

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

# **MIKROMUOVIT YHDYSKUNTAJÄTEVESILIETTEESSÄ**

## **Microplastics in Municipal Sewage Sludge**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen  
Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Heli Kasurinen

Lappeenrannassa 3.6.2019  
Marja Rekonen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Marja Rekonen

### **Mikromuovit yhdyskuntajätevesilietteessä**

Kandidaatintyö

2019

35 sivua, 3 taulukkoa, 6 kuvaa ja 0 liitettä

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen  
Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Heli Kasurinen

Hakusanat: kandidaatintyö, mikromuovit, jätevesiliete  
Keywords: bachelor's thesis, microplastics, sewage sludge

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, mistä mikromuovit ovat peräisin, kuinka ne käyttäytyvät jätevedenpuhdistamoilla ja minkälaisia ongelmia jätevesilietteeseen kertyvä mikromuovi mahdollisesti aiheuttaa. Työ on tehty kirjallisuuskatsauksen omaisesti ja lähteinä on käytetty pääasiassa kansainvälistä tutkimustietoa.

Mikromuovit päätyvät jätevedenpuhdistuslaitoksille jäte- ja hulevesiverkostojen kautta. Jätevedenpuhdistamoilla mikromuovit saadaan poistettua jätevedestä erittäin tehokkaasti, mutta mikromuovit päätyvät puhdistetun jäteveden sijaan kiintoaineen mukana lietteeseen. Lietettä on tyypillisesti hyötykäytetty maataloudessa lannoitteena ja viherrakennusaineena, mutta mikromuovien mahdollisten ympäristöriskien takia lietteen hyötykäyttöä on alettu kyseenalaistamaan. Mikromuovien on todettu voivan sitoa itseensä ympäristömyrkkyyjä, ja lannoituksen mukana mikromuovien kuljettamat myrkyt voivat siirtyä lannoituksen mukana ravintoverkkoon. Mikromuovien mahdollisista muutoksista jätevedenkäsittelyprosessin aikana ja haittavaikutuksista maaperässä ei ole vielä kattavaa tutkimustietoa, ja nämä ovatkin tulevaisuudessa tärkeitä tutkimuskohteita.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 MIKROMUOVIN LÄHTEET JA ESIINTYMINEN .....	7
3 MIKROMUOVIT JÄTEVEDENPUHDISTUSLAITOKSELLA .....	11
4 LIETTEEN KÄSITTELY JA HYÖTYKÄYTTÖ .....	18
5 MIKROMUOVIEEN RAJOITTAMINEN .....	23
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
7 YHTEENVETO .....	27
LÄHTEET .....	28

## LYHENNELUETTELO

LDPE	Low-density polyethylene,
HDPE	High-density polyethylene
PP	Polypropylene, polypropeeni
PS	Polystyrene, polystyreeni
PET	Thermoplastic Polyester, polyeteenitereftalaatti
PVC	Polyvinylchloride, polyvinylikloridi
MBR	Membrane Bioreactor, kalvobioreaktori
AS	Activated sludge
BAF	Biologically active filter, biologinen suodatus
RAS	Sludge recirculation, lietteen kiertokulku
ECHA	European Chemical Agency, Euroopan kemikaalivirasto
AD	Anaerobic digestion, mädätys
TD	Thermal dryind, lämpökuivaus
LS	Lime stabilization, kalkkistabilointi

# 1 JOHDANTO

Mikromuovien määrä ympäristössä on kasvanut kiihtyvällä tahdilla erityisesti viimeisen vuosikymmenen aikana (Duis, Coors, 2016 & Andrady, 2011). Mikromuovien määrän kasvun taustalla on yleinen muovien tuotannon ja hyötykäytön lisääntyminen. Mikromuovit kulkeutuvat ihmisen käytön seurauksena vesistöihin ja jätevedenpuhdistamoille, ja jätevedenpuhdistamoilla mikromuovit päätyvät suurimmaksi osaksi kiintoaineen mukana lietteeseen. Lietettä on tyypillisesti hyötykäytetty maatalouden lannoitteena ja viherrakennusmateriaalina, mutta mikromuovien mahdollisten haitallisten ympäristövaikutusten takia lietteen hyötykäyttö etenkin lannoitetarkoituksessa hankaloituu, sillä esimerkiksi EU on havahtunut mikromuovien olemassaoloon, ja valmisteleo parhaillaan lainsäädäntöä mikromuoviongelman rajoittamiseksi (Corradini et al., 2019 & ECHA). Tällä hetkellä Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa noin 50 % yhdyskuntajätevesilietteestä hyödynnetään lannoitekäytössä (Niva, 2018), mutta mikromuovit saattavat lannoituksen myötä kertyä ravintoketjuun ja näistä mahdollisista haittavaikutuksista ei vielä ole kattavaa tutkimustietoa (Ympäristöministeriö.)

Mikromuoveiksi määritellään pienet muovipartikkelit, joiden läpimitta on alle 5 millimetriä (Auta et al., 2017). Mikromuovia syntyy, kun maailman järviin ja meriin kertyy heikon jätteenkierrätyksen seurauksena muovijätettä, joka hajoaa ajan kuluessa yhä pienemmiksi muovipartikkeleiksi (Natura, 2018). Mikromuovia on myös lisätty tarkoituksenmukaisesti moniin tuotteisiin, kuten kosmetiikkaan ja hygieniatuotteisiin. Lisäksi mikromuovia esiintyy lukuisissa tuotteissa, joiden mikromuovipitoisuuksia ei ole selvitetty (SYKE, 2017). Mikromuovin esiintymisen laajuudesta ei ole kattavaa tietoa ja mikromuovien esiintymien selvitys onkin tärkeä tutkimuskohde tulevaisuudessa.

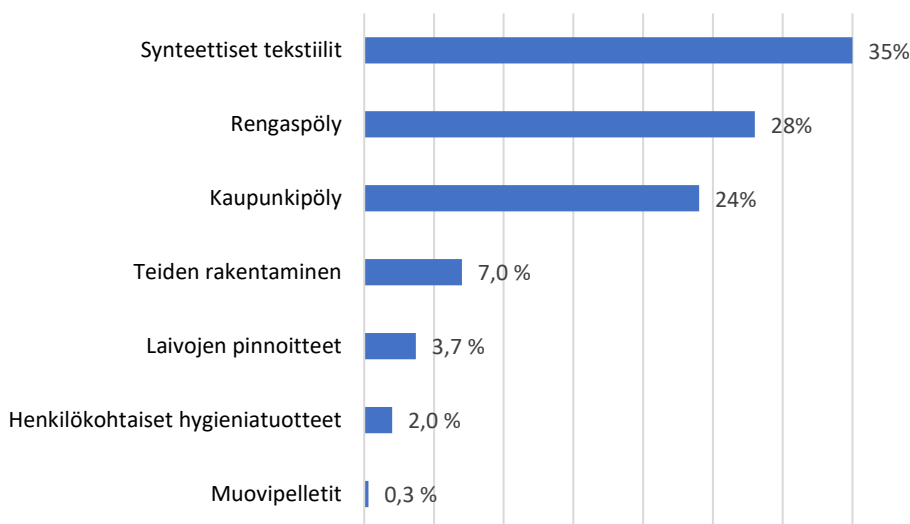
Ihmiskunnan näkökulmasta mikromuovin suurimpana haittana voidaan pitää mikromuovien kulkeutumista vesijohtovesiin ja elintarvikkeisiin, sillä sitä kautta pienet muovipartikkelit kertyvät lopulta ihmisen elimistöön. Mikromuovien, kuten muidenkin muovien, ongelmana voidaan pitää niiden pitkäikäisyyttä, sillä luonnossa niiden hajoaminen kestää erittäin kauan (Carr et al., 2016 & Leslie et al., 2013.) Esimerkiksi muovipussin hajoaminen luonnossa kestää noin 100 – 500 vuotta, vaikka muovipussin keskimääräinen käyttöaika on vain 25 minuuttia (Unric, 2015.) Mikromuovien terveyshaitoista ei ole vielä kattavaa tutkimustietoa ja niinpä onkin erityisen tärkeää selvittää mikromuovien terveysriskejä ihmiselle, eläimille ja muille eläville organismeille. Kuitenkin mikromuoveja on havaittu jo joissakin vesieliöissä, kuten sinisimpukoissa, eläinplanktonissa ja

Tyynenmeren ostereissa (Carr et al., 2016 & Leslie et al., 2013) ja uskotaan, että yli 250 lajia, joita ovat muun muassa kalat, linnut ja kilpikonnat, kärsii mikromuovien nielemisestä (Bayo et al. 2016). Mikromuovit ja niiden lähteet tulisi tunnistaa mahdollisimman tarkkaan, sillä niillä on sekä sosiaalisia, taloudellisia että ympäristöllisiä vaikutuksia (Browne, 2015).

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan mikromuovien käyttäytymistä jätevedenpuhdistuslaitoksilla, ja mikromuovien päätymistä jätevedenpuhdistamojen kautta jätevesilietteeseen sekä mikromuovillisen lietteen hyötykäyttöön liittyviä ongelmia. Työn tavoitteena on selvittää, kuinka mikromuovien esiintyminen lietteessä rajoittaa lietteen hyötykäyttöä lannoitteena ja kertyvätkö lietteessä olevat mikromuovit mahdollisesti lannoitekäytön seurauksena ravintoverkkoon. Lisäksi työssä käsitellään mahdollisuuksia rajoittaa mikromuovien päätymistä ympäristöön. Tämä kandidaatintyö myötäilee kirjallisuuskatsauksen rakennetta ja työssä on hyödynnetty ja koottu yhteen kansainvälistä mikromuoveihin liittyvää tutkimustietoa.

## 2 MIKROMUOVIN LÄHTEET JA ESIINTYMINEN

Mikromuovin lähteet jaotellaan primäärisiin ja sekundäärisiin lähteisiin. Primäärisiksi mikromuovin lähteiksi kutsutaan sellaisia lähteitä, jotka sisältävät mikromuovia tarkoituksenmukaisesti. Primäärisiä mikromuovin lähteitä ovat muun muassa muoviteollisuuden raaka-aineet sekä kosmetiikka- ja hygieniatuotteet. Mikromuovia sisältäviä kosmetiikka- ja hygieniatuotteita ovat muun muassa erilaiset poispestävät ja hankaavat pesuaineet, luomivärit, deodorantit, hammastahnat, meikkivoiteet, ripsivärit, kynsilakat ja aurinkorasvat. Muita primäärisiä mikromuovin lähteitä ovat muun muassa hyönteiskarkotteet ja muovipelletit (Auta et al., 2017). Muovipelletit ovat pieniä muovikappaleita, jotka sulatetaan ja muovataan pelletin muotoon. Tämän jälkeen ne kuljetetaan varsinaiseen prosessointipaikkaan, jossa niistä muovataan ja valmistetaan haluttuja lopputuotteita (United States Environmental Protection Agency, 1992.) Alla olevassa kuvaajassa (Kuva 1.) on esitetty primaaristen mikromuovien lähteitä.



Kuva 1. Primääriset mikromuovin lähteet 2017 (European Commission, 2017.)

Mikromuovien suurin primäärilähde ovat nykyään runsaasti tekstiiliteollisuudessa käytetyt tekokuidut, joista tyypillisimpiä ovat polyesteri ja polyamidi. Synteettisten kuitujen osuus koko maailman kuitujen kulutuksesta on jo yli 60 %. Synteettisiä tekstiilikuituja käytetään esimerkiksi urheiluvaatteissa, ja kotitalouksien pyykinpesun on havaittu olevan merkittävä mikromuovihiukkasten lähde. Pesuprosessin aikainen mekaaninen ja kemiallinen käsittely heikentävät tekstiileissä käytettävien synteettisten kuitujen rakennetta, jolloin kuitujen molekyyliketjut vahingoittuvat ja pieniä kuidun palasia irtoaa tekstiileistä. On havaittu, että

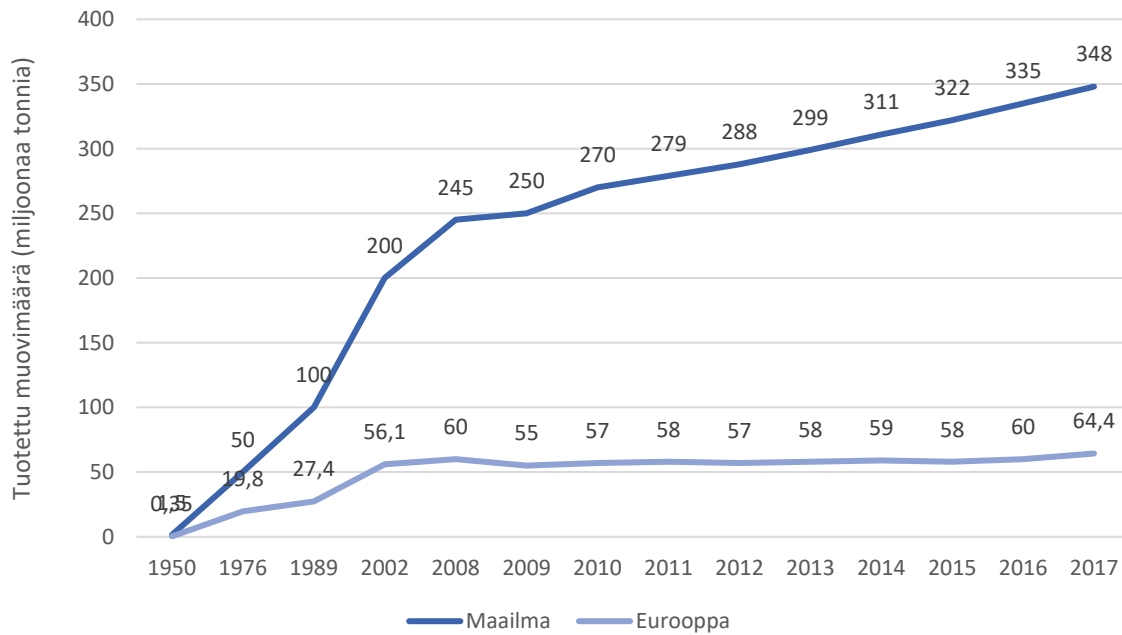
yksittäisen tekstiilin pesu voi vapauttaa jopa yli 1900 mikromuovihiukkasta ympäristöön. Tekstiilien pesusta aiheutuvia mikromuoveja voitaisiin vähentää kuluttajan toimesta muun muassa pesemällä tekstiilit riittävän matalalla lämpötilalla, valitsemalla sopiva pesukonemalli ja vähentämällä pesukertojen määrää esimerkiksi pesemällä vain täysinä koneellisia (Cesa et al., 2017.)

Myös mikromuovien esiintyminen rengas- ja katupölyssä on merkittävä mikromuovien lähde. Mikromuoveja päätyy katupölyyn esimerkiksi auton renkaiden kulumisesta, sillä kevyet mikromuovihiukkaset kulkevat ilmassa tuulen mukana. Eräs tutkimus selvitti mikromuovien esiintymistä Iranissa kolmenkymmenen gramman katupölynäytteistä, ja mikromuovihiukkasten kappalemäärät vaihtelivat kymmenen näytteen välillä 88:sta 605:een. Tutkimuksen mukaan katupölyn mukana hengitettävien mikromuovihiukkasten lukumäärä vaihtelee, mutta keskiarvoisesti ulkoilman mukana kyseisessä tutkimuskohteessa hengitetään vuosittain 3223 mikromuovihiukkasta, kun taas työtiloissa vastaava lukema on 1063. Koska katupölyn mukana hengitettävien mikromuovihiukkasten määrä on merkittävä, on tulevaisuudessa tärkeää panostaa katupölyn laadun mittaamiseen (Dehghani et al., 2017.)

Myös suurempien muovikappaleiden kulumisesta ja sirpaloitumisesta syntyy mikromuoveja ja näin syntyviä pieniä muovihiukkasia kutsutaan puolestaan sekundäärisiksi mikromuovin lähteiksi. Sekundäärisiä mikromuovin lähteitä ovat esimerkiksi auton renkaiden kulumisen seurauksena syntyvät mikromuovit sekä pienet muovipartikkelit, jotka irtoavat teissä käytetyistä maaleista. Myös luonnossa tapahtuva suurempien muovienkappaleiden pilkkoutuminen luokitellaan sekundäärisiksi mikromuovin lähteeksi (Auta et al., 2017, Horton et al., 2016.)

Muovin tuotanto ja hyötykäyttö ovat kasvaneet runsaasti viime vuosina ja muovi on korvannut muita pakkausmateriaaleja, kuten lasia ja metallia, sillä muovi on kilpaileviin materiaaleihin verrattuna kevyttä, kestävä ja halpaa. Vuonna 1950 muovia tuotettiin 1,5 miljoonaa tonnia ja vuonna 2050 on arvioitu, että muovin vuosituotanto kasvaa 735 miljoonaa tonniin (Fjäder, 2016). Alla olevassa kuvassa (Kuva 2.) on esitetty muovin tuotannon määrät sekä Euroopassa että maailmanlaajuisesti. Kuvaajasta nähdään, että vuonna 2017 maailmanlaajuinen muovintuotanto oli jo 348 miljoonaa tonnia (Statista, 2019.)





Kuva 2. Muovin tuotanto Euroopassa ja maailmalla vuosina 1950-2017 (Muokattu lähteestä Statista, 2019).

Yleisimpiä meriympäristöissä havaittuja muovilaatuja ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polystyreeni (PS) polyeteenitereftalaatti (PET) ja polyvinyylidikloridi (PVC). (Andrady, 2011.) Alla olevassa taulukossa on esitetty tyypillisimpien muovilaatujen muoviluokat, osuudet tuotannosta sekä kunkin muovilaadun tyypillisimmät käyttökohteet. Vaikka tuotettujen muovilaatujen määrä ei kerro suoraan meriympäristössä havaittujen muovien osuuksia, voidaan taulukon tietojen pohjalta todeta, että luultavasti yleisimpiä meriympäristöstä löydettyjä muovilaatuja ovat polyeteeni ja polypropeeni. Voi kuitenkin olla, että joidenkin muovilaatujen osuus meriekosysteemeissä on suurempi kuin niiden osuus muovin tuotannossa.

Taulukko 1. Meriympäristössä yleisimmin tavatut muovilaadut (Andrady, 2011.)

Muoviluokka	Osuus tuotannosta (%)	Yleinen käyttökohte
Polyeteeni low-density (LDPE)	21	Muovipussit, -pullot ja -pillit
Polyeteeni high-density (HDPE)	17	Maito- ja mehukannut
Polypropeeni (PP)	24	Köydet, verkot ja muovikorkit
Polystyreeni (PS)	6	Muoviastiat, kohot, syötit, kupit
Polyeteenitereftalaatti (PET)	7	Juomapullot
Nylon (PA)	< 3	Verkot ja pyydykset
Polyvinyylidikloridi (PVC)	19	Muovikalvot, -pullot ja -kupit

Yllä olevan taulukon tietojen avulla voidaan päätellä, että muovien määrää vesiekosysteemeissä voitaisiin vähentää merkittävästi, mikäli luovuttaisiin muovipussien sekä kertakäyttöpullojen- ja pillien käytöstä ja tuotannosta. Myös esimerkiksi köydet ja verkot muodostavat ison osan meressä havaittavista roskista. Myös polyvinyylidikloridista valmistetut muovikalvot, -pullot ja -kupit ovat melko yleisiä, joten niidenkin käyttöä olisi syytä tulevaisuudessa rajoittaa. Euroopan unioni onkin havahtunut muun muassa kertakäyttömuovien aiheuttamiin haasteisiin ja laatinut muovituotteita koskevan muovistrategian, jonka yhtenä pääkohtana on kertakäyttömuovien käytön ja tuotannon vähentäminen (ECHA).

### 3 MIKROMUOVIT JÄTEVEDENPUHDISTUSLAITOKSELLA

Jätevesi ja jätevedenpuhdistuslaitokset ovat merkittävä mikromuovien kulkureitti ympäristöön ja viime vuosina eri mikromuovien lähteitä ja mikromuovien vaikutuksia ympäristöön on tutkittu aiempaa enemmän. Mikromuovit päätyvät jätevedenpuhdistamoille yhdyskuntajätevesien ja hulevesien kautta (SYKE, 2017.) Koska jätevedenpuhdistamoilta puhdistettu vesi päätyy vesistöihin, on tärkeää, että mikromuoveista mahdollisimman suuri osa saadaan poistettua (Corradini et al., 2019). Mikromuovien poistaminen jätevedestä on kuitenkin erittäin tehokasta, ja jätevedestä saadaan poistettua noin 99 % mikromuoveista. Kuitenkin vaikka ainoastaan yksi prosentti mikromuoveista päätyy suoraan puhdistetun jäteveden mukana vesistöihin, on puhdistettavat vesimäärät melko suuria, joten pidemmällä aikavälillä vesistöön kertyy huomattava määrä mikromuovia (Ympäristöministeriö). Lisäksi mikromuovien poistaminen jätevedessä on huomattavasti tehokkaampaa kehittyneissä kuin kehittyvissä maissa, sillä kehittyvissä maissa pienempi osa jätevedestä kulkee jätevedenpuhdistamojen läpi (Kang et al., 2018), eikä käytössä välttämättä ole yhtä edistyksellistä tekniikkaa kuin kehittyneissä maissa.

Mikromuoveja on havaittu sekä valtamerissä että makeissa vesissä. Kuitenkin tutkimusten mukaan mikromuoveja on havaittu myös juomakelpoisessa vedessä esimerkiksi Saksassa, vaikka juomavedenpuhdistuslaitokset pyrkivät estämään mikromuovien ja muiden epäpuhtauksien pääsyä puhtaaseen juomaveteen. Mikromuovien mahdollisista myrkyllisistä vaikutuksista ei ole vielä kattavaa tutkimustietoa, mutta mikromuovien vaikutuksia ihmiseen on syytä tutkia. Tavanomaisilla juoma- ja jätevedenkäsittelyprosesseilla on mahdollista poistaa osa mikromuovihiukkasista. Tulevaisuudessa olisi tärkeää tietää, miten vedenpuhdistusprosessin eri vaiheet vaikuttavat mikromuoveihin ja muuttuvatko ne jotenkin käsittelyprosessin aikana (Novotna et al., 2019).

Suurin osa maailman jätevedenpuhdistamojen jätevesikäsittelystä perustuu aktiivilietemenetelmään. Aktiivilietemenetelmällä tarkoitetaan biologista puhdistusmenetelmää, jossa puhdistamon aktiivilietteen muodostaa pieneliöstö, joka osallistuu jäteveden eloperäisen aineen hajotukseen (Ympäristö.fi). Yleensä jätevedenpuhdistus sisältää esikäsittelyvaiheen, primaari- ja sekundaarikäsittelyn sekä toisinaan myös tertiäärikäsittelyn. Esikäsittelyvaiheen tarkoitus on poistaa jätevedestä karkea kiintoaines, ja vaikka esikäsittely ei sinänsä puhdistaa jäteveden laatua, saattaa karkea kiintoaines aiheuttaa puhdistusprosessiin häiriöitä tai esimerkiksi vaurioittaa jätevedenprosessointilaitteistoa, joten kiintoaineen poistaminen on erittäin tarpeellista. Tyypillisesti

jäteveden esikäsitelyssä karkean kiintoaineen poistaminen suoritetaan mekaanisilla puhdistusmenetelmillä, kuten välppäyksellä ja hiekanerotuksella. Välppäyksessä jätevedestä poistetaan karkeat esineet, kuten vaunupuikot ja hammasharjat, välppän avulla. Välppä on jätevedenpuhdistuksessa käytetty laite, joka koostuu yhdensuuntaisista välppäsauvoista, joihin kiinteät epäpuhtaudet jäävät kiinni, mutta joiden väleistä vesi pääsee virtaamaan vapaasti (Karttunen, 2004.) Hiekanerotuksessa hyödynnetään puolestaan painovoimaa, ja tällöin vettä raskaammat partikkelit laskeutetaan puhdistusaltaan pohjalle. Esikäsitelyvaiheessa voidaan kuitenkin mekaanisten menetelmien lisäksi hyödyntää myös esimerkiksi pH:n säätöä ja neutralointia.

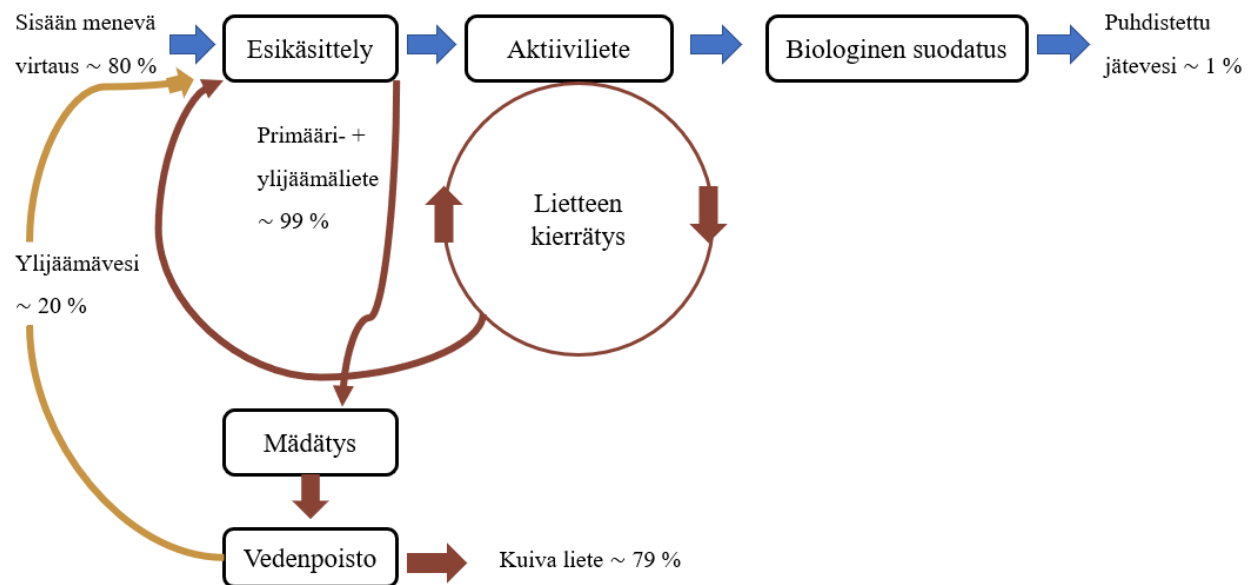
Primäärivaiheessa jätevedestä poistetaan kiintoainesta, kuten kuituja ja hiekkaa, pääasiassa mekaanisesti. Kiintoaineet poistetaan jätevedestä yleensä laskeuttamalla tai suodattamalla. Jätevedenpuhdistusprosessin sekundäärivaiheessa hyödynnetään pääasiassa biologisia puhdistusmenetelmiä, joiden tarkoituksena on siis poistaa jätevedestä eloperäistä eli orgaanista ainesta. Puhdistettavaan jätevetteen johdetaan biomassaa eli aktiivilietettä, jossa on runsaasti orgaanista ainesta hajottavia mikrobeja. Puhdistusaltaassa on ilmastuslaitteita, joiden avulla mikrobit saavat orgaanisen aineksen hajottamiseen tarvitsemansa hapen. Biologiseen puhdistusprosessiin tarvitaan ravinteeksi myös etenkin typpeä ja fosforia, mutta jätevesi sisältää näitä ravinteita jo valmiiksi runsaasti. Mikrobit hajottavat orgaanisia aineita, jolloin syntyy muun muassa hiilidioksidia ja vettä (Karttunen, 2004).

Tutkimusten mukaan jäteveden esikäsitelyprosessien aikana mikromuoveista saadaan poistettua vain pieni osa, kun taas primaarikäsittelyn aikana mikromuovien poistamisaste vaihtelee 72 %:sta jopa 98 %:iin. Sekundaarikäsittelyn aikana mikromuoveista saadaan poistettua noin 7-20 %. Tertiärikäsittelyn aikana poistettavien mikromuovien osuus on erittäin pieni ja poistamisaste riippuu hyödynnettävästä teknologiasta, joita voivat olla esimerkiksi MBR-prosessi eli mikrokalvosuodatus ja nopea hiekkasuodatin. Erään tutkimuksen mukaan tehokkain tapa poistaa mikromuovit jätevedestä, on hyödyntää MBR-prosessia, jolloin mikromuoveista saadaan poistettua jopa 99,9 %, kun taas hiekkasuodattimen avulla poistamisaste on 97 %. Useiden tutkimusten mukaan tertiäärinen jätevedenkäsittely ei kuitenkaan takaa sitä, että mikromuoveja saataisiin poistettua huomattavia määriä (Gatidou et al., 2019.)

Mikromuovien poistaminen kussakin jätevesikäsitelyn vaiheessa riippuu käytetyn teknologian lisäksi mikromuovipartikkelien tyypistä. Esimerkiksi eräässä tutkimuksessa todettiin, että yhdessä jätevedenpuhdistuslaitoksessa suurin osa tekstiilikuiduista saatiin poistettua jätevesikäsitelyn

primaarivaiheessa, kun taas synteettisten partikkelien poistaminen tapahtui pääasiassa sekundaarikäsittelyssä. Sekundaarikäsittelyn jälkeen mikromuoveista oli saatu poistettua 99 %. Kuitenkin merkittävä osa mikromuoveista, jotka saadaan poistettua jätevedestä jossakin vaiheessa jätevedenkäsittelyprosessia, kierrätetään takaisin jätevedenpuhdistamon sisääntuloon. Vesinäytteet osoittavat, että 99 % mikromuoveista, jotka oli poistettu primääri- tai ylijäämälietteen kautta, 20 % kierrätettiin takaisin jätevedenpuhdistamon sisääntuloon lietteenkäsittelystä jääneen ylijäämäveden kautta (Gatidou et al., 2019.) Alla olevassa kuvassa (Kuva 4.) on esitetty mikromuovien tase eräässä jätevedenpuhdistamossa. Kuvassa siniset nuolet kuvaavat jätevettä, tumman ruskeat nuolet lietteenkulkua ja vaalean ruskeat nuolet kuvaavat vedenpoistoprosessin ylijäämävettä.

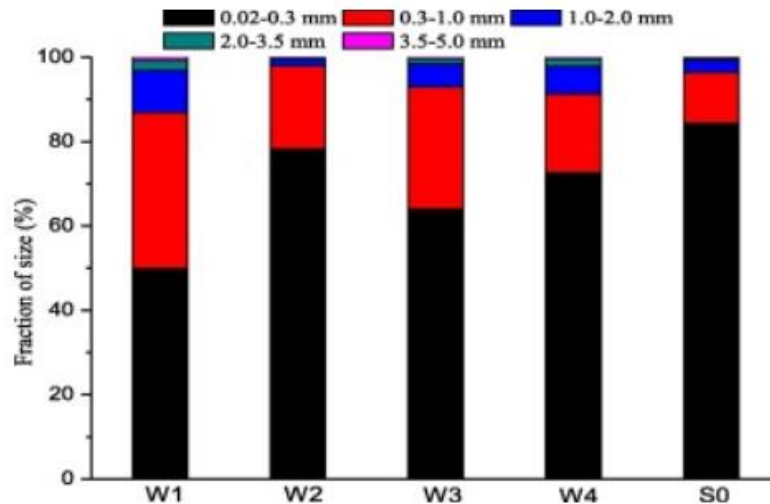
### Mikromuovien tase jätevedenpuhdistuslaitoksella



Kuva 3. Mikromuovien tasapaino jätevedenpuhdistuslaitoksella (Gatidou et al., 2019.)

Mikromuovien käyttäytyminen jätevedenpuhdistuslaitoksilla on tärkeä tutkimuskohde tulevaisuudessa, sillä kunnallisten jätevedenpuhdistuslaitosten katsotaan olevan merkittävä pistemäinen mikromuovipäästölähde. Eräässä kansainvälisessä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon kiinalaisessa jätevedenpuhdistuslaitoksessa löytyi mikromuovia. Alla olevassa kuvassa (Kuva 5.) on esitetty mikromuovien koko ja niiden jakauma. Kuvaajan y-akselilla on esitetty mikromuovien

kokojakauma lukumääräprosentteina ja kuvaajan x-akselilla symbolit W1 (sisään tuleva jätevesi), W2 (jätevesi primaarisen sedimentointitankin jälkeen), W3 (jätevesi sekundaarisen sedimentointitankin jälkeen), W4 (poistuva jätevesi) ja S0 (liete) tarkoittavat jätevesikäsittelyn eri vaiheita.



Kuva 4. Mikromuovien kokojakauma jätevedessä ja lietteessä (Li et al., 2019).

Lukumääräprosenttijakauman perusteella voidaan havaita, että suurin osa havaituista mikromuoveista ovat erittäin pieniä, vain 0,02-0,3 mm. Tutkimuksessa havaittiin, että pienimpiä partikkeleita on enemmän poistuvassa puhdistetussa jätevedessä (W4) kuin sisään tulevassa jätevedessä (W1), kun taas keskikokoisten partikkelien määrä väheni merkittävästi ja suurimpienkin partikkelien määrä pieneni. Mikromuovien kokojen osuuksien muutosten arvioidaan johtuvan jätevesiketjun aikana tapahtuvasta mekaanisesta eroosiosta ja siitä, että isommat muovipartikkelit ovat alttiimpia sedimentoitumaan jätevesilietteeseen (Li et al., 2019).

Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että mikromuovit päätyvät suurimmaksi osaksi jätevesilietteeseen ja mikromuovien määrä lopullisessa lietteessä oli  $240,3 \pm 31,4$  kappaletta grammassa kuivaa lietettä ja keskimäärin partikkelien koko oli  $222,6 \mu\text{m}$  ja pääasiallisena muovilaatuna jätevedessä oli nylon (PA). Sekä jätevedessä että lietteessä tyypillisimmät mikromuovityypit olivat säikeet (fibers) ja sirpaleet (fragments). Vaikka jätevedenpuhdistuksessa mikromuoveista saadaan poistettua suurin osa, päätyy tutkimuksen mukaan kyseisessä kiinalaisessa jätevedenpuhdistamossa poistuvaan puhdistettuun jäteveeseen  $34,5$  mikromuovihiukkasta litraa kohden, mikä on vakava uhka meriympäristölle (Li et al., 2019).

Alla olevassa taulukossa on tilastoituja tietoja mikromuovien laaduista ja määristä Suomessa ja muualla maailmalla. Taulukossa on valtion lisäksi esitetty mikromuovien tyyppi, mikromuovipartikkelien määrä sisään tulevassa jätevedessä (influent), mikromuovien määrä lopullisessa ulos menevässä jätevedessä (effluent), mikromuovien määrä jätevesilietteessä ja mikromuovien poistamisaste.

Taulukko 2. Tilastoitujen mikromuovien laatu ja määrä Suomessa ja muissa valtioissa (Gatidou et al., 2019.)

Valtio	Havaittujen mikromuovien muoto ja tyyppi	Mikromuovien kappalemäärä sisään tulevassa jätevedessä	Mikromuovien kappalemäärä ulos menevässä jätevedessä	Mikromuovien kappalemäärä lietteessä	Mikromuovien poistamisaste
Suomi	Synteettiset partikkelit ja tekstiilikuidut	430 synteettistä partikkelia / L ja 180 tekstiilikuita / L	8,6 synteettistä partikkelia / L ja 4,9 tekstiilikuitua / L	-	98 % synteettisillä partikkeleilla ja 97 % tekstiilikuiduilla
Suomi	Polyesterit, polyamidi, polyeteeni, muut polymeerit	56,7 / L	1,0 / L	170,9 * 10 <sup>3</sup> / kg (kuiva-ainetta)	-
Suomi	Kuidut (puuvilla, polyesteri, pellava, viskoosi, villa, polyakryyli), sirpaleet, hiutaleet, kalvot, pallot	Otos * 380 -636,7  24-h yhdistelmänäyte ** 630-900	Otos * 0,7-14,2  24-h yhdistelmänäyte ** 1,4 – 23,8	186,7 (±26,0) *10 <sup>3</sup> / kg (kuivapaino)	>99 %
Ruotsi	Säikeet, sirpaleet ja hiutaleet	15,1 / L	8,25 * 10 <sup>-3</sup> / L	16,7 * 10 <sup>3</sup> / kg (kuivapaino)	99,9 %
Venäjä	Tekstiilikuidut, synteettiset ja	467 tekstiilikuitua, 160 synteettistä	16 tekstiilikuitua, 7 synteettistä ja 125	-	96 %

	mustat partikkelit	ja 3160 mustaa partikkelia / L	mustaa partikkelia / L		
Kanada	Säikeet, sirpaleet, vaahtorakeet, levyt, pelletit	31,1 ± 6,70	2,6 ± 1,4 primaarikäsittelyn jälkeen ja 0,5 ± 0,2 sekundäärikäsittelyn jälkeen	Primaariliete: 14,9 * 10 <sup>3</sup> ±6,3 Sekundaariliete: 4,4*10 <sup>3</sup> ± 2,9	97,1 – 99,1 %
Alankomaat	Säikeet, kalvot, pallot	68-910 / L	51-81 / L	510-760 / kg (märkäpaino)	72 %

\*Näytteenotto kolmen eri päivän aikana

\*\* Näytteenotto kolmen eri päivän aikana ja eri käsittelyvaiheiden jälkeen

Taulukon tiedoista havaitaan, että mikromuovien poistaminen jätevedestä on erittäin tehokasta. Mikromuoveja saadaan poistettua jätevedestä jopa yli 99 %, mutta poistamisasteissa on myös melkoisesti vaihtelua, sillä esimerkiksi Alankomaissa mikromuovien poistamisaste on vain 72 %. Toisaalta tulee myös huomioida, että taulukko sisältää ainoastaan ylös merkattua tietoa, eikä edusta maailmanlaajuisesta tilannetta tai kattavaa pitkän aikavälin mittausdataa. Esimerkiksi Välimeren alueen, Aasian ja Etelä-Amerikan mikromuovien määristä ei ole saatavilla tutkittua tai ylös merkattua tietoa (Gatidou et al., 2019.) Mikromuovien määriä on myös mitattu eri tavoin ja eri yksiköissä, joten taulukon tuloksia on osittain hankalaa vertailla. Yksiköiden vaihtelevuuden ja erilaisuuden lisäksi näytteitä on kerätty myös erikokoisten suodatusverkkojen avulla ja suodatusverkkojen koot olivat 300 µm, 100 µm tai 20 µm. Mikromuovien määrittämistä hankaloittaa myös se, että mikromuovien ovat hyvin laaja joukko eri muoveja, jotka eroavat kooltaan, muodoltaan, tiheydeltään, kemialliselta koostumukseltaan ja myös mahdollisesti muilta ominaisuuksiltaan (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Tulosten mukaan puhdistetun jäteveden yleisimmin havaitut mikromuovit olivat kooltaan alle 500 µm, väriltään vaaleahkoja tai läpinäkyviä ja muodoltaan epäsäännöllisiä. Muovilaaduista yleisimmin havaittuja olivat polyeteeni (PE), polyvinyylialkoholi, polystyreeni (PS), polyesteri ja polyamidi. Tuloksista voidaan siis päätellä, että mikromuovipartikkelin koko ja muoto vaikuttavat mahdollisesti siihen, kuinka mikromuovit käyttäytyvät jätevedenpuhdistusketjussa ja kuinka hyvin mikromuovit saadaan poistettua käsiteltävästä jätevedestä. Myös muovilaadulla voi olla merkitystä jätevedenkäsittelyssä.



Ongelmana mikromuovimäärien ja laatuojen mittaamisessa ja analysoimisessa on, ettei mikromuovien tutkimiselle ole yhtenäistä standardisoitua mittaustapaa. Tilastoitujen tulosten vertailu on tärkeää, joten yhtenäiset näytteenotto-, esikäsittely- ja analyysimenetelmät ovat tulevaisuudessa tärkeä määrittää. Luotettavat ja yhtenäiset tilastotiedot helpottaisivat tulosten vertailua, jolloin olisi mahdollista selvittää, kuinka esimerkiksi kuluttajien elämäntavat vaikuttavat mikromuovipitoisuuksiin eri maantieteellisillä alueilla ja miten jäteveden alkuperä, kuten teollisuus, sairaalat tai turistialueet, vaikuttaa havaittuihin mikromuovien laatuihin ja niiden määrään. Tulevaisuudessa on tärkeää myös selvittää, tapahtuuko mikromuoveissa kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia jäteveden käsittelyketjun eri vaiheissa ja jos tapahtuu, millaisia ne ovat. Kuitenkin jo tällä hetkellä tiedetään, että polymeerit hajoavat mikrobiologisesti aktiivisten eksoentsyymien johdosta, joten myös anaerobisen mädätyksen aikana tapahtuvaa biohajoamista tulee tutkia lisää tulevaisuudessa (Gatidou et al., 2019.)

Vaikka mikromuovit saadaan poistettua jätevedestä erittäin tehokkaasti, ovat ne silti jätevedenpuhdistamoilla ongelma, sillä ne päätyvät jätevedenpuhdistuslaitosten kiintoaineeseen eli lietteeseen (Corradini et al., 2019.) Lietteen hyödyntäminen maaperässä on tällä hetkellä Euroopassa vallitseva vaihtoehto lietteen hyötykäytölle, ja tilastotietojen mukaan Euroopassa yli 50 % prosenttia syntyvästä lietteestä käytetään maaperään (Gatidou et al., 2019.) Täten siis meriympäristön sijaan mikromuovit päätyvät liettelannoituksen mukana viljelypelloille ja täten mikromuovit pääsevät kertymään viljelymaaperään (Corradini et al., 2019.)

## 4 LIETTEEN KÄSITTELY JA HYÖTYKÄYTTÖ

Yhdyskuntien jätevesilietteeksi luokitellaan yhdyskuntajätevesi- ja sakokaivolietteet, kiinteistökohtainen liete kuivakäymäläjäte mukaan lukien sekä muu jätevedenpuhdistamon liete (Suoniitty, 2017.). Jätevesilietettä hyödynnetään maataloudessa lannoitteena ja lietteen osuus kaikesta Suomessa käytetystä lannoitteesta on virallisten tilastotietojen mukaan noin 3 - 5 % (Vesilaitosyhdistys, 2017). Lannoitteena käytetyn lietteen tulee täyttää sille asetetut vaatimukset ja säädökset, joita ovat muun muassa typpi- ja forforipitoisuuksien raja-arvot sekä haitta-aineiden ja raskasmetallien pitoisuuksien raja-arvot. Lisäksi lietteen hyötykäyttö edellyttää, että liete täyttää sille asetetut laatu -ja hygieniakriteerit (Vesilaitosyhdistys, 2017 & Suoniitty, 2017.).

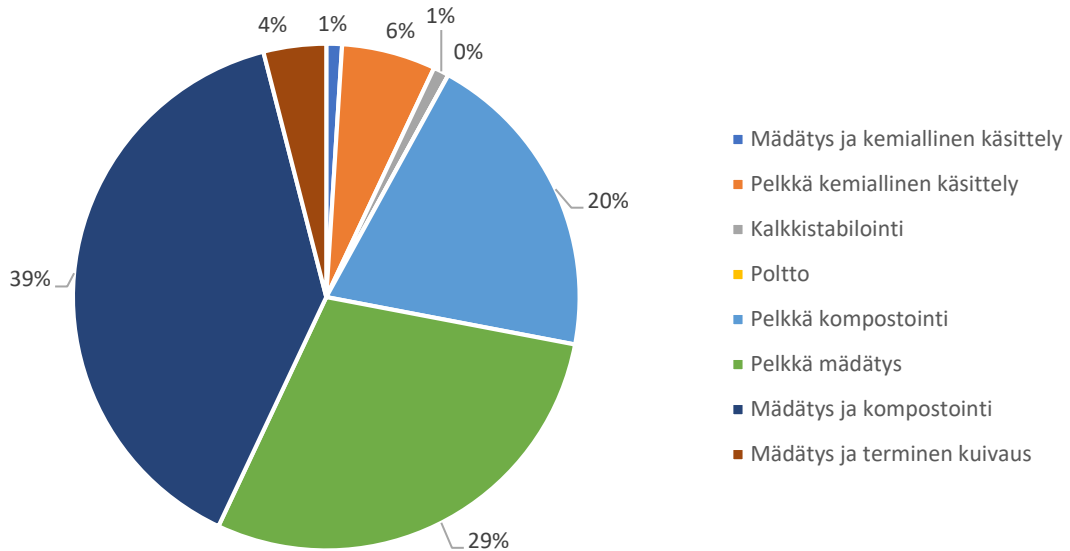
Jätevedenpuhdistamoilta syntyvää lietettä on tyypillisesti käytetty Suomessa viherrakentamisessa ja maatalouden lannoitteena. Käytännössä puhdistamoliete on aina ennen hyötykäyttöä käsiteltävä, eli liete on joko kompostoitu biologisesti, mädätetty tai vanhennettu, mutta myös fysikaalinen kuumentaminen, kemiallinen kalkkistabilointi ja happo-vetyperoksidikäsittely ovat mahdollisia (Sitra, 2007 & Turunen, 2016). Yhdyskuntajätevesilietettä voidaan hyötykäyttää myös polttamalla, mutta Suomessa se on tällä hetkellä harvinaista, sillä lietteen polton porttimaksut ovat korkeita ja lietteen polttoon vaaditaan erillinen lupaprosessi (Vesiyhdistyslaitos, 2017). Lietteen hyötykäyttöä valvoo Suomessa Evira eli nykyinen Ruokavirasto.

Yhdyskuntajätevesiliete voidaan mädättää joko märkä- tai kuivamädätyksellä. Erona näissä kahdessa päämädätystyyppissä on se, että märkämädätyksessä reaktoriin syötetään lietettä, jonka kiintoainepitoisuus on enimmillään 15 %, kun taas kuivamädätyksessä lietteen kiintoainepitoisuus vaihtelee 20 – 40 %:n välillä. Märkämädätyksessä reaktorissa oleva lietemassa pidetään suspendoituna mekaanisesti sekoittamalla. Kuivamädätyksessä puolestaan lietettä, joka on reaktorissa, ei sekoiteta lainkaan. Sen sijaan liete viedään hitaasti tai puristetaan reaktorin läpi. Ennen mädätystä liete esikäsitellään, eli se sakeutetaan joko mekaanisella tiivistimellä tai gravitaatiotiivistimessä riippuen käsiteltävästä lietteestä. Varsinaisessa mädätyksessä on tarkoitus hajottaa orgaanista ainetta hapettomassa tilassa. Lietteen kiintoainemäärää pienennetään bakteerien avulla, sillä bakteerit muuttavat lietteen sisältämää orgaanista ainetta metaanipitoiseksi biokaasuksi. Prosessin aikana myös ravinteet muuttuvat orgaanisen sijaan epäorgaaniseen muotoon. Mädätyksestä saatava lopputuote jatkokäsitellään käyttökohteen ja lietteen laadun mukaan. (Sitra, 2007.)

Kompostointimenetelmässä liete esikäsitellään ennen varsinaista kompostointia. Esikäsitelyssä lietteen kosteuden säätäminen on erittäin tärkeää ja tyypillisesti lietteen kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla mieluummin yli 15 %, mutta minimissään 10 %. Esikäsitelyn jälkeen liete kompostoidaan, eli esikompostoidaan ja jälkikypsytetään. Esikompostoinnissa liete ilmastetaan, sekoitetaan ja näiden vaiheiden jälkeen lietteestä poistetaan kompostikaasuja ja kompostointimassa myös hygienisoidaan. Jälkikypsytyksessä kompostointimassa jälkikypsytetään joko avoimella kentällä tai katetussa tilassa, joista avoin kenttä on yleisempi vaihtoehto. Kompostia käännellään aluksi useammin ja sitten harvemmin, ja lopuksi komposti seulotaan muun muassa epäpuhtauksien poistamiseksi. Lopuksi kompostimassa käsitellään sille tarkoitetun käyttötarkoituksen mukaan (Sitra, 2007.) Kompostoinnin aikana lietteen lämpötila nousee 50-70 °C:een (Karttunen, 2004), mutta muovien sulamispiste on yleensä jonkin verran korkeampi. Voisi siis olettaa, ettei jätevesilietteen kompostointi juuri vaikuta mikromuovien esiintymiseen ja käyttäytymiseen, mutta kompostoinnin vaikutusta mikromuovien käyttäytymiseen olisi syytä tutkia tulevaisuudessa.

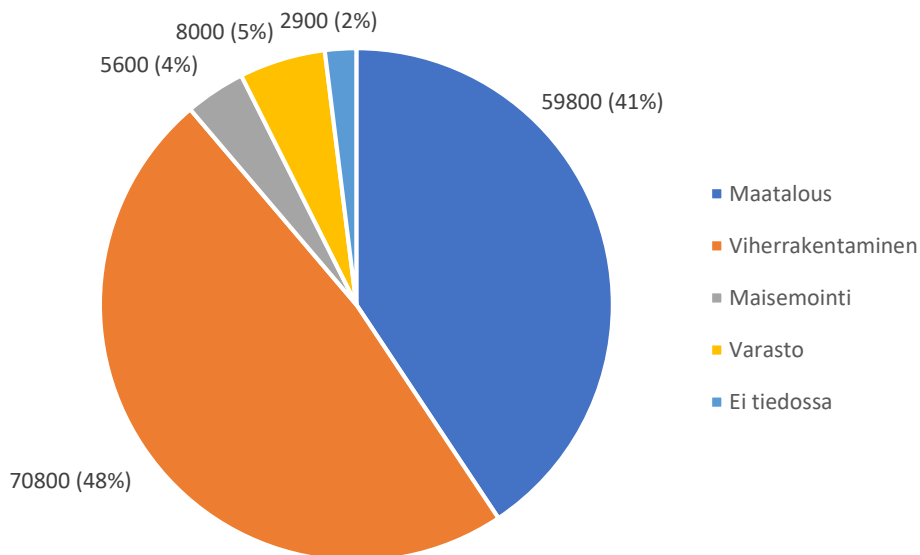
Lietettä voidaan myös polttaa, mutta silloin täytyy huomioida erityisen tarkasti lietteen sisältämät haitta-aineet, kuten syöpää mahdollisesti aiheuttavat polyaromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet, raskasmetallit ja kloori. Lietteen polttoa hankaloittaa myös se, että lietteen polttoon tarvitaan erillinen lupa, ja lupamenettelyt saattavat viedä paljon aikaa ja olla monimutkaisia. Jotta lietettä voidaan polttaa, se tulee ensin esikäsitellä eli kuivata. Lietteen terminen kuivaus vie kuitenkin melko paljon energiaa, sillä kuiva-ainepitoisuus tulisi saada mahdollisimman korkeaksi. Varsinainen lietteen poltto suoritetaan joko arinapoltona tai leijupolttotekniikalla. Lietettä poltettaessa käytetään jotain muuta polttoainetta tukipolttoaineena ja tyypillisesti lietteen osuus poltettavasta aineesta on alle 10 %. Lietteen osuutta poltettavasta aineesta on rajoitettava, sillä lietteen korkea vesipitoisuus ja matala lämpöarvo sekä tuhkan käyttäytyminen ja likaavuus laskevat palamislämpötilaa (Sitra, 2007.)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 6.) on esitetty lietteen käsittelymenetelmien osuudet kaikesta käsitellyn lietteen määrästä Suomessa vuonna 2016. Eri käsittelymenetelmät ja niiden osuudet on laskettu lietteen kuivapainon avulla. Kaaviosta nähdään, että yleisin lietteen käsittely on mädätys ja mädätyksen osuus oli noin 73 % vuonna 2016.



Kuva 5. Lietteen kuivapainon perusteella lasketut käyttömenetelmien osuudet lietteen kokonaismäärästä vuonna 2016 (Vesilaitosyhdistys, 2017).

Alla olevassa kuvaajassa on esitetty, missä käyttötarkoituksissa yhdyskuntajätevesiliettä on Suomessa hyödynnetty vuonna 2016. Kuvaajasta havaitaan, että selvästi suurin osa lietteestä on käytetty viherrakentamiseen, mutta myös maataloudessa lietettä hyödynnetään melko runsaasti.



Kuva 6. Lietteen hyötykäyttökohteet vuonna 2016 (Vesiyhdistyslaitos, 2017).

Lietteen hyötykäyttö maataloudessa on erityisen suotavaa, sillä jätevesiliete on erittäin hyvä typen ja fosforin lähde ja näin ollen jätevesilietteen hyödyntäminen lannoitteena vähentää neitseellisen typen ja fosforin tarvetta (SYKE, 2017). Euroopan unionin jätehierarkian mukaisesti olisi ensiarvoisen tärkeää hyödyntää liete lannoitteena, sillä lietteen sisältämää tyyppiä ja fosforia voidaan pitää uusiutuvana ravinnelähteenä. Lietteen hyötykäyttöön suhtaudutaan kuitenkin ristiriitaisesti muun muassa eri raskasmetallipitoisuuksien vuoksi. Myös mikromuovit ja muut epäpuhtaudet, kuten huume- ja lääkejäämät, vähentävät lietteen hyötykäytön houkuttavuutta ja osa viljelijöistä on kieltäytynyt käyttämästä lietettä lannoitteena. Hygieni- ja turvallisuusnäkökulmien lisäksi lietteen hyötykäyttö on viljelijöille ja yrityksille imagokysymys.

Suomessa syntyy vuosittain yhdyskuntien jätevesilietettä noin 1 000 000 tonnia ja kuiva-aineena vastaavasti 150 000 tonnia (SYKE, 2017). Lietteenkäsittelyn kustannukset ovat jätevedenpuhdistamoilla merkittävät, sillä ne muodostavat noin puolet kaikista jätevedenpuhdistuksen kustannuksista. Jätevedenpuhdistustekniikan kehittyessä ja väestömäärän kasvaessa voidaan odottaa jätevesilietteen määrän kasvavan, joten lietteen hyötykäytön maksimointi on ensiarvoisen tärkeää (Turunen, V., 2016). Esimerkiksi Puolassa syntyvän jätevesilietteen määrän arvioidaan kasvavan 612,8 tuhannesta tonnista 706,6 tuhanteen tonniin kuivapainossa mitattuna vuosina 2010-2018 (Werle, 2010.)

Vuonna 2015 Kiinassa jätevesilietettä (kosteuspitoisuus 80 %) syntyi noin 40 miljoonaa tonnia. Syntyvän lietteen määrä on kasvanut vakaasti jätevedenpuhdistuslaitosten lisääntymisen ja kapasiteetin kasvamisen myötä ja lietteen määrän ennustetaan kasvavan edelleen, ja vuonna 2020 määrän arvioidaan olevan jo 60 miljoonaa tonnia vuodessa (Li et al., 2018). Euroopassa puolestaan syntyi jätevesilietettä yli 10 miljoonaa tonnia vuonna 2010 (Mahon et al., 2017). Valtavien lietemäärien vuoksi olisi tärkeää, että liete saataisiin hyödynnettyä eikä se päätyisi kaatopaikoille. Lietteen sisältämää mikromuovimäärää voisi yrittää säädellä parantamalla jätevedenpuhdistamoiden kuivatusta lietteestä poistetun veden puhdistusmenetelmiä. Lietteen mikromuovipitoisuuksiin kannattaa jatkossakin kiinnittää erityistä huomiota, sillä jo yksin Kiinassa maaperään ja muualle ympäristöön päätyy vuosittain lietteen mukana sata triljoonaa mikromuovipartikkelia (Li et al., 2018).

Eräissä kansainvälisessä tutkimuksessa selvitettiin, vaikuttaako lietteen käsittelymenetelmä jätevesilietteeseen päätyvien mikromuovien määrään ja laatuun. Tutkimuksessa verrattiin lietteen

käsittelymenetelmistä mädätystä (AD), lämpökuivausta (TD) ja kalkkistabilointia (LS). Jätevesinäytteitä kerättiin seitsemästä jätevedenkäsittelylaitoksesta, joihin jätevettä päätyi teollisuudesta, hulevesivalumista ja kotitalouksista. Tutkimuksen pääpaino oli maaperään sijoitettavassa lietteessä, joten esikäsitellynäytteitä ei otettu lainkaan. 30 gramman suuruisten näytteiden kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat 24 %:sta 87 %:iin ja näytteitä käsiteltiin muun muassa pakastamalla ja suodattamalla ei kokoisten suodattimien läpi (Mahon et al., 2017.)

Taulukko 3. Mikromuovien määrä ja laatu eri tutkimuskohteissa ja vaihtelevilla käsittelymenetelmillä (Mahon et al., 2017.)

Sijainti nro	Käsittelymenetelmä	Mikromuovityypit				
		Kuidut	Sirpaleet	Kalvot	Pallot	Muut
1 A	Lämpökuivaus (TD)	9113	511	255	89	44
1 B	Mädätys (AD)	2065	611	67	0	0
2	Lämpökuivaus (TD)	5583	588	222	44	67
3	Mädätys (AD)	4007	855	111	33	150
4	Lämpökuivaus (TD)	13675	1143	366	33	178
5	Kalkkistabilointi (LS)	10778	3075	122	11	78
6	Kalkkistabilointi (LS)	4762	5228	11	0	11
7	Lämpökuivaus (TD)	3463	511	167	0	56
yhteensä		53447	12521	1321	211	583
%		78,5	18,4	1,9	0,3	0,9

Tutkimuksessa selvisi, että lietteen mädätyksessä lopullisessa jätevesilietteessä mikromuoveja on vähemmän, kuin niissä jätevesinäytteissä, joissa liete oli käsitelty lämpökuivauksella tai kalkkistabiloinnilla. Tuloksista voidaan päätellä, että lietteen käsittelyprosessilla voi mahdollisesti olla vaikutusta lopputuotteen mikromuovien määrään ja laatuun. Mädätykseen osallistuvien mikro-organismien tutkiminen onkin tulevaisuudessa tärkeä tutkimuskohde, sillä mädätys saattaa olla tulevaisuuden ratkaisu mikromuovien vähentämiseen. Kuitenkin mikromuoveja mahdollisesti hajottavat mikro-organismit voivat olla mahdollinen ympäristöriski, joten niiden toimintaa ja vaikutuksia on tutkittava tulevaisuudessa (Mahon et al., 2017.)

## 5 MIKROMUOVIEIN RAJOITTAMINEN

Euroopan komission arvion mukaan mikromuoveja päätyy EU:n alueella ympäristöön noin 70 000 – 300 000 tonnia vuodessa. Euroopan kemikaalivirasto ECHA (European Chemical Agency, European Commission, 2018) onkin täten Euroopan komission pyynnöstä antanut ehdotuksen, jonka mukaan mikromuovien tarkoituksenmukaista lisäämistä tuotteisiin tulisi rajoittaa. Euroopan kemikaaliviraston arvion mukaan mahdolliset rajoitukset vähentäisivät ympäristöön päätyvien mikromuovien määrää kahdessakymmenessä vuodessa jopa 400 tuhannella tonnilla. ECHA on arvioinut, että sen antama ehdotus tulee aiheuttamaan erilaisia kustannuksia, mutta on kuitenkin sitä mieltä, että vähentäminen voidaan tehdä kustannustehokkaasti kaikilla osa-alueilla. Tämä koskee myös maataloussektoria, jonka ajatellaan olevan suurin tarkoituksenmukaisesti tuotteisiin lisätyn mikromuovin lähde (ECHA.)

Maataloussektorille mikromuoveja päätyy useasta eri lähteestä. Jätevedenpuhdistamoilta peräisin oleva jätevesiliete sisältää mikromuoveja, ja kun jätevesilietettä hyödynnetään lannoitteena pelloilla, päätyy mikromuoveja myös pelloille. Myös kompostoitua biojätettä käytetään lannoitteena, ja jos biojätteet on esimerkiksi kuluttajan toimesta pakattu muovipusseihin, voi tätä kautta mikromuoveja päätyä myös kompostoituihin biojätteeseen. Joissain lannoitteissa ravinteet on pakattu muovikapseleihin, jolloin ravinteet liukenevat pelloille vähitellen. Kun ravinteet ovat lienneet kokonaan, muovikapselien kuoret jäävät luontoon ja saattavat hajota pieniksi mikromuoveiksi (HS, 2019 & Corradini, 2019.)

Euroopan kemikaalivirasto ehdottaa mikromuovien lisäämisen rajoittamista erityisesti niihin tuotteisiin, joista mikromuovia siirtyy väistämättä ympäristöön. Tällaisiksi tuotteiksi Euroopan kemikaalivirasto on luokitellut muun muassa kosmetiikkatuotteet, erilaiset kunnossapitotuotteet, pesu- ja puhdistusaineet, maalit ja pinnoitteet, rakennusmateriaalit sekä lääketeollisuuden tuotteet. ECHA luokittelee näihin tuotteisiin kuuluvaksi myös maataloudessa ja puutarhan hoidossa käytetyt tuotteet sekä tuotteet, joita käytetään öljyn ja maakaasun tuotannossa (ECHA.)

Mikromuovien tarkoituksenmukaista käyttöä pyritään tulevaisuudessa rajoittamaan lainsäädännöllä, mutta useat yritykset ovat aikeissa luopua vapaaehtoisesti mikromuovien lisäämisestä tuotteisiin. Mikromuovien vähentäminen ja mikromuovien käytön rajoittaminen ovat ajankohtaisia toimenpiteitä myös ilman lainsäädännöllistä pakotetta, sillä erilaiset sidosryhmät, kuten kuluttajat ja ympäristöjärjestöt, asettavat vaatimuksia kuluttamilleen tuotteille.

Cosmetics Europe eli eurooppalaisen kosmetiikkavalmistajien edunvalvojan mukaan hankaavassa ja pesevässä poishuuhdeltavassa kosmetiikassa mikromuovien käyttö väheni noin 80 % vuosina 2012 – 2015. Mikromuovien vähentäminen kosmetiikkatuotteissa on kasvava trendi myös muualla maailmassa, ja esimerkiksi Suomessa Pohjoismaisella Joutsenmerkillä varustettujen tuotteiden kriteereihin kuuluu, etteivät kyseiset tuotteet sisällä mikromuovia (Ympäristöministeriö, Joutsenmerkki).

Amec Foster Wheeler on julkaissut Euroopan komission puolesta raportin, jossa käsitellään tarkoituksenmukaisesti tuotteisiin lisättyjä mikromuoveja. Lokakuussa 2017 julkaistu raportti sisältää tietoa raportin tarkoituksesta, mikromuovien markkina-analyysiä, mikromuovien riskien arviointia ja mikromuovien vaihtoehtojen analysointia. Mikromuovien korvaaminen muilla tuotteilla ei ole kovin yksinkertaista, sillä mikromuoveja käytetään kosmetiikassa ja hygieniatuotteissa muun muassa kuorinta- ja sidosaineena, sähköisyyden ja paakkuuntumisen poistajana sekä massan lisääjänä. Myös esimerkiksi jalkapallokentillä käytetään autonrenkaista valmistettua kumirouhetta täyteaineena, ja korvaavien aineiden löytäminen ja kehittäminen voi viedä aikaa (European Commission & HS, 2019.)

ECHA yrittää kartoittaa mikromuovien esiintymistä ja etsiä ratkaisuja mikromuovien aiheuttamiin ongelmiin mahdollisimman kattavasti. ECHA muun muassa järjesti sidosryhmien työpajan Helsingissä toukokuussa 2018. Työpajaan osallistui monien eri tahojen edustajia, kuten jäsenmaiden edustajia, kansalaisjärjestöjen edustajia ja ECHA:n henkilökuntaa. Työpajassa käsiteltiin tarkoituksen mukaisesti tuotteisiin lisättyjä mikromuoveja, ja aihealueita olivat muun muassa kosmetiikka, maatalous, rakennussektori sekä öljy- ja kaasusektori (ECHA.)

On todettu, että mikromuovillisen jätevesilietteen hyödyntämiselle ei ole olemassa vielä lainsäädäntöä, mutta luultavasti tulevaisuudessa asiaan puututaan, kun enemmän tutkimustietoa on saatavilla. Joitain tutkimuksia jätevesilietteen lannoitekäytöstä on kuitenkin tehty. Eräs tutkimus selvitti, kuinka mikromuovillisen jätevesilietteen lisääminen maaperään vaikuttaa mikromuovien kertymiseen maaperässä. Tutkimuksessa selvisi, että mikromuovia sisältävän lietteen lisääminen maaperään aiheuttaa mikromuovipitoisuuksien nousuun, ja mitä enemmän lietettä lisätään, sitä enemmän mikromuovia maaperään kertyy (Corradini, 2019.)



Euroopan komissio on hyväksynyt tammikuussa 2017 koko Euroopan kattavan muovistrategian, jonka tarkoituksena on, että kaikkien muovipakkausten tulee olla kierrätettäviä vuoteen 2030 mennessä, kertakäyttöisten muovituotteiden käyttöä vähennetään ja tarkoituksen mukaisten mikromuovien käyttöä rajoitetaan. Muovistrategiaa perustellaan muun muassa sillä, että vuoteen 2050 mennessä merissä tulee olemaan enemmän muovia kuin kalaa, jos nykyiseen muovin tuotanto- ja kulutuskulttuuriin ei tule muutoksia. Lisäksi huolta aiheuttaa mikromuovien kulkeutuminen veteen, ruokaan ja ihmisten elimistöihin. Euroopan komission mukaan muovistrategian toteutumiseen tarvitaan kuitenkin hallitusten lisäksi kansalaisten ja teollisuuden apua (European Commission, 2018.)

Vaikka yhtenäistä lainsäädäntöä mikromuovien käytön rajoittamiselle ei vielä ole, useat maat, kuten Kanada ja Yhdysvallat, ovat jo asettaneet rajoituksia mikromuovien käytölle hygieniatuotteissa. Kuitenkin myös useat EU:n jäsenvaltiot ovat esittäneet lakiluonnoksia liittyen mikromuovien käytön kieltämiseen tietyissä kosmetiikkatuotteissa. Euroopan komissio onkin käynnistänyt menettelyjä, joiden tarkoituksena on rajoittaa tarkoituksellisesti lisättyjen mikromuovien käyttöä (European Commission).

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Jätevedenpuhdistamot ovat merkittävä pistemäinen mikromuovien kulkeutumisreitti ympäristöön, joten olisi ensiarvoisen tärkeää saada mahdollisimman suuri osuus mikromuoveista poistettua jätevedestä. Vaikka nykyään mikromuoveista saadaan poistettua jopa 99%, on valtavia vesimääriä käsitellessä yksikin prosentti suuri määrä, mikäli se päätyy ja kertyy vesiekosysteemeihin. Lisäksi kattavaa tilastotietoa mikromuovien lähteistä, määrästä ja laadusta ei ole saatavilla esimerkiksi Aasian ja Etelä-Amerikan maissa.

Mikromuovien tarkastelulle ei ole tällä hetkellä olemassa standardisoitua näytteenotto-, esikäsittely- ja analyysimenetelmää, joten tilastoituja tietoja mikromuovien määrästä ja laadusta on vaikeaa vertailla. Mikromuovitulosten vertailu olisi kuitenkin erittäin tärkeää, jotta voitaisiin kattavasti arvioida, miten esimerkiksi mikromuovillisen jäteveden maantieteellinen alkuperä tai muu alkuperä, kuten teollisuus tai sairaalat, vaikuttaa mikromuovien laatuun ja määrään. Tämän vuoksi standardisoituja menetelmiä mikromuovien tutkimisille on tulevaisuudessa kehitettävä. Mikromuoveille ei ole olemassa myöskään minkäänlaisia seurantavelvoitteita, joten seurantavelvoitteiden kehittäminen on myös tarpeen.

Mikromuovit päätyvät jätevedenpuhdistamoilta lietteeseen ja lietettä on käytetty viherrakentamisessa ja maataloudessa lannoitteena, mutta mikromuovit tuovat haasteita lietteen hyödyntämiseen. Tulevaisuudessa olisi tärkeää ratkaista, kuinka mikromuovillista jätettä voisi hyödyntää turvallisesti ja mahdollisimman resurssitehokkaasti.

Mikromuovit on yleisesti havaittu ympäristöriski, joten siihen yritetään puuttua myös lainsäädännöllisillä keinoilla. Tulevaisuudessa tarvitaan lisää lainsäädäntöä mikromuovien käytölle, ja esimerkiksi lannoitteena käytettävälle lietteelle tulisi asettaa mikromuovien raja-arvot. Lainsäädännöllisten keinojen lisäksi mikromuovien vähentämiseksi tarvitaan myös kuluttajien kulutusvalintojen muutosta.

Kaiken kaikkiaan mikromuovien haitoista, kemiallisfysikaalisista muutoksista ja mahdollisista muista vaikutuksista ei ole riittävästi tutkimustietoa, joten olisi ehdottoman tärkeää suunnata tutkimusresursseja mikromuovien esiintymiselle kaiken kaikkiaan.

## 7 YHTEENVETO

Yleinen muovintuotanto on kasvanut huimasti viime vuosikymmeninä ja muovin tuotannon ja hyötykäytön kasvun uskotaan jatkuvan edelleen. Tämän perusteella voidaan olettaa, että myös mikromuovien määrä kasvaa. Mikromuovien tarkoista määristä, laadusta ja ympäristövaikutuksista ei ole vielä riittävästi tietoa saatavilla, joten lisää tutkimuksia aiheesta on tehtävä. Mikromuovin lähteitä on kartoitettu jo jonkin verran, mutta esimerkiksi mikromuovin mahdollisista fysikaalisista ja kemiallisista muutoksista jätevedenpuhdistusprosessin aikana ei ole riittävästi tietoa.

Mikromuoveja lisätään erilaisiin tuotteisiin tarkoituksenmukaisesti ja näitä mikromuovin lähteitä kutsutaan primaarisiksi mikromuovin lähteiksi. Myös suurempien muovikappaleiden hajoamisesta syntyy mikromuoveja, ja näitä sanotaan puolestaan sekundaarisiksi lähteiksi. Mikromuovit kulkeutuvat jäte- ja hulevesijärjestelmien kautta jätevedenpuhdistamoille. Jätevedenkäsittelyprosessin aikana mikromuoveista saadaan poistettua jopa 99 %, mutta ne päätyvät jätevesilietteeseen.

Jätevesilietteen hyödyntäminen edellyttää, että se on käsitelty jotenkin. Yleisimpiä lietteenkäsittelymenetelmiä ovat mädätys ja kompostointi, mutta lietteen voi myös esimerkiksi kalkkistabiloida tai polttaa. Suomessa jätevesiliete tyypillisesti mädätetään, mutta mikromuovien osuutta tai vaikutusta mädätyksessä ja kompostoinnin osalta on tutkittu liian vähän.

Käsiteltyä jätevesilietettä on jo pitkään käytetty esimerkiksi maatalouden lannoitteena, mutta mikromuovien mahdollisten haittavaikutusten takia lietteen hyötykäyttö hankaloituu. Mikromuovillisen lietteen hyötykäyttöön suhtaudutaan varauksella, ja lainsäädännöllisten rajoitteiden lisäksi jotkin yritykset ovat vapaaehtoisesti luopuneet mikromuovin tarkoituksenmukaisesta lisäämisestä tuotteisiin tai kieltäytyneet hyötykäyttämästä mikromuovillista lietettä. Kuitenkin lietteen hyötykäyttö olisi Euroopan unionin jätehierarkian mukaisesti ensiarvoisen tärkeää.

## LÄHTEET

Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. Elsevier Ltd. Marine Pollution Bulletin 62. s. 1596-1605.

Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. Elsevier Ltd. Environmental International 102. s. 165-176.

Bayo, J. et al. 2016. Microplastics and microfibers in the sludge of a municipal wastewater treatment plant. Witpress. International Journal of Sustainable Development and Planning 11. s. 812-821.

Browne, M.A. 2015. Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. Springer Link. Marine Anthropogenic Litter. s. 229-244.

Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G. 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. Elsevier Ltd. Water Research 91. s. 174-182.

Cesa, F.S., Turra, A., Baruque-Ramos, J. 2017. Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings. Elsevier Ltd. Science of The Total Environment 598. s. 1116-1129.

Claessens, M. et al. 2013. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. Elsevier Ltd. Marine Pollution Bulletin 70. s. 227-233.

Corradini, F. et al. 2019. Evidence of microplastics accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. Elsevier Ltd. Science of The Total Environment. s. 411-420.

Dehghani, S., Moore, F., Akhbarizadeh, R. 2017. Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. SpringerOpen. Environmental Science and Pollution Research. s. 20300-20371

Duis, K., Coors, A. 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. SpringerOpen. Environmental Sciences Europe.

ECHA. European Chemicals Agency. Mikromuovit. [verkkosivut]. Saatavissa: <https://echa.europa.eu/fi/hot-topics/microplastics>

ECHA, 2019. European Chemicals Agency. ECHA proposes to restrict intentionally added microplastics. [WWW]. [viitattu 7.4.2019] Saatavissa: <https://echa.europa.eu/fi/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>

European Commission, 2018. Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the regions. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. [verkkojulkaisu]. [viitattu 27.5.2019]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf>

European Commission, 2019. ECHA public consultation on the restriction dossier for microplastics intentionally added to products. [verkkojulkaisu] European Commission. [viitattu 7.4.2019] Saatavissa: [https://ec.europa.eu/growth/content/echa-public-consultation-restriction-dossier-microplastics-intentionally-added-products\\_en](https://ec.europa.eu/growth/content/echa-public-consultation-restriction-dossier-microplastics-intentionally-added-products_en)

European Commission. Intentionally added microplastics in products. Final report, 2017.

[verkkojulkaisu]. [viitattu 27.5.2019]. Saatavissa:

<http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/39168%20Intentionally%20added%20microplastics%20-%20Final%20report%2020171020.pdf>

European Commission, 2017. Microplastics Focus on Food and Health. Factsheet. [verkkojulkaisu].

[viitattu 7.4.2019] Saatavissa:

[http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110629/jrc110629\\_final.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110629/jrc110629_final.pdf)

European Commission. Microplastic Pollution. Scientific perspectives and its impacts.

[verkkosivut]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/research/sam/index.cfm?pg=pollution>

European Commission, 2018. Press Release Database. Plastic Waste: a European strategy to protect the planet, defend our citizens and empower our industries. [verkkojulkaisu]. [viitattu 27.5.2019].

Saatavissa: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-5\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_en.htm)

European Commission, 2017. Science for Environment Policy: Study suggests anaerobic digestion may reduce microplastics in sewage sludge. [verkkojulkaisu]. Saatavissa:

[http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/study\\_suggests\\_anaerobic\\_digestion\\_may\\_reduce\\_microplastics\\_sewage\\_sludge\\_493na3\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/study_suggests_anaerobic_digestion_may_reduce_microplastics_sewage_sludge_493na3_en.pdf)

Fjäder, Päivi, 2016. Merten roskaantuminen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2016. [verkkojulkaisu]. [viitattu 7.4.2019] Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/167421/SYKEra\\_37\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/167421/SYKEra_37_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fyttili, D., Zabaniotou, A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. Elsevier Ltd. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12. s. 116-140.

Gatidou, G., Arvanitit, O.S., Stasinakis, A.S., 2019. Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. Elsevier Ltd. Journal of Hazardous Materials, 367. s. 504-512.

Hidalgo-Ruz, V. et al. 2012. Microplastics in the Marine Environment: A review of the Methods Used for Identification and Quantification. ACS Publications. Environmental Science & Technology 46. s. 3060-3075.

Hollman, P.C.H., Bouwmeester, H., Peters, R.J.B. 2013. Microplastics in aquatic food chain: sources, measurement, occurrence and potential health risks. Wageningen University & Research.

Horton, A.A. et al. 2016. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. Elsevier Ltd. Marine Pollution Bulletin 114. s. 218-226.

HS. Helsingin sanomat, 4.5.2019. ”EU ryhtyy rahoittamaan mikromuoveja kosmetiikassa”. [viitattu 27.5.2019] Helsingin sanomien artikkeli.

HSY. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.4.2019] Saatavissa:  
[https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/viikinmaki\\_tekninenesite\\_FI.pdf](https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/viikinmaki_tekninenesite_FI.pdf)

Joutsenmerkki. Mikromuovit. [verkkajulkaisu] [viitattu 7.3.2019] Saatavissa:  
<https://joutsenmerkki.fi/teemat/mikromuovit/>

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. Ojanen, Pekka, 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. Alueelliset ympäristöjulkaisut, 223.

[verkkojulkaisu]. [viitattu 8.3.2019] Saatavissa:

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133984/AY223%20Sellu->

[%20ja%20paperitehtaiden%20lietteiden%20käsittely%20ja%20hyötykäyttö%20sekä%20niitä%20rajoittavat%20tekijät.pdf?sequence=2](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133984/AY223%20Sellu-%20ja%20paperitehtaiden%20lietteiden%20käsittely%20ja%20hyötykäyttö%20sekä%20niitä%20rajoittavat%20tekijät.pdf?sequence=2)

Kang, H. et al. 2018. Occurrence of microplastics in municipal sewage treatment plants: a review. PMC. Environ Health Toxicol.

Karttunen, E. Helsinki, 2004. Vesihuolto II. RIL 124-2. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y.

Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M, Vethaak, A.D. 2013. Microplastic survey of the Dutch environment. IVM Institute for Environmental Studies. [verkkojulkaisu] [viitattu 7.3.2019]

Saatavissa:

[http://www.ivm.vu.nl/en/Images/IVM\\_report\\_Microplastic\\_in\\_sediment\\_STP\\_Biota\\_2013\\_tcm234-409860.pdf](http://www.ivm.vu.nl/en/Images/IVM_report_Microplastic_in_sediment_STP_Biota_2013_tcm234-409860.pdf)

Li, X. et al. 2018. Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. Elsevier Ltd. Water Research 142. s. 75-85.

Li, X. et al. 2019. Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. Elsevier Ltd. Chemical Engineering Journal 362. s. 176-182.

Mahon, A.M. et al. 2017. Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment. ACS Publications. Environmental Science & Technology 51. s. 810-818.



Natura. 2018. Mikromuovien kokoluokasta maailmaluokan ongelmaksi-mitä merten mikromuovista tiedetään? [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.3.2019] Saatavissa:

<http://www.naturalehti.fi/2018/05/18/mikrometrien-kokoluokasta-maailmanluokan-ongelmaksi-mita-merten-mikromuovista-tiedetaan/>

Niva, 2018. Norwegian Institute for Water Research. Microplastics in agricultural soils: A reason to worry?. [verkkajulkaisu]. [viitattu 27.5.2019]. Saatavissa:

<https://www.niva.no/en/news/microplastics-in-agricultural-soils-a-reason-to-worry>

Novotna, K. et al. 2019. Microplastics in drinking water treatment – Current knowledge and research needs. Elsevier Ltd. Science of The Total Environment 667. s. 730-740.

Sitra. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. Pöyry Environment Oy, 2007. [verkkajulkaisu] [viitattu 7.3.2019] Saatavissa:

<https://media.sitra.fi/2017/02/27172733/LietteenkC3A4sittely-2.pdf>

Statista, 2019. Global plastic production from 1950 to 2017 (in million metric tons).

<https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>

Suoniitty, Titta. 2017. Evira. Jätevesilietteitä koskeva lainsäädäntö. [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.3.2019] Saatavissa:

[https://www.hsy.fi/repa/fi/etusivulle/Documents/Suoniitty\\_Titta\\_Jätevesilietteet\\_23\\_10\\_2017.pdf](https://www.hsy.fi/repa/fi/etusivulle/Documents/Suoniitty_Titta_Jätevesilietteet_23_10_2017.pdf)

SYKE. 2017. Mikromuovit riski myös Suomen vesistöille. [verkkajulkaisu] [viitattu 7.3.2019] Saatavissa:

[http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit\\_riski\\_myos\\_Suomen\\_vesistoill%2842492%29](http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill%2842492%29)

SYKE. 2017. Mikromuovit riski ympäristölle. [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.3.2019] Saatavissa: [https://www.vyl.fi/site/assets/files/1430/syke\\_policybrief\\_mikromuovi\\_fi\\_web.pdf](https://www.vyl.fi/site/assets/files/1430/syke_policybrief_mikromuovi_fi_web.pdf)

Turunen, Ville. 2016. Lietteenkäyttömenetelmän vaikutus lietteen hyötykäyttömahdollisuuksiin ja valinta arvopuuanalyysin avulla. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Ympäristö- ja yhdyskuntatekniikka.

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23994/master\\_Turunen\\_Ville\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23994/master_Turunen_Ville_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

United States Environmental Protection Agency. 1992. Plastic Pellets in the Aquatic Environment: Sources and Recommendations. Final Report. [verkkajulkaisu]. [viitattu 27.5.2019]. Saatavissa:

Unric. Yhdistyneiden kansakuntien alueellinen tiedotuskeskus. 25 minuuttia kädessä, 500 vuotta luonnossa. [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.4.2019] Saatavissa: <https://unric.org/fi/newsletter/27217-25-minuuttia-kaedessae-500-vuotta-luonnossa>

Vesilaitosyhdistys. Yhdyskuntalietteen käsittelyn hyödyntämisen nykytilannekatsaus.

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Helsinki 2017. [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.3.2019].

Saatavissa:

[https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen\\_ka\\_sittelyn\\_ja\\_hyo\\_dynta\\_misen\\_nyk\\_ytilannekatsaus\\_26092017.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyo_dynta_misen_nyk_ytilannekatsaus_26092017.pdf)

Werle, S. 2010. A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective. Elsevier Ltd. Renewable Energy 35. s. 1914-1919.

Ympäristö.fi. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. 2013. [verkkosivut]. [viitattu 7.3.2019] Saatavissa:

<https://www.ymparisto.fi/fi->

[FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset\\_jarjestelmat\\_LVI/Kiinteiston\\_jatevesien\\_kasittely/Syventavaa\\_tietoa/Puhdistamosivusto\\_jatevesien\\_kasittelymenetelmista/Kaikkien\\_jatevesien\\_kasittely/Laitepuhdistamoja\\_kaikille\\_jatevesille/Yleista\\_pienpuhdistamoista/Hajaasutuksen\\_jatevesihuollon\\_kasitteita](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Kiinteiston_jatevesien_kasittely/Syventavaa_tietoa/Puhdistamosivusto_jatevesien_kasittelymenetelmista/Kaikkien_jatevesien_kasittely/Laitepuhdistamoja_kaikille_jatevesille/Yleista_pienpuhdistamoista/Hajaasutuksen_jatevesihuollon_kasitteita)

Ympäristöministeriö. 2018. Kysymyksiä ja vastauksia muoveista. [verkkajulkaisu]. [viitattu 7.4.2019] Saatavissa:

[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Muovit/Kysymyksiä\\_ja\\_vastauksia\\_muoveista](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Muovit/Kysymyksiä_ja_vastauksia_muoveista)