös primääristen mikromuovien käytössä ja valmistuksessa. Kosmetiikka- ja hygieniauoteyritysten tulisi luopua kokonaan mikromuovien käytöstä. Muutos olisi hidasta, sillä ihmisen käyttäytyminen ei muutu nopeasti. Mahdollisesti muutoksen voisi huomata vasta uusien sukupolvien myötä vuosikymmenten päästä.

Kaikkea mikromuovia ei kuitenkaan voi saada pois, sillä kotitalouksien pyykinpesu ja liikenne tuottavat silti suuria määriä mikromuoveja. Pieni osa näistä mikromuoveista voidaan yrittää poistaa vesistöistä vedenpuhdistamoissa. Pyykinpesun aiheuttamia mikromuovipäästöjä voitaisiin vähentää suosimalla luonnonmukaisia kankaita ja materiaaleja, mutta vaikutus olisi silti pieni. Liikenteen aiheuttamaa mikromuovi saastetta voidaan pääsääntöisesti vähentää vain ohjaamalla hulevedet viemäriverkoston, josta ne päätyisivät jätevedenpuhdistamoon.

Mikromuovien päätymistä vesistöihin voidaan ehkäistä jäteveden puhdistuslaitoksia kehittämällä ja päivittämällä. Vaikka yleisesti käytössä oleva hiekkasuodatuskin poistaa hieman yli 97% jäteveden mikromuoveista, olisi membraanibioreaktori silti parempi vaihtoehto. MBR teknologian avulla ei ainoastaan voida poistaa 99,9% mikromuoveista ja muista epäpuhtauksista, vie se myös vähemmän tilaa ja näin myös vähentää kustannuksia. Laitteisto on pieni ja helppohoitoinen. Valmiin jätevedenpuhdistamon muokkaaminen on kallis projekti, mutta ympäristön kannalta kannattava.

Merissä ja muissa vesistöissä olevat muoviroskat olisi saatava pois mahdollisimman pian, jotta ne eivät ehtisi hajota mikromuoveiksi, jolloin niiden poisto vaikeutuu. Muoviroskan poistolaitteita on kehitettävä ja siivousoperaatioihin on myös valtioiden sitouduttava taloudellisesti, sillä vesistöjen puhtaus vaikuttaa kaikkiin. Erilaisia laitteistoja on jo kehitetty, nyt on aika saada ne laajamittaiseen käyttöön. Esimerkiksi Seabin meriroskakori on pieni ja helppokäyttöinen laitteisto, jonka voisi mahdollisesti asentaa jokaiseen pienvene- tai kalastussatamaan, sekä joillekin uimarannoille. Jo tällaisella pienellä liikkeellä roskien määrää vesistöissä voitaisiin ehkäistä huomasti.

LÄHDELUETTELO

- [1] T. Kivimäki ja M. Mikkonen, 2018, ”Muovia on merissä kohta jopa enemmän kuin kalaa, ja osa siitä päätyy ruoka-aineisiin – HS:n grafiikat kertovat, mitä se tarkoittaa eläimille ja ihmisille”, *Helsingin Sanomat*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.hs.fi/ulkomaat/art-2000005523945.html?share=cf2206a3deec020d4a09467f486e7a60>. [Viitattu: 18.01.2018].
- [2] K. Magnusson, K. Eliasson, A. Fråne, K. Haikonen, J. Hultén, M. Olshammar, J. Stadmark, A. Voisin ja IVL Svenska Miljöinstitutet, ”Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment”, Stocholm, IVL Swedish Environmental Research Institute, raportti C183, [viitattu 26.01.2018].
- [3] Muoviteollisuus ry., [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/>, [Viitattu: 07.03.2018].
- [4] U. Bruder, suomennos E. Lähteenmäki, ”Osa 1 – hyvä tietää muovista” Muoviyhdistys ry., [verkkodokumentti] saatavissa: <http://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/15/osa-1-hyva-tietaa-muovista/>, [Viitattu: 07.03.2018]
- [5] R. Geyer, J. R. Jambeck, K. L. Law, 2017, ”Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Sci. Adv.*, vsk. 3, nro 7, s. e1700782, [Viitattu: 07.03.2018]
- [6] STT, ”Tällainen on kuuden Ranskan kokoinen roskalautta – katso video”, *Keskisuomalainen*, [Verkkodokumentti], Saatavissa: <https://www.ksml.fi/ulkomaat/T%C3%A4llainen-on-kuuden-Ranskan-kokoinen-roskalautta-%E2%80%93katso-video/255211?pwbi=803834b365adbe14c60bb5066bef6780>. [Viitattu: 07.03.2018].
- [7] P. Sundt, P. Schulze, F. Syversen, 2014, ”Sources of microplastic pollution to the marine environment”, Norwegian Environment Agency Miljødirektoratet, raportti M-321/2015 [Viitattu: 26.01.2018].

- [8] P. Fjäder, 2016, Merten roskaantumisen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet”, Helsinki, Suomen Ympäristökeskus, raportti 37/2016 [Viitattu:15.01.2018]
- [9] M. Rautiainen, 2017, ”Tutkijat löysivät valtamerestä eliön, joka poistaa pinnalta mikromuovia ja levittää sen syvemmälle – ’paljon luultua isompi ongelma’”, *T&T*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tiede/tutkijat-loysivat-valtameresta-elion-joka-poistaa-pinnalta-mikromuovia-ja-levittaa-sen-syvemmalle-paljon-luultua-isompi-ongelma-6669830>. [Viitattu: 06.02.2018].
- [10] "Types of plastic, their characteristics and why they may be dangerous to your health!", [Verkkodokumentti] saatavissa: https://www.ryedale.gov.uk/.../Different_plastic_polymer_types.pdf [Viitattu 29.01.2018]
- [11]”Muovien materiaalimerkit”, *Suomen Uusiomuovi Oy*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kierrataa/muovien_kierratys/muovien_materiaalimerkit/. [Viitattu: 29-tammi-2018].
- [12]Diffent types of plastics and their classification, [verkkodokumentti] saatavissa: https://www.ryedale.gov.uk/.../Different_plastic_polymer_types.pdf [viitattu:29.1.2018]
- [13]M. Kolev, suomennos S. Nykänen, ”polyeteeni (PE)”. [verkkodokumentti] saatavissa: www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PE_FI.pdf [Viitattu 29.01.2018].
- [14]M. Kolev, suomentanut S. Nykänen, ”polystyreeni (PS) ” [verkkodokumentti] saatavissa: <http://docplayer.fi/14508841-Polystyreeni-on-aromaattinen-polymeeri-jota-valmistetaan-aromaattisesta-styreenimonomeerista.html> [Viitattu: 29.01.2018]
- [15]M. Salminen, 2016, ”Muovin kierrätys ei aina kannata – heitä marinadin tahmaama broileripakkaus sekajätteeseen”, *Aamulehti*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/i ihmiset/muovin-kierratys-ei-aina-kannata-heita-marinadin-tahmaama-broileripakkaus-sekajatteeseen-23882930/>. [Viitattu: 29.01.2018].
- [16]O. Setälä, P. Fjäder, O. Hakala, P. Kautto, M. Lehtiniemi, E. Raitanen, M. Sillanpää, J. Talvitie, L. Äystö, 2017, "Mikromuovit riski ympäristölle” ,Suomen Ympäristökeskus, Näkökulma Ympäristöpolitiikkaan. [Viitattu: 02.01.2018]
- [17]Suomen ympäristökeskus, 2017, "Mikromuovit riski myös Suomen vesissä”. [Verkkodokumentti]. Saatavissa:[http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill\(42492\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492)). [Viitattu: 02.01.2018].

- [18] Oregon State University, *Microplastic*. 2012.
- [19] H. Hanhinen, 2017, ”Fleecekankaalle kyseenalainen kunnia – valittiin vuoden turhakkeeksi”, *Yle Uutiset*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/18-246173>. [Viitattu: 26.01.2018].
- [20] Green facts ”Scientific Facts on Marine Litter”. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.greenfacts.org/en/marine-litter/index.htm#1>. [Viitattu: 26.01.2018].
- [21] E. Hinkula, 2018, ”Vaatekaapistasi voi löytyä yllättävä ympäristön saastuttaja – tekniset kerrastot ja fleece pahimpia mikromuovin lähteitä”, *Yle Uutiset*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/18-246173>. [Viitattu: 26.01.2018].
- [22] A. Wallius, 2017, ”Kylpyhuoneistamme solahtaa turhaa muovijätettä viemäriin – suomalaisilla kemisteillä on vaihtoehto”, *Yle Uutiset*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/18-246173>. [Viitattu: 15.01.2018].
- [23] S. Vuolteenaho, 2017, ”YK haluaa muovijätteelle nollatoleranssin”, *Yle Uutiset*. [Verkkodokumentti] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/18-246173>. [Viitattu: 18.01.2018].
- [24] M. Skovbo, 2016, ”22-vuotias puhdistaa meret muovista”, *Illustreret videnskab fi*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://tieku.fi/luonto/meri/the-ocean-cleanup-22-vuotias-vapauttaa-meret-muovista>. [Viitattu: 05.02.2018].
- [25] T. O. C. www.theoceancleanup.com, ”The Ocean Cleanup - Milestones”, *The Ocean Cleanup*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.theoceancleanup.com/milestones/>. [Viitattu: 05.02.2018].
- [26] L. Kratochwill, 2016, ”Too good to be true? The Ocean Cleanup Project faces feasibility questions”, *the Guardian*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.theguardian.com/environment/2016/mar/26/ocean-cleanup-project-environment-pollution-boyan-slat>. [Viitattu: 05.02.2018].
- [27] L. Grozdanic, 2015, ”Floating Seabin trash collector could rid the oceans of plastic waste”. *inhabitat*, [Verkkodokumentti] saatavissa: <https://inhabitat.com/floating-seabin-sucks-up-ocean-waste-including-oil-and-detergents/> [Viitattu: 27.02.2018].
- [28] Wärtsilä, 2017, ”Wärtsilän ja Seabin Projectin hanke etenee – Pohjois-Euroopan ensimmäinen meriroskis asennettu Helsinkiin”. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/fi/media-fi/uutinen/09-05-2017-wartsilan-ja-seabin-projectin-hanke-etenee-pohjois-euroopan-ensimmainen-meriroskis-asennettu-helsinkiin>. [Viitattu: 27.02.2018].

- [29] Baltimore Waterfront, "Mr. Trash Wheel | Baltimore Waterfront" [Verkkodokumentti] saatavissa: <http://baltimorewaterfront.com/healthy-harbor/water-wheel/> [Viitattu:13.03.2018] .
- [30] S. Cat, *English: Trash Wheel in Baltimore*. 2014.
- [31] 4Ocean, "Our Story", *4Ocean*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://4ocean.com/pages/our-story>. [Viitattu: 13.03.2018].
- [32] L. Kabata, "Jätevedenpuhdistus", *Jätevedenpuhdistus*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://jatevedenpuhdistus.wordpress.com/>. [Viitattu: 12.02.2018].
- [33] Turun vesilaitos, 2017, "Vesilaitos", [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://web.archive.org/web/20071011112425/http://www05.turku.fi/vesilaitos/tietoa/kasittely.html>. [Viitattu: 12.02.2018].
- [34] Pohjolanvesi, "Jätevedenpuhdistuksen vaiheet" [verkkodokumentti] saatavissa: <http://pohjolanvesi.fi/jatevedenpuhdistuksen-vaiheet/> [Viitattu:12.02.2018]
- [35] J. Talvitie, A. Mikola, A. Koistinen, ja O. Setälä, 2017, "Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies", *Water Res.*, vsk. 123, ss. 401–407. [Viitattu:20.01.2018]
- [36] J. Silvast, 2013, "Hiekkasuodattimen toiminnan kartoitus". [opinnäytetyö] Satakunnan ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma energiatekniikan suuntautumisvaihtoehto [Viitattu: 12.02.2018]
- [37] E. Isomäki, M. Valve, A. Kivimäki. K. Lahti, 2006, "Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta", Helsinki, Suomen Ympäristökeskus, ympäristöopas [Viitattu:13.02.2018].
- [38] Hyxo Oy., "DynaSand- Tuotteet Hiekkasuodatus". [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.hyxo.fi/products/fin/dynasand-p-112-4/>. [Viitattu: 13.02.2018].
- [39] Veolia, "Hydrotech Discfilter HSF | Mechanical and self-cleaning filter". [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/hydrotech-discfilter/en/>. [Viitattu: 15.02.2018].
- [40] I. Lignell, Anna Mikkola, V. Venejärvi, 2015, "MBR-prosessien suunnittelu, ohjaus ja hankinta Suomessa." [verkkodokumentti] Ramboll Finland Oy. MBR-opas. Saatavissa: https://vvy.etapahtuma.fi/eTaika_Tiedostot/5/Hanke/1371/LOPPURAPORTTI_MBR_opas_Ramboll_Finland.pdf [Viitattu 28.6.2018]

- [41] Huber Technology, ”Johdanto perustietoa MBR-tekniikasta”. [verkkodokumentti] saatavissa: www.huber.fi/res/Pdf/Johdanto-MBR.pdf [viitattu:26.02.2018].
- [42] M. Nissinen, 2014, ”Typenpoiston tehostaminen kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa membraanibioreaktorin avulla”, [opinnäytetyö] Lappeenrannan teknillinen yliopisto [viitattu:26.02.2018].
- [43] A. Oladejo, 2017, ” Analysis of microplastics and their removal from water”. [opinnäytetyö] Helsinki Metropolia University of Applied Sciences [Viitattu:03.01.2018].
- [44] S. Yoshida, K. Oda, K. Hiraga, T. Takehana, I. Taniguchi, H. Yamaji, Y. Maeda, K. Toyohara, K. Miyamoto, Y. Kimura, 2016, ” A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate)”, *Science*, New York, Vol.351(6278), pp.1196-9 [Viitattu: 05.03.2018].
- [45] A. Coghlan, 2016, ” Bacteria found to eat PET plastics could help do the recycling”, *New Scientist*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.newscientist.com/article/2080279-bacteria-found-to-eat-pet-plastics-could-help-do-the-recycling/>. [Viitattu: 09.03.2018].
- [46] K. Mathiesen, 2016, ” Could a new plastic-eating bacteria help combat this pollution scourge?”, *the Guardian*, [Verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.theguardian.com/environment/2016/mar/10/could-a-new-plastic-eating-bacteria-help-combat-this-pollution-scourge>. [Viitattu: 05.03.2018].
- [47] P. Ball, 2017. ” Plastic-eating bugs? It’s a great story – but there’s a sting in the tail”, *the Guardian*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.theguardian.com/commentisfree/2017/apr/25/plastic-eating-bugs-wax-moth-caterpillars-bee>. [Viitattu: 09.03.2018].
- [48] J. Yang, Y. Yang, W.-M. Wu, J. Zhao, ja L. Jiang, 2014, ”Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms”, *Environ. Sci. Technol.*, vsk. 48, nro 23, ss. 13776–13784, [Viitattu:29.01.2018].
- [49] Tiede.fi, 2017, ”Tutkijat löysivät muovia syövän perhosentoukan”, *Tiede*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.tiede.fi/artikkeli/artikkelit/tutkijat-loysivat-muovia-syovan-perhosentoukan>. [Viitattu: 09.03.2018].
- [50] V. Vanhalakka, 2017, ”Estääkö tämä pieni toukka maapalloa tukehtumasta muoviiin? – Syö muovipusseja kuin tyhjää vaan”, *Aamulehti*, [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/maailma/estaako-tama-pieni-toukka-maapalloa-tukehtumasta-muoviin-syo-muovipusseja-kuin-tyhjaa-vaan-24434545/>. [Viitattu: 09.03.2018].