



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **MIKROMUOVIEIN POISTOSSA JÄTEVESISTÄ KÄYTETTYJÄ MENETELMIÄ**

Krista Paaso

PROSESSI- JA YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Tammikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Mikromuovien poistossa jätevesistä käytettyjä menetelmiä

Krista Paaso

Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2021, 21 s

Työn ohjaaja yliopistolla: Heini Postila

Mikromuovit ovat alle 5 mm kokoisia muovihiukkasia, joita syntyy esimerkiksi suurempien muoviesineiden hajotessa. Mikromuovit voivat päätyä jäteveteen esimerkiksi synteettisten vaatteiden pesun seurauksena. Työn tavoitteena on selvittää, missä jätevedenpuhdistuksen prosesseissa jätevedestä poistuu mikromuoveja, kuinka paljon mikromuoveja poistuu sekä mikromuovien vaikutukset jätevesilietteen laatuun. Työ on tehty keräämällä tietoa eri tiedonlähteistä, kuten tutkimuksista, artikkeleista sekä kirjoista.

Jätevedenpuhdistamolla tuloveden mukana tulleista mikromuoveista saadaan poistettua 96–99,9 %. Suurin osa mikromuoveista poistuu puhdistusprosessin alkuvaiheen fysikaalisissa puhdistusmenetelmissä, joihin kuuluvat mm. välppäys, siivilöinti sekä esiselkeytys. Mikromuoveja poistuu myös aktiivilieteprosessin sekä jälkiselkeytyksen aikana, ja poistumista voidaan tehostaa lisäämällä jäteveteen flokkien muodostumista edistäviä kemikaaleja. Mikromuovien poistumista tehostaa myös tertiääristen poistomenetelmien käyttö, joista tehokkaimmaksi on havaittu membraanisuodatus. Jätevedestä poistetut mikromuovit siirtyvät jätevesilietteeseen, joka yleisimmin käsitellään mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä, minkä aikana mikromuovien poistumista ei juurikaan tapahdu. Mikromuovien määrää jätevesilietteessä voidaan vähentää lietteen poltolla. Käsittelyn jälkeen lietettä voidaan hyödyntää esim. viherrakentamisessa sekä lannoitteena maataloudessa.

*Asiasanat: mikromuovit, jätevedenpuhdistusprosessi, liete*

# ABSTRACT

Methods to remove microplastics from municipal wastewater

Krista Paaso

University of Oulu, Environmental engineering

Bachelor's thesis 2021, 21pp

Supervisor at the university: Heini Postila

Microplastics are small plastic particles smaller than 5 mm diameter and can be created from larger plastic pieces breaking down. Microplastics can end up in wastewaters for example due to synthetic clothing breaking down when being washed. The target for this thesis is finding which treatment processes remove microplastics from wastewaters in wastewater treatment plants, in what quantities, and the effects of microplastics to the sewage sludge. The thesis is done by collecting information from different sources, such as different researches, articles and books.

96–99.9% of the microplastics coming to the wastewater treatment plant can be removed in the treatment process. Most of the microplastics are removed in the beginning of the treatment process by physical methods like screening, filtering, and pre-sedimentation. Microplastics are also removed in activated sludge process and final sedimentation. The removal of microplastics in the activated sludge process can be boosted by adding certain chemicals. Some tertiary treatments increase the amount of microplastics removed. The most efficient tertiary treatment for removing microplastics is membrane filtering. The microplastics removed from the wastewater will end up in sewage sludge, which is often treated with the combination of anaerobic digestion and composting. The amount of microplastics in the sewage sludge can be reduced by burning the sludge. The treated sewage sludge is used for example in landscaping and as a fertilizer in agriculture.

*Keywords: microplastics, wastewater treatment process, sludge*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	4
2 MIKROMUOVIT .....	5
2.1 Mikromuovien määritelmä ja luokittelu.....	5
2.2 Mikromuovien lähteet .....	6
2.3 Mikromuovien haitat.....	8
3 JÄTEVEDENPUHDISTUKSEN PROSESSIT .....	9
3.1 Välppäys ja siivilöinti .....	10
3.2 Selkeytys (Karttunen 2004, 77).....	10
3.3 Ilmastus .....	11
3.4 Kemiallinen saostus .....	11
3.5 Aktiivilieteprosessi.....	11
3.6 Lietteän käsittely .....	11
4 MIKROMUOVIEN POISTO JÄTEVESISTÄ.....	13
4.1 Välppäys ja siivilöinti .....	13
4.2 Esiselkeytys.....	13
4.3 Aktiivilieteprosessi.....	14
4.4 Lietteän käsittely .....	14
4.5 Tertiäriset poistomenetelmät .....	14
4.6 Yhteenveto eri prosessien vaikutuksesta mikromuovien poistumiseen jätevedestä .....	15
5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	18
6 LÄHDELUETTELO.....	19

# 1 JOHDANTO

Arviolta 8 miljoonaa tonnia muovia päätyy vesistöihin vuosittain (European Commission 2017). Eräiksi mikromuovien kulkureiteiksi vesistöihin on havaittu jätevedenpuhdistamoiden poistovesi sekä maisemoinnissa ja maatalouden lannoitteena käytetty jätevesiliete (Setälä ym. 2017). Mikromuovien poistaminen meristä on haastavaa, sillä ne ovat pieniä ja levittäytyvät nopeasti laajalle alueelle. Erilaisten ominaisuuksiensa vuoksi mikromuoveja voidaan löytää veden pinnasta aina pohjaan asti (Sun ym. 2019, 33). Tämän vuoksi tehokkaampi tapa pitää vesistöjen mikromuovipitoisuudet minimissään on välttää mikromuovien pääsyä meriin. Tällä hetkellä Suomessa ei ole lakia, joka säätelisi jätevedenpuhdistamoiden mikromuovipäästöjä. Jätevedenpuhdistamolla ei myöskään ole erityisiä prosesseja mikromuovien poistoon, vaan mikromuovien poistumista tapahtuu monien eri puhdistusprosessien aikana.

Tarkkaa tietoa mikromuovien vaikutuksista ihmisille ja ympäristölle ei vielä ole, mutta haitallisia vaikutuksia on havaittu. Mikromuovit voivat pienen kokonsa vuoksi aiheuttaa suolitukoksia kaloilla, ja muovien sisältämät haitalliset kemikaalit voivat imeytyä eliöihin ruoansulatuksen aikana. Mikromuovien vaikutukset eivät rajoitu pelkästään vesieliöihin, sillä niitä on myös löydetty jo ihmisten ruoasta sekä ulosteesta. (Euroopan parlamentti 2018.) Koska mikromuoveja ei toistaiseksi kyetä poistamaan meristä tehokkaasti, voidaan olettaa, että merten mikromuovipitoisuudet ovat jatkuvassa kasvussa. Merissä olevien muovien jatkuva lisääntyminen ja toistaiseksi vajavainen tieto niiden terveysvaikutuksista voi koitua tulevaisuudessa suureksikin ongelmaksi.

Tässä työssä on kerätty kirjallisuudesta tietoa mikromuovien poistumisesta jätevedestä sen puhdistusprosessin aikana. Tavoitteena on selvittää, missä jätevedenpuhdistuksen prosesseissa jätevedestä poistuu mikromuoveja, ja kuinka paljon mikromuoveja poistuu eri prosesseissa. Työssä selvitetään myös, minne mikromuovit jätevedestä poistuttuaan päätyvät, ja mitä mahdollisia vaikutuksia niillä on ympäristöön. Tämä työ on rajattu koskemaan erityisesti jätevedenpuhdistamoiden kykyä poistaa mikromuoveja jätevedestä.

## 2 MIKROMUOVIT

Muovia tuotetaan maailmanlaajuisesti yli 300 miljoonaa tonnia vuodessa. Tästä määrästä arviolta 8 miljoonaa tonnia päätyy vesistöihin. Noin puolet tuotetusta muovista on valmistettu kertakäyttötuotteeksi. (European Commission 2017.) Muovilaadusta riippuen mikromuovit voivat joko kellua meren pinnalla, tai vajota pohjaan (Boucher ja Friot 2017). Keveytensä ansiosta mikromuovit voivat kulkea veden tai tuulenpuuskien viemänä pitkiäkin matkoja, ja pienen kokonsa vuoksi niitä on vaikea havaita paljaalla silmällä.

Yleisimpiä jätevedessä havaittuja muovituotteita, eli synteettisiä polymeerejä ovat polyesteri (PES), polyeteeni (PE), polyetyleenitereftalaatti (PET) sekä polyamidi eli nailon. Suurin osa jäteveden polymeereistä on kuituja. Polyesteristä valmistettuja kuituja käytetään vaateteollisuudessa synteettisten vaatteiden valmistuksessa. (Sun ym. 2019, 28.) Polyeteeni on yleisimmin käytetty muovin raaka-aine, ja siitä valmistetaan muun muassa muovipusseja. Polyetyleenitereftalaatti eli PET on kestävä muovilaatu, jota käytetään pääasiassa pakkausteollisuudessa esimerkiksi muovipullojen valmistuksessa. Nailonista valmistetaan muun muassa vaatteita ja köysiä. (Muoviteollisuus ry 2020.)

### 2.1 Mikromuovien määritelmä ja luokittelu

Mikromuovit (Kuva 1) ovat pieniä, 1 µm- 5 mm kokoisia muovihiukkasia ja niitä syntyy muovituotteiden hajoamisen seurauksena sekä teollisesti tarkoituksella tuotettuina (Setälä ym. 2017). Mikromuoveja pienempiä, alle 1µm kokoisia muovihiukkasia kutsutaan nanomuoveiksi, ja mikromuovia suurempia, 5–50 mm muoveja, mesomuoveiksi (Nerland ym. 2014, 16).

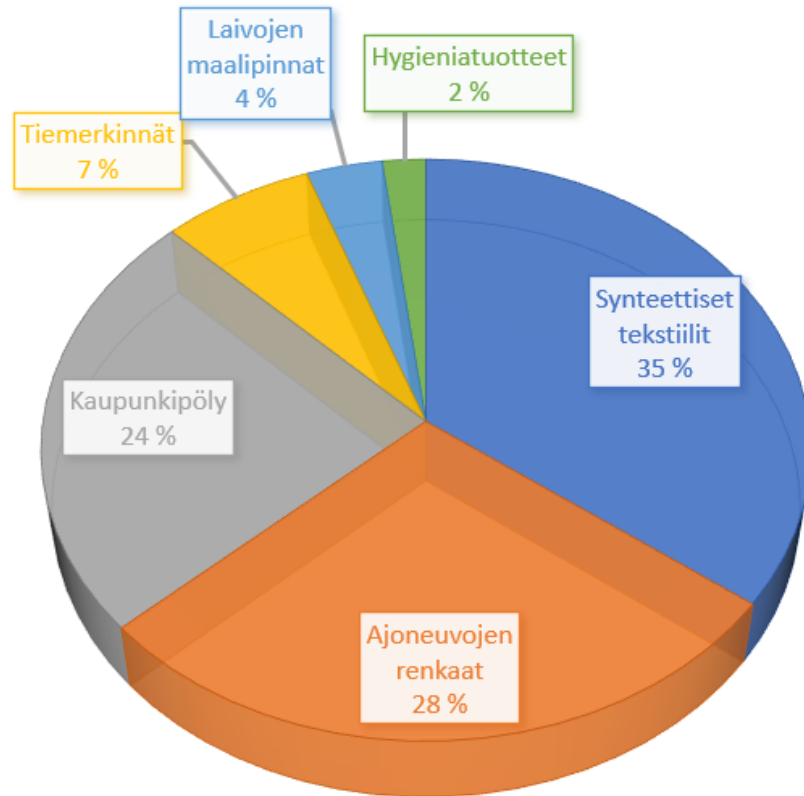


Kuva 1. Mikromuovit ovat pieniä muovikappaleita. (Oregon State University 2012.)

Mikromuovit voidaan luokitella niiden syntyperän mukaan primäärisiin ja sekundäärisiin mikromuoveihin. Primääriset mikromuovit ovat tarkoituksella tuotettuja pieniä muovihiukkasia, ja niiden käyttötarkoitukset vaihtelevat teollisuuden muovintuotannosta kosmetiikkaan. Sekundääriset mikromuovit syntyvät suurempien muoviesineiden hajoamisesta pieniin osiin esimerkiksi kulumisen seurauksena. Suurin osa vesistöjen mikromuoveista on sekundäärisiä mikromuoveja. (Kohvakka ja Lehtinen 2019.)

## 2.2 Mikromuovien lähteet

Mikromuovien merkittävimmät lähteet ovat synteettisten tekstiilien pesu, ajoneuvojen renkaiden kulumisen sekä katupöly (Kuva 2). Meriin päätyvät mikromuovit ovat pääosin peräisin maalta. (Boucher ja Friot 2017, 9.) Mikromuovien siirtyminen maalta mereen voi tapahtua esimerkiksi jokia pitkin, myrskyjen seurauksena tai jätevedenpuhdistuksen poistoveden mukana (Talvitie 2018, 13). Helsingin Viikinmäen vedenpuhdistamolla tehdyistä tutkimuksista selvisi, että 1 % jätevedessä olleesta mikromuovista päätyy vesistöön (Setälä ym. 2017). Talvitien (2018, 38) arvion mukaan Suomen jätevedenpuhdistamoiden poistoveden mukana vesistöön päätyy noin 480 miljardia mikromuovihiukkasta vuodessa.



Kuva 2. Merkittävimmät mikromuovien lähteet. (Boucher ja Friot 2017, 9)

Merten mikromuoveista arviolta 69–81 % on sekundäärisiä mikromuoveja eli suurempien muoviesineiden hajoamisesta syntyneitä muovihiukkasia (Euroopan parlamentti 2018). Muoviesineet, kuten muovipussit ja kalaverkot, hajoavat pieniin osiin kulumisen, UV-säteilyn tai lämmön seurauksena, jolloin pieniä muovihiukkasia vapautuu vesistöön (Kohvakka ja Lehtinen 2019).

Primääriset mikromuovit ovat tarkoituksella tuotettuja pieniä muovihiukkasia ja -kuituja. Mikromuoveja käytetään pesuaineissa, maaleissa sekä hygieniatuotteissa, kuten kuorintavoiteissa. (Kohvakka ja Lehtinen 2019.) Primäärisiin mikromuoveihin luokitellaan myös teollisuudessa käytetyt muovipelletit. Merten mikromuoveista arviolta 15–31 % on primäärisiä mikromuoveja (Euroopan parlamentti 2018).



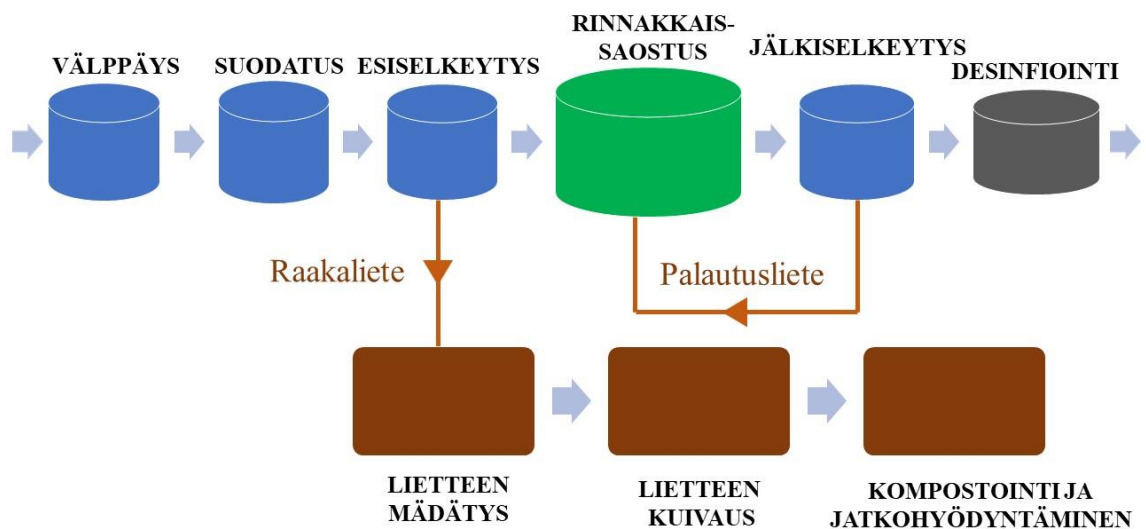
### 2.3 Mikromuovien haitat

Pienen kokonsa vuoksi merissä oleva mikromuovi voi päätyä eläinten ruoaksi ja siirtyä eteenpäin ravintoketjussa. Muovi ei sula ruoansulatuksessa ja voi aiheuttaa suolitukoksia tai muita komplikaatioita (Näkki 2018). Mikromuovien sisältämät kemikaalit voivat vapautua kehoon tai ympäristöön ja olla täten haitaksi eliöille (Euroopan parlamentti 2018). Mikromuovien sisältämät kemikaalit voivat olla joko muovin valmistuksessa käytettyjä kemikaaleja tai myöhemmin muoviin ympäristöstä imeytyneitä kemikaaleja. (Campanale ym. 2020). Muoviin lisätään valmistusprosessissa kemikaaleja, joilla esimerkiksi muutetaan muovin ulkonäköä ja ominaisuuksia muoviesineen käyttötarkoituksen mukaan (Näkki 2018). Mikromuovin tarkkoja haittavaikutuksia ei vielä tiedetä. Mikromuoveja on havaittu jo joissakin ruoka-aineissa sekä ihmisen ulosteessa. (Euroopan parlamentti 2018.) Lietteeseen jätevedenpuhdistusprosessissa päätyneet mikromuovi rajoittaa jätevedenpuhdistamojen lietteen käyttöä, sillä mikromuovien pääsyä ympäristöön on vältettävä. (Setälä ym. 2017.)

### 3 JÄTEVEDENPUHDISTUKSEN PROSESSIT

Jätevedenpuhdistus sisältää sarjan prosesseja (Kuva 3), joiden avulla jätevedestä tehdään puhdasta ja juomakelpoista vettä. Veden puhdistuksessa hyödynnetään mekaanisia, kemiallisia sekä biologisia menetelmiä. Jätevedenpuhdistus on tärkeää ihmisten terveyden, sekä ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Jäteveden puhdistus alkaa veden mekaanisella puhdistuksella, missä vedestä poistetaan suuret epäpuhtaudet ja roskat. Mekaanisia puhdistusmenetelmiä ovat välppäys, hiekanerotus ja selkeytys. (Karttunen 2004, 17.) Selkeytyksen jälkeen vesi siirtyy esimerkiksi rinnakkaissaostukseen, jossa yhdistyy veden kemiallinen ja biologinen puhdistus. Kemiallinen ja biologinen puhdistus voivat olla myös erillisinä yksikköprosesseina, mutta Suomessa yleisimmin käytetty menetelmä on rinnakkaissaostus. (Karttunen, 2004 543.)

Kemiallis-biologisen puhdistuksen jälkeen vesi selkeytetään uudelleen ja desinfioidaan. Desinfiointilla vedestä poistetaan bakteereja, loisia sekä viruksia. Desinfiointi tekee vedestä turvallista ja estää tautien kulkeutumisen veden kautta ihmiseen. (Karttunen 2004, 152). Desinfiointi voi tapahtua kemiallisesti tai mekaanisesti hyödyntämällä UV-valoa tai lämpöä (Karttunen 2004, 154). Puhdistusprosessissa syntyy lietettä, joka kuivataan ja jatkohyödynnetään. Jätevesilietteestä voidaan myös tuottaa biokaasua.



Kuva 3. Esimerkki jätevedenpuhdistamon prosesseista. (HSY, 2018)

### 3.1 Välppäys ja siivilöinti

Välppäyksessä vedestä poistetaan suurikokoista kiintoainesta, kuten vaippoja tai muuta roskaa. Välppäyksen tarkoituksena on valmistella vesi seuraavia prosesseja varten. Välppän sisällä on yhdensuuntaisia välppäsauvoja, joiden väleihin kiintoaines jää, kun vesi johdetaan välppän läpi. Välppään jäävän aineksen koko riippuu välppäsauvojen välisistä etäisyyksistä. Jätevedenpuhdistuksessa voidaan käyttää myös repijävälppää, joka repii jäteveden mukana tulevan kiintoaineksen pienemmiksi paloiksi, jolloin kiintoaines virtaa veden mukana eteenpäin. Repijävälppä ei kerää kiintoainesta, minkä vuoksi revitty kiintoaines päätyy myöhempien prosessien kautta lietteeseen. Repijävälppäyksen huono puoli on se, että lietteeseen päätyy suurempi määrä muovia ja muuta hajoamatonta ainesta. (Karttunen 2004, 53–56.)

Siivilöinnillä jätevedestä poistetaan pienempiä epäpuhtauksia kuin välppäyksellä. Siivilöinnissä jätevesi johdetaan verkon läpi paineen tai painovoiman avulla. Siivilään jäävien epäpuhtauksien koko riippuu verkon silmäkoosta. (Karttunen 2004, 56.)

### 3.2 Selkeytys (Karttunen 2004, 77)

Selkeytyksessä vedestä poistetaan kiintoainesta sekä muita epäpuhtaushiukkasia. Selkeytys voi tapahtua painovoiman tai keskipakoisvoiman avulla. Vedestä poistettava kiintoaines voi olla esimerkiksi hiekkaa tai muuta pienikokoista kiintoainesta. Yleisin selkeytyksen keino on laskeutus, jossa vettä painavimmat hiukkaset laskeutuvat altaan pohjalle, mistä ne voidaan poistaa. Laskeutus on keskeinen osa jäteveden puhdistusprosessia, ja sitä käytetään esimerkiksi hiekanerotuksessa, saostuksessa syntyneiden flokkien poistossa sekä lietteen tiivistämisessä. Lietteestä käsitellessä voidaan käyttää myös sentrifugeja tai muita painoa hyödyntäviä laitteita. Sentrifugia käytetään tavallisesti veden poistamiseen lietteestä eli lietteen tiivistämiseen.

Selkeytys voi tapahtua myös flotaationa, jossa hiukkaset nostetaan pintaan ilmakuplien avulla, minkä jälkeen vettä kevyemmät hiukkaset saadaan kerättyä pois veden pinnalta. Flotaatio tapahtuu myös silloin, kun vedessä on sitä kevyempää ainesta ja aines nousee pintaan itsestään. Esimerkiksi veden sisältämä öljy voidaan poistaa flotaation avulla.

### **3.3 Ilmastus**

Ilmastuksella säädellään veteen liuenneiden kaasujen määrää. Veteen voidaan ilmastuksella lisätä kaasuja, kuten aktiivilieteprosessissa toimivien bakteerien tarvitsemaa happea (Karttunen 2004 69). Happea syötetään veteen altaan pohjalta. Kuplien noustessa pintaan veteen liukenee happea (Turun seudun puhdistamo Oy 2020).

### **3.4 Kemiallinen saostus**

Kemiallisella saostuksella veden laatua parannetaan poistamalla siitä epätoivottuja aineita. Veteen lisätään kemikaalia, joka muodostaa huonosti liukenevan sakan poistettavan aineen kanssa. Sakka voidaan erottaa vedestä selkeyttämällä tai suodattamalla. Jätevedestä yleisin pois saostettava aine on fosfori. (Karttunen 2004, 140). Kemiallinen saostus voidaan tehdä eri vaiheissa puhdistusprosessia, mutta Suomessa yleisimmin käytetty menetelmä on rinnakkaissaostus, jossa saostus tapahtuu aktiivilieteprosessin sekä ilmastuksen yhteydessä. (Karttunen 2004, 543.)

### **3.5 Aktiivilieteprosessi**

Aktiivilieteprosessissa jätevedestä poistetaan orgaanisia sekä epäorgaanisia aineita aktiivilietteen avulla. Aktiivilietteessä olevat bakteerit hyödyntävät jäteveden epäpuhtauksia kasvuunsa. Bakteerien aineenvaihdunnassa syntyvä liete on vettä tiheämpää, jolloin se voidaan erottaa vedestä laskeuttamalla (Karttunen 2004, 165;169). Biologisessa puhdistusprosessissa veden sekoitus on tärkeää, jotta bakteerit pääsevät kosketuksiin toistensa kanssa. Kun biologinen puhdistus toimii ilmastuksen yhteydessä, erillistä sekoitusta ei tarvita. (Karttunen 2004, 58.)

### **3.6 Lietteen käsittely**

Puhdistusprosessissa syntyvä liete voidaan puhdistaa joko fysikaalisesti, kemiallisesti tai biologisesti. Fysikaalisia puhdistusmenetelmiä ovat kuumentaminen ja polttaminen, vaikkakin polttaminen ei ole Suomessa yleistä. Kemiallisessa puhdistuksessa lietteeseen voidaan lisätä esimerkiksi lietettä stabiloivaa kalkkia tai jotain muuta kemikaalia.

Biologisia käsittelymenetelmiä ovat mädätys sekä kompostointi. Lietteiden yleisin käsittelytapa on mädätys ja kompostointi yhdessä. (Konola ja Toivikko 2019, 2, 9.)

Esimerkiksi Viikinmäen vedenpuhdistamolla syntynyt liete johdetaan ensin mädätykseen, minkä jälkeen liete kuivataan linkoamalla. Kuivauksen jälkeen liete kompostoidaan ja toimitetaan jatkokäyttöön. (HSY 2018.) Suurin osa käsitellystä puhdistamolietteestä käytetään viherrakentamiseen ja pieni osa viljelyyn maataloudessa (Setälä ym. 2017).

## 4 MIKROMUOVIEIN POISTO JÄTEVESISTÄ

Jäteveden puhdistuksessa ei ole erityisesti mikromuovien poistoon luotuja prosesseja, vaan mikromuovien poistumista tapahtuu useiden eri prosessien aikana. Prosessit, joissa mikromuovien poistumista tapahtuu, voidaan eritellä preliminäärisiin, primäärisiin, sekundäärisiin sekä tertiäärisiin poistomenetelmiin. Preliminäärisiä ja primäärisiä poistomenetelmiä ovat välppäys, hiekanerotus sekä esiselkeytys. Sekundäärisiin poistomenetelmiin kuuluvat aktiivilieteprosessi sekä jälkiselkeytys. (Iyare ym. 2020.) Tertiäärisiin puhdistusmenetelmiin kuuluu erilaisia suodatusmenetelmiä, joiden avulla tehostetaan epäorgaanisten aineiden poistoa (Talvitie ym. 2017, 4). Vain osassa jätevedenpuhdistamoista käytetään tertiäärisiä poistomenetelmiä.

### 4.1 Välppäys ja siivilöinti

Välppäys ja siivilöinti poistavat jätevedestä suurempia, 100 µm–5 mm kokoisia mikromuoveja (Talvitie 2018, 33). Poistuvien muovihiukkasten koko riippuu käytettävien välppien välppäsauvojen etäisyyksistä sekä siivilän silmäkoon suuruudesta. Välppäys ja siivilöinti kuuluvat preliminäärisiin poistomenetelmiin, ja niiden aikana arviolta 35 % - 59 % jäteveden sisältämästä mikromuovista poistuu jätevesilietteeseen (Sun ym. 2019).

### 4.2 Esiselkeytys

Esiselkeytyksen vaihtoehtoina ovat joko laskeutus tai flotaatio. Esilaskeutuksessa mikromuovihiukkaset laskeutuvat laskeutusaltaan pohjalle, mistä ne saadaan poistettua. Laskeutuksessa ei voida tehokkaasti poistaa kevyitä ja kelluvia muovihiukkasia, sillä ne eivät laskeudu altaan pohjalle vaaditussa ajassa. Esilaskeutukseen tulleen jäteveden sisältämistä mikromuoveista arviolta 50–98 % saadaan poistettua prosessissa. (Sun ym. 2019, 32–33.)

Flotaatiossa altaan pohjalta päästetään veteen pienikokoisia ilmakuplia ja vedessä olevat mikromuovihiukkaset nousevat niiden mukana veden pinnalle (Talvitie ym. 2017, 404). Vettä kevyemmät muovihiukkaset saadaan myös poistettua flotaatiolla, sillä ne nousevat

itsestään veden pinnalle. Veden pinnalle noussut aines voidaan poistaa esimerkiksi kaapimalla. Flotaatio kykenee poistamaan noin 95 % yksikköprosessiin tulleen veden sisältämistä mikromuoveista (Talvitie 2018, 36).

### **4.3 Aktiivilieteprosessi**

Aktiivilieteprosessissa bakteerit hyödyntävät veden sisältämiä epäpuhtauksia kasvuunsa ja muodostavat flokkeja (Karttunen 2004, 165). Mikromuovit voivat tarttua kiinni flokkeihin, ja pienimmät muovihiukkaset voivat tulla mikro-organismien syömiksi (Iyare ym. 2020). Aktiivilieteprosessissa hiukkasten koko kasvaa, ja ne laskeutuvat helpommin jälkilaskeutuksessa. Jotkut kemikaalit, kuten rautasulfaatti, edistävät flokkien syntymistä ja täten myös mikromuovien poistumista jätevedestä jälkilaskeutuksen aikana. (Sun ym. 2019.) Aktiivilieteprosessissa mikromuovien määrä voi vähentyä jopa noin 88 %, esiselkeytyksestä tulleen veden mikromuovipitoisuuteen nähden. (Talvitie 2018, 31).

### **4.4 Lietteen käsittely**

Suurin osa jätevedenpuhdistamolle saapuvista mikromuoveista päätyy jätevesilietteeseen (Sun ym. 2019). Suomessa jätevesilietettä syntyy noin 150 000 tonnia kuiva-ainetta vuodessa, joista suurin osa käytetään viherrakentamisessa sekä maataloudessa (Vilpanen ja Toivikko 2017). Lietteen käyttö saattaa olla merkittävä tekijä mikromuovien pääsyssä ympäristöön. Mikromuoveja voi poistua lietteen mädätyksen aikana biologisen hajoamisen seurauksena (Talvitie 2018, 32). Suurin osa muovituotteista on kuitenkin öljypohjaisia eivätkä ne hajoa biologisesti (Suomen Pakkausyhdistys ry 2019). Mikromuovin määrää lietteessä voidaan vähentää myös esimerkiksi polttamalla lietettä, jolloin siinä olevat muovihiukkaset palavat (Sun ym. 2019).

### **4.5 Tertiäriset poistomenetelmät**

Tertiäriset poistomenetelmät tehostavat epäorgaanisen aineen poistoa jätevedestä. Tertiärisiä poistomenetelmiä ovat esimerkiksi membraanisuodatus, hiekkasuodatus, levysuodatus sekä flotaatio. (Talvitie ym. 2017, 404.) Myös esimerkiksi kosteikkoja on käytetty jätevedenpuhdistukseen (Kadlec ja Wallage 2009, 5).

Tehokkain tertiäärisistä suodatusmenetelmistä on membraanisuodataus, jossa suodattimena toimii membraanikalvo, jossa on pieniä virtausaukkoja (Sun ym. 2019, 35). Membraanisuodatauksen on tutkittu poistavan jopa 99,9 % mikromuoveista vedestä, joka on käynyt läpi primäärisen puhdistuksen (Talvitie 2018, 36). Ongelmana puhdistusmenetelmässä on membraanikalvon pinnalle muodostuva lietekakku, joka kasvaessaan tukkii virtausaukot. Toimivuuden ylläpitämiseksi kalvo täytyy puhdistaa tai vaihtaa usein. (Chang ja Kim 2005).

Hiekkasuodatuksessa puhdistettava vesi johdetaan painovoiman avulla hiekkakerroksen läpi. Veden sisältämät mikromuovit jäävät hiekanjyvien väliin tai tarttuvat niiden pinnoille. Suodattimen tukkeutuessa käynnistyy vastahuuhdeltu, joka puhdistaa suodattimen. (Talvitie ym. 2017.) Hiekkasuodatuksella sekundäärinen puhdistusprosessin läpikäyneen veden mikromuoveista voidaan poistaa jopa 97 % (Talvitie 2018, 36). Levysuodatauksessa laitteen keskirumpuun johdettu vesi valuu painovoimaa hyödyntäen rummun ympärille sijoitettujen suodattimien läpi. Suodattimien tukkeutuessa veden pinta keskirummussa nousee, mikä laukaisee puhdistusjärjestelmän. Suodattimet puhdistetaan vesisuihkuilla ja suodattimiin jäänyt liete kerätään. (IN-EKO TEAM 2016.) Levysuodataus kykenee poistamaan 40–98,5 % sekundäärinen puhdistuksen läpikäyneen veden sisältämistä mikromuoveista (Talvitie 2018, 36).

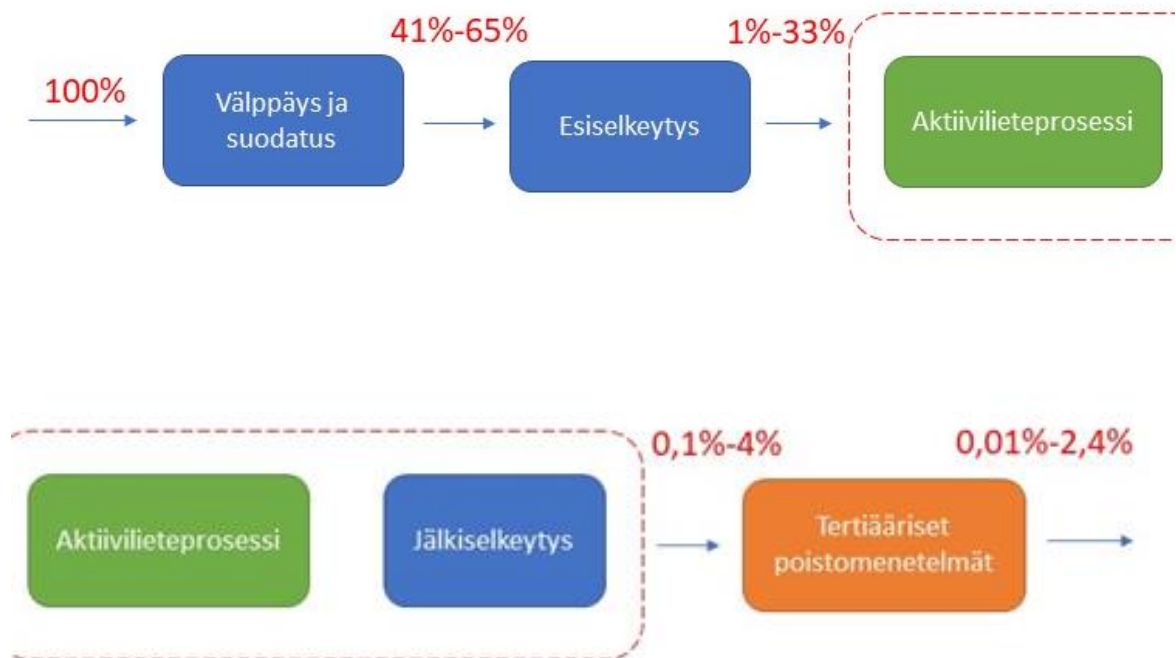
Tertiäärinen puhdistusmenetelmänä voidaan käyttää myös kosteikkoa. Jätevedenpuhdistuksessa käytettävät kosteikot ovat tyypillisesti ihmisen rakentamia, ja ne voivat puhdistaa vettä muun muassa ilmastuksen, laskeutuksen, sekä biologisen puhdistuksen menetelmiä hyödyntäen. (Kadlec ja Wallace 2009, 5.) Kosteikot tertiäärinen poistomenetelmänä kykenevät poistamaan keskimäärin 90–100 % prosessiin tulleista mikromuoveista (Coalition clean Baltic 2017).

#### **4.6 Yhteenveto eri prosessien vaikutuksesta mikromuovien poistumiseen jätevedestä**

Suurin osa, jopa 99 % jätevedenpuhdistamon tuloveden mikromuoveista saadaan poistettua jäteveden puhdistusprosesseissa (Setälä ym. 2017). Valtaosa jäteveden sisältämistä mikromuoveista poistuu aktiivilieteprosessia edeltävissä fysikaalisissa puhdistusprosesseissa, joihin kuuluvat esimerkiksi välppäys, suodatus sekä esiselkeytys



(Kuva 4). Mikromuovien poistumista tapahtuu myös aktiivilieteprosessissa ja jälkiselkeytyksessä, sekä joidenkin tertiääristen poistomenetelmien aikana. (Iyare ym. 2020.) Jätevedeen lisättävillä kemikaaleilla, kuten rautasulfaatilla, voidaan lisätä flokkien muodostumista aktiivilieteprosessissa, ja täten myös mikromuovien poistumista (Sun ym. 2019, 33). Puhdistuksen loppuvaiheessa tehtävällä desinfioinnilla ei ole vaikutusta mikromuovien määrään jätevedessä. Eniten mikromuoveja poistavat prosessit ovat välppäys ja suodatus, joiden jälkeen veden mikromuovipitoisuus on 41–65 % tuloveden mikromuovipitoisuudesta. Esiselkeytyksen jälkeen jäteveden mikromuovipitoisuus on 1–33 % tuloveden mikromuovipitoisuudesta ja jälkiselkeytyksen jälkeen 0,1–4 %.



Kuva 4. Esimerkki jäteveden mikromuovien prosentuaalisista jäljellä olevista osuuksista jäteveden puhdistusprosessin eri vaiheiden jälkeen. (Laskettu Sun ym. 2019; Talvitie 2018, 36 aineistojen perusteella.)

Tertiäärisistä poistomenetelmistä tehokkaimmaksi havaittu on membraanisuodatus, joka voi poistaa jopa 99,9 % prosessiin tulleen jäteveden sisältämistä mikromuoveista (Talvitie 2018, 36). Membraanisuodatuksen suurimpana haasteena on suodattimen tukkeutuminen (Chang ja Kim 2005). Muita tertiäärisiä poistomenetelmiä on muun muassa levysuodatus, jolla voidaan poistaa 40–98,5 % prosessiin tulleen veden mikromuoveista, sekä hiekkasuodatus, jolla kyseinen luku on 97 %. (Talvitie 2018, 36.) Mikäli käytössä on tertiäärinen poistomenetelmä, joka vaikuttaa mikromuovien

poistumiseen, veden mikromuovipitoisuus kyseisen prosessin jälkeen on 0,01–2,4 % tuloveden mikromuovipitoisuudesta (Kuva 4).

## 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mikromuovit ovat alle 5 mm kokoisia muovihiukkasia. Niiden merkittävimpiä lähteitä ovat synteettisten tekstiilien pesu, ajoneuvojen renkaiden kuluminen sekä kaupunkipöly. Mikromuovit ovat haitallisia ympäristölle, minkä vuoksi niiden päätymistä vesistöihin pyritään vähentämään muun muassa jätevedenpuhdistamoilla. Jätevedenpuhdistuksessa käytetään fysikaalisia, kemiallisia sekä biologisia puhdistusmenetelmiä.

Jätevedenpuhdistamon tuloveden sisältämistä mikromuoveista jopa 99 % voi poistua puhdistusprosessissa. Suurin osa mikromuoveista poistuu usein puhdistusprosessin alussa tehtävässä fysikaalisessa puhdistuksessa, johon voi sisältyä esimerkiksi välppäys, suodatus sekä esiselkeytys. Mikromuoveja poistuu jätevedestä myös aktiivilieteprosessissa sekä jälkiselkeytyksessä ja poistumista voidaan tehostaa lisäämällä veteen flokkien syntymistä edistävää kemikaalia, esimerkiksi rautasulfaattia. Osa jätevedenpuhdistamoista käyttää tertiärisiä puhdistusmenetelmiä puhdistustulosten parantamiseksi. Mikromuoveja jätevedestä poistavia tertiärisiä puhdistusmenetelmiä ovat muun muassa membraani-, hiekka- ja levysuodatus sekä kosteikot. Näistä puhdistusmenetelmistä tehokkain mikromuovien poistoon on membraanisuo-datus.

Jätevedestä poistetut mikromuovit päätyvät jätevesilietteeseen. Liete käsitellään usein mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä, minkä jälkeen sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi viherrakennuksessa ja lannoitteena maataloudessa. Jätevesilietteen sisältämien mikromuovien määrää voidaan vähentää lietteen poltolla, mutta se ei ole yleistä Suomessa.

## 6 LÄHDELUETTELO

Boucher, J; Friot, D. 2017. Primary Microplastics in the Oceans: a Global Evaluation of Sources. IUCN, 43 s

Campanale, C; Massarelli, C; Savino, I; Locaputo, V; Uricchio, V. 2020. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17, 1212

Chang, I; Kim, S. 2005. Wastewater treatment using membrane filtration-effect of biosolids concentration on cake resistance, Process Biochemistry 40, s. 1307-1314

Coalition Clean Baltic 2017. Concrete ways to reduce microplastics in stormwater and wastewater. Saatavissa: <https://ccb.se/publications/guidance-on-concrete-ways-to-reduce-microplastics-in-stormwater-and-sewage/> [viitattu 10.1.2021].

Euroopan parlamentti 2018. Mikromuovit: lähteet, haitat ja EU:n ratkaisut. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20181116STO19217/mikromuovit-lahteet-haitat-ja-eu-n-ratkaisut> [viitattu 10.1.2021]

European Commission 2017. MICROPLASTICS Focus on Food and Health, Factsheet. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/brochures-leaflets/microplastics-focus-food-and-health> [viitattu 10.1.2021]

HSY 2018. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo, esite. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/nain-vesihuolto-toimii/> [viitattu 10.1.2021]

IN-EKO TEAM 2016. Disc filter. Saatavissa: <https://www.disc-filter.com/>. [viitattu 19.12.2020.]

Iyare, P; Ouki, S; Bond, T. 2020. Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review, Environmental Science: Water Research & Technology, 6, s. 2664-2675

Kadlec, R; Wallace, S. 2009. Treatment wetlands, second edition. Taylor & Francis Group. 1046 s.

Karttunen, E. 2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 684 s.

Kohvakka, J; Lehtinen, L. 2019. Hyvä, paha muovi. Helsinki: Minerva Kustannus Oy. 182 s

Konola, I; Toivikko, S. 2019. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 57. Helsinki

Muoviteollisuus ry. 2020. Muovisanastoa. Saatavissa: <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/> [viitattu 7.1.2020].

Nerland, I; Halsband, C; Allan, I; Thomas, K. 2014. Microplastics in marine environments: Occurrence distribution and effects. NIVA. Report No. 6754–2014

Näkki, P. 2018. Mikrometrien kokoluokasta maailmanluokan ongelmaksi – mitä merten mikromuovista tiedetään? Saatavissa: <http://www.naturelehti.fi/2018/05/18/mikrometrien-kokoluokasta-maailmanluokan-ongelmaksi-mita-merten-mikromuovista-tiedetaan/> [viitattu 8.1.2021]

Oregon State University, 2012, Microplastic. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/33247428@N08/21282786668>. [viitattu 21.12.2020]

Setälä, O; Fjäder, P; Hakala, O; Kautto, P; Lehtiniemi, M; Raitanen, E; Sillanpää, M; Talvitie J; Äystö, L. 2017. Mikromuovit riski ympäristölle. SYKE. Policy Brief

Sun, J; Dai, X; Wang, Q; van Loosdrecht, M; Ni, B. 2019. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. Water Research 152. s. 21-37.

Talvitie J. 2018. Wastewater treatment plants as pathways of microlitter to the aquatic environment. Aalto University publication series. Doctoral dissertations 86/2018. 106 s.

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O. 2017. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies, Water Research 123. s. 401-407

Turun seudun puhdistamo Oy 2020. Prosessikuvaus: Ilmastus. Saatavissa: <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/ilmastus> [viitattu 8.1.2021]

Vilpanen, M; Toivikko, S. 2017. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Helsinki