

# Muovijätteen kulkeutuminen meriin ja sen vaikutukset eliöstöön

Aija Rautiainen

790351A

LuK-tutkielma

Maantieteen tutkimusyksikkö

Oulun yliopisto

26.4.2018

# SISÄLLYS

JOHDANTO .....	3
KÄYTETYIMMÄT MUOVILAADUT .....	5
Polyeteeni (PE) .....	6
Polypropeeni (PP) .....	7
Polyvinyylidikloridi (PVC).....	7
Polystyreeni (PS) .....	7
Polyeteenitereftalaatti (PET).....	8
MUOVIJÄTTEET JA NIIDEN KULKEUTUMINEN MERIIN.....	9
Primaarinen mikromuovi .....	9
Sekundaarinen mikromuovi .....	9
Muovien kulkeutuminen meriin.....	10
RISKIT JA ENNALTAEHKÄISY .....	16
Muovijätteen vaikutukset eliöihin.....	16
Keinoja ennaltaehkäistä muovien pääsyä ympäristöön.....	20
POHDINTA .....	24
LÄHTEET .....	27

## JOHDANTO

Muovit ovat synteettisesti tuotettuja, orgaanisia polymeerejä, joiden massatuotanto on alkanut 1940-luvulla. Heti tuotannon alkaessa niiden valmistaminen on lähtenyt kasvamaan nopeasti (Cole ym. 2011). Tänä päivänä muovia tuotetaan globaalilla tasolla noin 322 miljoonaa tonnia vuodessa. Sen ennustetaan jopa kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä (Mikromuovit... 2017). Muovimateriaalit korvaavat yhä enemmän luonnonmateriaaleja ja siitä on tullut kasvavassa määrin arkielämämme välttämätön materiaali. Muovia suositaan monissa sovellutuksissa sen halvan tuotannon, kestävyiden, keveyden sekä muokattavuuden vuoksi. Valtamuoveja ovat polyeteeni (PE), polypropeeni, (PP), polyvinyylidikloridi (PVC), polystyreeni (PS) sekä polyeteenitereftalaatti (PET), joiden osuus on 90 % kaikesta maailman muovituotannosta. Noin puolet tuotannosta tehdään lyhytaikaisiin käyttökohteisiin, kuten pakkausmateriaaleiksi, mikä aiheuttaa suuren globaalisen jäteongelman (Waichin ym. 2016).

Muovijätteen kulkeutumisesta ja ongelmista merivesissä on ensimmäisen kerran raportoitu 1970-luvulla (Andrady 2011). Uutisotsikoissa nousi esille muun muassa kuvia muovijätteeseen sotkeutuneista merieläimistä. Ongelmaa ei kuitenkaan pidetty yhtä monimuotoisena ja globaalina kuin tänä päivänä. Muovijätteen kulkeutuminen meriin ja sen aiheuttamat ongelmat on nostettu yhdeksi aikamme pahimmista ympäristöongelmista. Muovijätteiden määrän kasvaminen ympäristössä sekä niiden päätyminen ravintoketjuihin on suuri huolen aihe, jota yritetään kartoittaa laajasti monitieteellisillä tutkimuksilla. Monien tutkijoiden mielestä synteettiset polymeerit pitäisi määrittää ympäristölle vaarallisiksi aineiksi samalla tavalla kuin monet ympäristömyrkyt. Meriin kulkeutuva muovijäte hajoaa yhä pienemmiksi kappaleiksi, minkä vuoksi ne voivat tulla syödyiksi, suodatetuksi tai hengitetyksi. Näitä mikroskooppisen pieniä muovikappaleita sanotaan mikromuoveiksi (Eriksen ym. 2014).

Mikromuovien vaikutuksia on tutkittu lukuisilla merissä elävillä selkärangattomilla ja kaloilla. Nisäkkäistä kokeita on tehty maalla elävillä jyrsijöillä, sillä vaikutusten oletetaan olevan samanlaisia sekä maa- että merieläimillä. Muovijätteiden ollessa monen kokoisia ne eivät ainoastaan aiheuta eliöissä mekaanista haittaa, vaan niiden kertyminen eliöihin voi aiheuttaa vakavia seurauksia, kuten soluvaurioita. On huomattu,

että muovit voivat toimia myös vektoreina muille ympäristön saasteille ja kemikaaleille (Waichin ym. 2016).

Työssäni tarkastelen maailman merialueilta. Rajasin työni koskemaan merivesiä, koska niitä on tutkittu huomattavasti enemmän. Isompien muovijätteiden eli makro-muovien esiintymistä etenkin meriympäristöissä on raportoitu laajasti 1990-luvulla. Ensimmäiset raportoinnit alkoivat kuitenkin jo muovintuotannon alkuaikoina (Waichin ym. 2016). 1970-luvulla julkaistiin ensimmäiset raportit pienten muovikappaleiden vaikutuksesta meriympäristöön. Sen jälkeen on alettu tutkia yhä pienempien muovipartikkeleiden vaikutuksia (Cole ym. 2011). Nanomuoveista tiedetään yhä hyvin vähän, joten keskityn työssäni tarkemmin makro- ja mikromuoveihin. Vertailtaessa vesiekosysteemiä maaekosysteemiin, ovat muovijätteiden vaikutukset enemmän kohdistuneet vesieliöihin. Tämä johtuu siitä, että muovijätteet kertyvät ja kulkeutuvat kaikkialle merivesiin, minkä vuoksi maalla elävät eivät altistu niille yhtä voimakkaasti kuin vesieliöt. Muovijätteen vaikutukset vesiympäristössä ovat moninaiset ja niitä on tärkeä kartoittaa ympäristön kestävä kehityksen kannalta. Työssäni lähdän ensin tarkastelemaan käytetyimpiä muovilaatuja ja niiden ominaisuuksia. Selvitän myös millä eri tavoilla muovijäte päätyy meriin ja mitä niille sen jälkeen tapahtuu. Työni tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten muovijätteet vaikuttavat merissä eläviin eliöihin?
2. Millä keinoin muovijätteen pääsy ympäristöön voidaan ennaltaehkäistä?

## KÄYTETYIMMÄT MUOVILAADUT

Muovimateriaalit ovat orgaanisia materiaaleja ja niistä suurin osa on tuotettu fossiilisista raaka-aineista, kuten maakaasusta, öljystä tai hiilestä. Muovia voidaan tuottaa myös biopohjaisista aineista, kuten maissista, mutta niiden tuotanto on vielä hyvin pientä verrattuna edellä mainittuihin. Muovit jaetaan kerta- ja kestopuoveihin ja ne eroavat toisistaan siten, että kestopuovia voi muovata lämmön avulla aina uudelleen, toisin kuin kertamuovia. Kun kertamuovia sulatetaan, se menettää kemiallisen rakenteensa päinvastoin kuin kestopuovi, jota voi muovata ja sulattaa useita kertoja (Muovifaktaa 2017). Muovit työstetään kemiallisessa reaktiossa, missä polymeeriketjut muodostavat ketjumaisia tai verkkomaisia rakenteita. Polymeerimolekyylit muodostuvat monomeerimolekyyleistä, joita voi olla rakenneyksikköinä yhden, kahden tai useammanlaisia meerejä. Kun polymeerissä on vain yhtä lähtöaine- eli monomeerilajia, siitä käytetään nimitystä homopolymeeri. Polymeeristä käytetään nimitystä kopolymeeri, jos ne sisältävät kahta tai useampaa laatua monomeerejä (Silvennoinen 2001: 9). Muovit sisältävät polymeerien lisäksi usein muitakin aineita, joita sanotaan täyteaineiksi. Niillä pyritään samaan muoviin erilaisia ominaisuuksia, kuten lujuutta ja lämmönkestävyyttä. Tyypillisimpiä täyteaineita kestopuoveille ovat lasi- ja hiilikuitu sekä erilaiset mineraalit, kuten talkki ja wollastoniitti (Silvennoinen 2001: 33).

Suurin osa muovijätteestä on kestopuovia. Arvion mukaan USA:n vuotuisesta hukkaan heitetystä kestopuovijätteestä noin 9,1 miljoonaa tonnia on polyeteeniä (PE), 2,6 miljoonaa tonnia polypropeenaa (PP), 2 miljoonaa tonnia polystyreeniä (PS) ja 1,7 miljoonaa tonnia polyeteenitereftalaattia (PET). Polyvinyylidikloridi (PVC) on yksi Euroopan käytetyimmistä muovilaaduista (Abdel-Bary ym. 2003: 357). Erilaiset muovilaadut on suunniteltu vastamaan lukuisia eri käyttötarpeita (taulukko 1). Muovijätteen lähderaaka-aineita on useita ja tässä kappaleessa käydään läpi valtamuovit ja niiden ominaisuudet, myös vesiympäristössä.

Taulukko 1. Käytetyimpien muovilaatujen suurimmat käyttökohteet (Silvennoinen 2001).

Muovilaatu	Suurimmat käyttökohteet
Polyeteeni (PE)	Kertakäyttöpakkaukset, muovipussit, astiat ja lelut
Polypropeeni (PP)	Pakkauskalvot, verkot ja köydet
Polyvinyylidikloridi (PVC)	Putket, letkut ja lattiamateriaalit
Polystyreeni (PS)	Kertakäyttöpakkaukset ja CD-levyt
Polyeteenitereftalaatti (PET)	Elintarvikepullot ja tekstiilien raaka-aine

### **Polyeteeni (PE)**

Käytetyin muovin polymeerinen raaka-aine Suomessa ja muualla maailmalla on polyeteeni, joka tuotetaan polymeroimalla eteeniä. Sitä käytetään muun muassa pakkausmuovina, kalvoina, kuituna, pinnoitteena sekä muovilelujen ja kotitalous-astioiden raaka-aineena (Silvennoinen 2001: 40). Polyeteeniä käytetään myös paljon kosmetiikka ja hygieniatuotteissa mikrokooppisen pieninä rakeina (Napper ym. 2015). Ominaisuuksiltaan polyeteeni on kevyt ja kemikaalinkestävä, mutta helposti palava sekä herkkä UV-säteilylle. Polyeteeni luokitellaan eri luokkiin sen tiheyden mukaan pienitiheyspolyeteeniin (LDPE), keskitiheyspolyeteeniin (MDPE) ja suuritiheyspolyeteeniin (HDPE) (Silvennoinen 2001: 40).

Vesiympäristössä kaikki polyeteenit kelluvat pinnan tuntumassa, koska ne eivät ole vettä tiheämpää (Waichin ym. 2016). Polyeteenillä on erityisen korkea molekyyli-paino sekä hydrofobinen vuorovaikutus verrattuna muihin synteettisiin polymeereihin. Normaalissa olomuodossaan polyeteeni ei ole biohajoava, minkä vuoksi ne vähitellen hajoavat ympäristössä pienemmiksi kappaleiksi, mutta pysyvät yhä samanlaisena polymeerinä. Polyeteenin ollessa yksi käytetyimmistä materiaaleista kertakäyttöpakkauksissa sen biohajoamattomuuteen on alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Polyeteenistä pystytään modifioimaan helpommin biohajoavaksi esimerkiksi molekyyli-painon ja mekaanisten ominaisuuksien avulla (Shah ym. 2008).

## **Polypropeeni (PP)**

Polypropeeni on käyttömahdollisuuksiltaan monipuolisin muovi, minkä vuoksi se onkin yksi käytetyimmistä valtamuoveista. Se on ominaisuuksiltaan hyvin samanlainen kuin polyeteeni, mutta sen lämmön ja kulutuksen kestävyys on parempi. Näitä kahta muovia käytetäänkin yleensä sekaisin ja sen lyhenne on PP-C. Polypropeenia käytetään suurimmaksi osaksi pakkauskalvoissa, köysissä, verkoissa ja tekstiilien kuiduissa. Sitä käytetään myös kosmetiikassa pieninä mikroskooppisen pieninä rakeina. Kuten polyeteeni, polypropeeni on tiheydeltään vettä kevyempää ja jää vesistöissä pinnalle kellumaan (Silvennoinen 2001; Phillips ym. 2015).

## **Polyvinylikloridi (PVC)**

Toisin kuin muihin kestumuoveihin, PVC:n peruspolymeeriin lisätään aina muita täyteaineita ennen sen käyttöönottoa. Sen ominaisuuksia, kuten kovuutta, läpinäkyvyyttä ja lämmönkestävyyttä pystytään laajasti säätelemään pehmittimien ja lisäaineiden avulla. Sen käyttökohteita ovat muun muassa putket, letkut, monet teipit, pinnoitteet, lattiamateriaalit, keinonahat sekä kaapelienvällykset (Silvennoinen 2001; Shah ym. 2008). Vesiympäristössä polyvinylikloridi kasautuu vesistöjen ja merten pohjan sedimentteihin, sillä se on vettä tiheämpää (Browne ym. 2007). Sen biohajoavuudesta ei ole tehty kattavaa tutkimusta, mutta sen matala molekyylipaino viittaa alttiuteen olla biohajoava esimerkiksi lahottajasienien aineenvaihdunnassa (Shah ym. 2008).

## **Polystyreeni (PS)**

Polystyreeni on ominaisuuksiltaan lasinkirkas, kova ja hauras muovi. Sitä käytetään muun muassa CD-levyjen pakkauskuorissa, kirkkaissa rasioissa ja kertakäyttöpakkausissa (Silvennoinen 2001: 46). Polystyreenillä on korkea tiheys, minkä vuoksi se vajoaa pohjaan vesiympäristössä (Anderson ym. 2016). Havaintojen perusteella ympäristöstä löytyy mikroskooppisen pientä polystyreeniä etenkin suistoalueiden ekosysteemeistä. USA:ssa ja Britanniassa tehdyissä tutkimuksissa on osoitettu, että noin 24% suistoalueiden makromuovista on polystyreeniä (Browne ym. 2008). Shahin ym.

(2008) mukaan polystyreenin biohajoavuudesta ei ole tehty kattavaa tutkimusta, mutta muutamia raportteja on tehty mikrobien kyvystä hajottaa sen monomeereistä styreeniä.

### **Polyeteenitereftalaatti (PET)**

Polyeteenitereftalaatti on iskun- ja lämmönkestävää muovia, jota voidaan työstää sekä joustavaksi kuiduksi että jäykäksi materiaaliksi. Sen vuoksi sitä käytetäänkin suurimmaksi osaksi elintarvikemuovipulloissa ja vaateteollisuuden raaka-aineena. Polyestereiden käytetyin polymeeri on polyeteenitereftalaatti, jota löytyy esimerkiksi fleece-kankaista. Kuitukankaista voi näin ollen irrota polyeteenitereftalaattia mikrokooppisen pieninä rakeina esimerkiksi pesun yhteydessä. Polyeteenitereftalaatti on vettä tiheämpää, minkä vuoksi se painuu pohjaan vesiympäristössä (Silvennoinen 2001; Waichin 2016).



## MUOVIJÄTTEET JA NIIDEN KULKEUTUMINEN MERIIN

Muovit jaetaan kokonsa mukaan makro, mikro ja nanomuoveihin. Muovikappaleiden kokoluokasta puhuttaessa niiden määritelmät vaihtelevat, sillä pienimpiä muovijätteitä on alettu tutkimaan vasta viime vuosina. Makromuoveista puhuttaessa tarkoitetaan kooltaan yleensä yli 25 mm isompaa kappaletta. Mikromuovilla taas tarkoitetaan noin 0,06 – 0,5 mm kokoista muovipartikkelia. Mikromuovit jaetaan myös niiden alkuperän perusteella primaarisiin ja sekundaarisiin mikromuoveihin (Cole ym. 2011). Andrady ym. (2011) ehdottavat lisäämään muovien kokoluokkaan myös termin ”mesomuovi”, jolla voitaisiin erottaa silminnähtävät muovikappaleet mikroskooppisen pienistä kappaleista. Nanomuovien tarkkaa kokoluokkaa ei ole määritelty, mutta ne ovat kooltaan nanometrien luokkaa, minkä vuoksi niitä voidaan havainnoida ainoastaan elektronimikroskoopin avulla (Andrady 2011).

### **Primaarinen mikromuovi**

Cole ym. (2011) määrittää primaarisiksi mikromuoveiksi muovit, jotka ovat tuotettu mikroskooppisen pieniksi. Suurin osa meriin päätyvistä primaarisista mikromuoveista on lähtöisin teollisuus- ja kotitaloustuotteista. Niitä ovat esimerkiksi kosmetiikkatuotteet, kuorintavoiteet ja erilaiset hankaavat puhdistusaineet. Mikromuovia käytetään myös lääketeollisuudessa vektorina eri lääkeaineille (Waichin ym. 2016). Mikromuovien käyttö kuorintavoiteissa ja kosmetiikkatuotteissa patentoitiin 1980-luvulla, minkä jälkeen niiden käyttö kasvoi nopeasti. Mikromuovia sisältävissä tuotteissa käytetään yleensä nimitystä ”mikrokuula” tai ”mikrorae”, mutta ne voidaan nimetä myös muovilaadusta käytetyllä lyhenteellä. Niissä käytetyt muovilaadut ja koot vaihtelevat, mutta yleisimmin käytettyjä ovat polyeteeni, polypropeeni ja polystyreeni. Ne ovat kooltaan yleensä noin 2 – 5 mm välillä (Napper ym. 2015).

### **Sekundaarinen mikromuovi**

Sekundaariset mikromuovit määritellään muovipartikkeleiksi, jotka ovat peräisin alun perin suuremmiksi tuotetuista muovituotteista ja jotka ovat hajonneet erilaisissa prosesseissa pienimmiksi kappaleiksi maa- tai meriympäristössä (Cole ym. 2011). Näitä

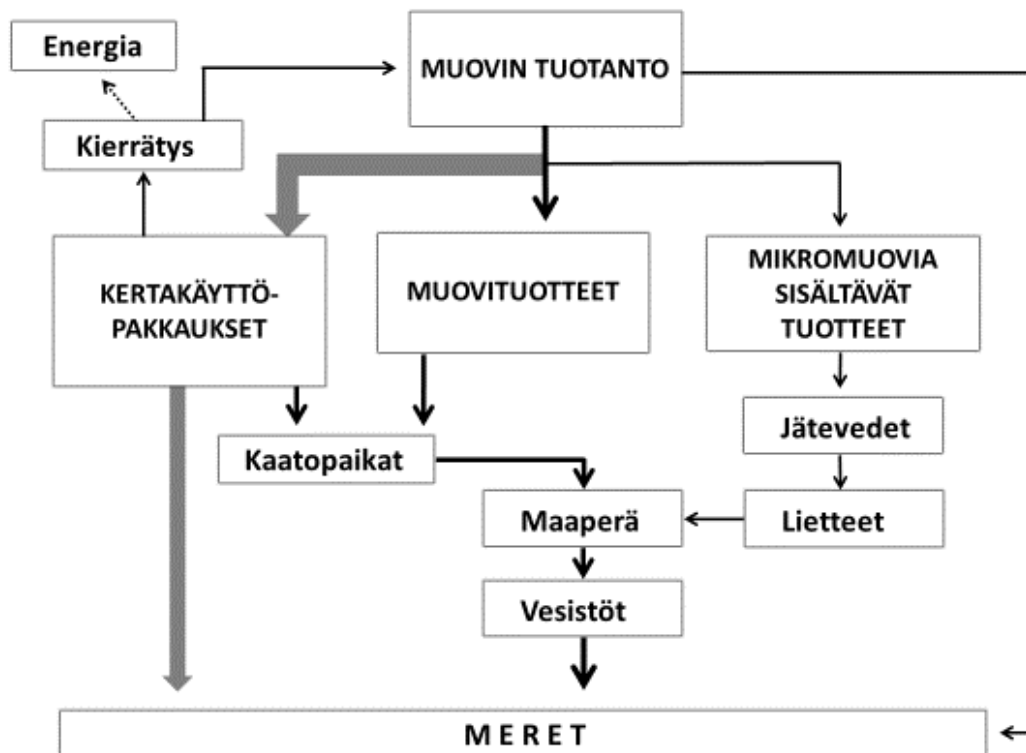
hajottavia prosesseja ovat fysikaaliset, kemialliset ja biologiset prosessit. Kuten aiemmin on käynyt ilmi, valtamuovien biohajoavuudesta ei tiedetä vielä kaikkea. Tiedetään kuitenkin, että ne ovat hyvin kestäviä, minkä vuoksi ne ajan kuluessa hajoavat vain yhä pienemmiksi kappaleiksi (Waichin ym. 2016). Shahin ym. (2008) mukaan useimpien synteettisten muovien hajoaminen on hyvin hidas prosessi, johon vaikuttaa monet ympäristökijät. Pääasialliset polymeerejä hajottavat kemialliset reaktiot ovat hydrolyysi ja hapettuminen. Merivesi voi kuitenkin osittain hidastaa hajoamisprosessia, koska kemiallisten reaktioiden nopeuteen vaikuttaa korkea lämpötila ja ilmankosteus (Ho ym. 1999). Sen vuoksi merialueilla muovipartikkelit hioutuvat ja haurastuvat nopeimmin rantojen tuntumassa, missä fysikaalinen ja kemiallinen rapautuminen on voimakkainta. Rannoilla lämpötila on korkeampi ja happipitoisuus suurempi verrattuna kylmiin avomeriin. Haurastuneita muovipartikkeleita rikkoo rannan tuntumassa mekaanisesti myös aallokko, hiekka, sora ja kivet. Onkin arvioitu, että mikromuoveja ja niiden lisäaineita huuhtoutuu meriin enimmäkseen rannoilta (Andrady 2011).

Muovien hapettumisreaktion meriympäristössä aiheuttaa auringon ultravioletti-säteily. Muovit haurastuvat pitkäaikaisen ultravioletti-säteilyn altistuksesta, sillä se aiheuttaa polymeerisidosten hapettumisen, minkä seurauksena kemialliset sidokset rikkoutuvat (Cole ym. 2011). Tämän vuoksi pitkäaikaisiin käyttökohteisiin, kuten esimerkiksi autonkorien muoviosiin lisätään täyteaineiksi UV-stabilaattoreita, jotka hidastavat tätä prosessia (Silvennoinen 2001: 14). Suurin osa muovijätteestä, joka päätyy mereen, on kuitenkin kertakäyttötarkoitukseen tuotettua muovia, minkä vuoksi niissä ei tätä ominaisuutta löydy. Tarkkaa aikaa muovien hajoamiselle meriympäristössä ei tiedetä, mutta muovikappaleen ominaisuuksista ja laadusta riippuen sen arvioidaan olevan kuukausista tuhansiin vuosiin (Barnes ym. 2009).

## **Muovien kulkeutuminen meriin**

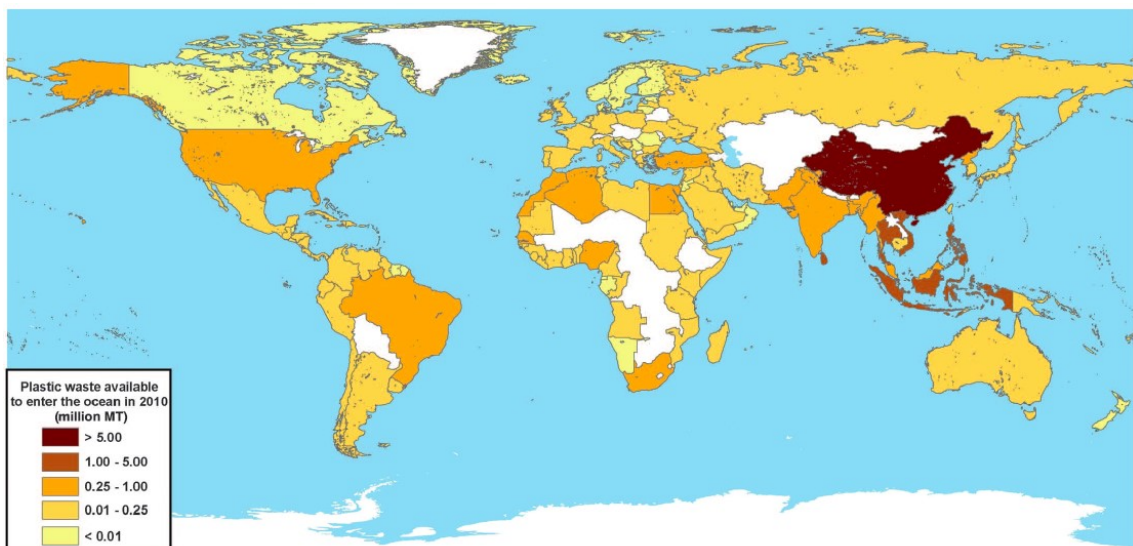
Maailmassa tuotetaan vuosittain muovia noin 322 miljoona tonnia. Noin puolet tuotannosta menee kertakäyttöiseksi pakkausmuoviksi, mikä aiheuttaa suuren jäteongelman (Lebreton ym. 2018). Eriksenin ym. (2014) arvion mukaan maailman merissä kelluu vähintään 5,25 triljoonaa muovipartikkelia, joiden yhteispaino on noin 268 940 tonnia. Muovien tuotannon kasvaessa myös jätteiden määrä kasvaa

ympäristössä. Jambeck ym. (2015) arvioivat, että muovijätettä kulkeutuu meriin vuosittain vähintään noin 12 miljoonaa tonnia, mikä johtuu roskaamisesta tai valtioiden huonosta jätehuollosta. Muovijätteiden lähteitä ja kulkureittejä meriympäristöön on monia (Kuva 1). Maa-alueilta muovijätettä kulkeutuu meriin vesistöjen, hulevesien sekä jätevedenpuhdistamoiden kautta. On arvioitu, että merissä olevasta muovista noin 80 % on alkuperältään maa-alueilta tulevasta lähteistä ja 20 % vesiviljelystä sekä kalastuksesta (Waichin ym. 2016). Maailman merissä kelluvasta muovijätteestä noin 10 % on mikromuovia (Mikromuovit... 2017). Pohjois-Atlantilla tehdyissä tutkimuksissa huomattiin, että mikromuovien määrä merivedessä on kasvanut 40 vuoden aikana tasaisesti muovin tuotannon nousun kanssa (Browne ym. 2007).



Kuva 1. Muovien tyypillisimpiä reittejä meriin (nuolten paksuus kuvastaa määrää).

Muovijätteen määrän arvioinnissa käytetään erilaisia aineistonkeruu- ja analysointimenetelmiä. Jambeck ym. (2015) on käyttänyt arvioinnissa muun muassa eri valtioiden vuotuista jätteen määrää, josta on laskettu muovimateriaalien osuus. Tästä osuudesta vähennetään kierrätetyt muovijätteet, jonka jälkeen jäljelle jää se muovijätteen osuus, jolla on kierrättämättömänä suuri riski päätyä meriin. Tarkasteluun on otettu 192 valtiota, joilla on rantaviivaa merialueisiin (Kuva 2). Arvion mukaan muovijätettä kierrätetään heikoiten muun muassa Kiinassa, Intiassa, Indonesiassa, USA:ssa, Brasiiliassa sekä monissa Afrikan maissa, joissa kierrättämätöntä muovijätettä oli vuonna 2010 noin 1 – 5 miljoonaa tonnia. Vähiten muovijätettä kulkeutuu meriin muun muassa Kanadasta ja monista Euroopan maista, joissa kierrättämätöntä jätettä on vuosittain noin 10 tuhatta tonnia (Jambeck ym. 2015).



Kuva 2. Kierrättämättömän muovin määrä eri valtioissa, joilla on rantaviivaa (miljoonina tonneina) (Jambeck ym. 2015).

Eriksen ym. (2014) toteavat, että meriin päätyvien muovijätteen määrään vaikuttaa hyvin voimakkaasti rannalla sijaitsevien kaupunkialueiden asukastiheys. Siksi maa-alueilta kulkeutuvan muovijätteen päälähteitä ovat suuret asutuskeskukset, mutta merkittäviä lähteitä ovat myös tehdasalueet. Muovijätteen alkuperää on myös pyritty arvioimaan tunnistamalla yksittäisiä jätteitä. Niiden perusteella on arvioitu, että suurin osa on lähtöisin rannikkoalueiden huvi- ja virkistysalueilta. Osa jätteestä oli myös

tehdasalueilta ja raaka-aineiden rahtikuljetuksista päässeitä jätteitä. Muovijätettä kulkeutuu meriin myös äärimmäisten sääilmiöiden kuten hirmumyrskyjen, taifuunien tai monsuunien aiheuttamien tuulten ja tulvien kautta (Waichin ym. 2016). Myös luonnonkatastrofit, kuten tsunamit, voivat kuljettaa maa-alueilta jätettä. Esimerkiksi Japanissa tapahtuneessa tsunamissa vuonna 2011 noin 5 miljoonaa tonnia jätettä huuhtoutui mereen (Detecting Japan... 2015).

Napper ym. (2015) arvioivat, että pohjoisen pallonpuoliskon meriin kerääntyvästä muovijätteestä 25 % on peräisin jätevesien kautta kulkeutuvasta mikromuovista. Jätevesistä kulkeutuvan mikromuovin lähteitä ovat suurilta osin erilaiset puhdistusaineet sekä kosmetiikka- ja hygieniatuotteet, jotka sisältävät primaarista mikromuovia. Heidän tekemässä tutkimuksessa testattiin kuuden eri kosmetiikkasarjan kasvonkuorintavoiteita, joista saatiin selville, että yhdestä tuotteesta irtosi 4594 – 94 500 kappaletta mikromuovipartikkeleita. Valtaosaa vedenpuhdistuslaitoksista ei ole suunniteltu puhdistamaan mikromuoveja jätevedestä, minkä vuoksi osa mikromuovista läpäisee puhdistamoiden eri käsittelyt. Waichin ym. (2016) mukaan nykyaikaiset jätevesipuhdistamot keräävät parhaimmillaan 99 % mikromuoveista. Jäljelle jäänyt osa on kuitenkin merkittävä niiden suuren käytön vuoksi. Yleensä myös jätevesistä puhdistetut mikromuovit päätyvät lopulta ympäristöön, sillä puhdistusprosessista jäljelle jäänyttä lietettä käytetään muun muassa maaperän ravinteina (Puhdistamolietteen... 2014).

Brownen ym. (2011) mukaan toinen merkittävä lähde jätevesien kautta kulkeutuvasta mikromuovista on erilaisten synteettisten kankaiden kuitujen irtoaminen pesun yhteydessä. Nämä synteettisesti tuotetut kuidut sisältävät polyesteria, polyamidia, polypropeenaa, polyeteeniä tai akryyliä. Tutkimuksessa saatiin selville, että yhdestä vaatekappaleesta voi lähteä keskimäärin 1900 kuitusäiettä yhdellä pesukerralla riippuen kankaan koosta ja laadusta. Samassa tutkimuksessa vertailtiin eri puolella maapalloa sijaitsevia 18 rannikkoalueen sedimenttejä, jotka sijaittivat lähellä asutusalueita. Rantojen sedimenteistä löytyi pääasiassa polyesteria ja akryyliä sisältäviä mikromuoveja. Niiden arvioidaan tulleen suurimmaksi osaksi jätevesien kautta synteettisten vaatteiden pesusta, koska ne olivat ominaisuuksiltaan samanlaisia. Xanthosin ja Walkersin (2017) tekemän arvion mukaan globaalisti jätevesien kautta vesistöihin ja meriin kulkeutuu päivittäin useita triljoonia mikromuovipartikkeleita, joista osa jää kellumaan pinnalle ja osa vajoaa sedimentteihin.

Merialueilta lähtöisin olevaa muovijätettä arvioidaan olevan noin 20 % kaikesta muovijätteestä. Suurimpia määriä jätettä kertyy ammattikalastajien ja vesiviljelijöiden käyttämistä tarvikkeista, joita heitetään tai hukataan merivesiin. Niitä ovat muun muassa siimat ja kalastusverkot. Suurin osa kalastustarvikkeista on valmistettu muovista sen kestävyys ja halvan hinnan vuoksi. Vuonna 1975 on arvioitu, että meriin päätyi noin 135 400 tonnia kalastustarvikkeita ja 23 600 tonnia niihin liittyviä synteettisiä pakkausmateriaaleja. Kalastuksen kasvamisen myötä myös sen aiheuttaman jätteen määrä on kasvanut jopa nelinkertaiseksi. Vuonna 2009 niiden määrän on arvioitu nousseen 640 000 tonniin vuodessa (Derraik 2002; Waichin ym. 2016). Kalastus ja siinä käytettävät kulkuneuvot eivät ainoastaan lisää muovijätteen määrää, vaan myös edesauttavat niiden leviämistä merissä, sillä erikokoiset laivat liikuttavat merenpinnan tuntumassa kelluvaa jätettä (Good ym. 2010).

Ihmistoiminnan johdosta muovijätteen määriin ja levinneisyyteen vaikuttaa myös turisti- ja rahtilaivojen kauppareitit. Esimerkiksi Välimerellä sijaitsevien merireittien varsilta on löydetty suuria määriä kelluvia jätteitä. Luonnossa ilmenevät fysikaaliset prosessit kuljettavat myös tehokkaasti muovijätettä. Merialueilla muovikappaleita liikuttavat muun muassa merivirrat, pyörteet ja tuulet. Kulkeutumiseen ja sen nopeuteen vaikuttavat myös rannikkoseutujen topografia sekä vesistöjen hydro- ja morfologia. Esimerkiksi jokien virtauksen ollessa heikko, osa kulkeutuvasta mikromuovista jää joen sedimentteihin (Galgani ym. 2000; Waichin ym. 2016).

Muovijätteen liikkumiseen ja kasautumiseen vaikuttavat myös eri muovilaatujen ominaisuudet, kuten niiden sisältämät polymeerit, tiheys, koostumus ja muoto. Kuten aikaisemmassa kappaleessa on käynyt ilmi, osa muoveista jää kellumaan veden päälle ja osa vajoaa pohjaan. Noin puolella kaikista tuotetuista homo- ja kopolymeereista on korkeampi tiheys kuin merivedellä, jolloin ne päätyvät pohjan sedimentteihin (Anderson ym. 2016). Veden pinnalla kelluvat pientiheysmuovit kulkeutuvat merissä tehokkaammin ja niiden määrän arvellaan olevan merkittävä osa meriin päätyvästä jätteestä. On myös huomattu, että pinnalla kelluvat makro- ja mikromuovit kasaantuvat erityisesti niille merialueille, joilla esiintyy merivirtojen risteyksiä, jotka aiheuttavat suuria pyörteitä (Waichin ym. 2016). Lebretonin ym. (2018) tekemässä kartoituksessa Pohjoisella Tyynenmerellä Havaijin ja Kalifornian välisellä 1,6 miljoonan neliökilometrin kokoisella merialueella on arvioitu kelluvan vähintään 79 000 tonnia muovijätettä.

Aikaisemmissa kartoituksissa muovijätteen määrän on arvioitu olevan huomattavasti vähemmän. Jätteiden alkuperä on pystytty osittain tunnistamaan ja niiden on huomattu olevan suurimmaksi osaksi Aasiasta. Laadultaan kelluvat muovijätteet ovat pääasiassa polyeteeniä ja polypropeenia. Merialueilla on myös muita valtavia jätealueita, jotka sijaitsevat Tyynenmeren eteläosissa, Pohjois- ja Etelä Atlantilla sekä Intian valtamerellä. Eriksenin ym. (2014) mukaan merialueiden jätteet jakaantuvat tasaisesti pohjoiselle ja eteläiselle pallonpuoliskolle. Eteläisellä pallonpuoliskolla jätteiden määrä keskittyy kuitenkin pääosin Intian valtameren alueelle.

Merenpohjan sedimenteistä korkeimpia mikromuovipitoisuuksia on löytynyt asutusten ja erityisesti suurten kaupunkialueiden lähetyviltä. Havaintojen perusteella niitä löytyy kuitenkin myös hyvin syrjäisiltä seuduilta, kuten arktisilta merijääalueilta sekä syvänmeren alueilta (Anderson ym. 2016). Tätä voi osaksi selittää se, että muovin tiheyden voi tulla muutoksia vesiympäristössä, jolloin pientiheysmuovit voivat kulkeutua kauas lähdealueeltaan ja painua lopulta pohjaan. Yksi merkittävin tekijä tiheyden muutoksessa on mikrobiyhteisön tarttuminen muovipartikkelin pintaan (ts. biofilmi), joka voi aiheuttaa myös levien tai selkärangattomien kolonisaation riippuen muovipartikkelin koosta (Andrady 2011). Lobellen ja Cunliffen (2011) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka nopeasti mikrobiyhteisöt alkavat kasvamaan merivedessä kelluvan muovipussin pintaan. Tuloksista saatiin selville, että kasvusto alkoi kehittyämään jo ensimmäisen viikon jälkeen. Mikrobiyhteisöjen määrä oli kasvanut voimakkaasti kolmannen viikon jälkeen.

## RISKIT JA ENNALTAEHKÄISY

Muovijätteellä on monimuotoiset vaikutukset ympäristöön ja sen eliöstöön, sillä ne eivät hajoa luonnollisiksi aineiksi, vaan yhä pienemmiksi partikkeleiksi. Pienet mikromuovit ovat kestäviä, pitkäikäisiä ja huomaamattomia, mikä tekee niiden puhdistamisen ympäristöstä lähes mahdottomaksi. Eri muovilaatujen sisältämät haitalliset aineet voivat ajan kuluessa huuhtoutua mereen ja kerääntyä eliöihin. Haitallisimmat aineet ovat hitaasti hajoavia orgaanisia ympäristömyrkkyyä, joista käytetään lyhennettä POP-yhdisteet (engl. persistent organic pollutants) (Phillips ym. 2015). Mikromuoveilla on myös se ikävä ominaisuus vesiympäristössä, että niillä on suuri pinta-ala suhteessa tilavuuteensa, minkä vuoksi ne absorboivat hydrofobisia epäpuhtauksia, kuten esimerkiksi dioksiineja, PCB-yhdisteitä ja torjunta-aineita. (Setälä ym. 2015). Esimerkiksi on havaittu, että mikromuovien PCB-yhdisteiden pitoisuus on miljoona kertaa suurempi verrattuna ympäröivään veteen. Suuri osa näistä haitallisista aineista on karsinogeenia, jotka voivat vahingoittaa eliöiden DNA:ta aiheuttaen haitallisia mutaatioita (Waichin ym. 2016).

### **Muovijätteen vaikutukset eliöihin**

Erikokoisten muovien vaikutuksia eliöihin tutkitaan sekä maastossa että laboratorio-olosuhteissa. Se, miten muovijäte vaikuttaa eliöön, riippuu sekä muovin että eliön koosta. Muovijätteiden ongelmat voivat ulottua yksilöihin, populaatioihin tai koko ekosysteemiin niiden lukuisten ominaisuuksien vuoksi, mutta kaikkia vaikutuksia ympäristöön ja eliöihin ei vielä tiedetä. Kokeiden avulla on selvitetty, että haitalliset lisäaineet ja monomeerit voivat kerääntyä kudoksiin ja aiheuttaa muun muassa maksan toiminta häiriöitä ja mutaatioita (Phillips ym. 2015). Tutkimuksissa on myös saatu selville, että muovien sisältämät pehmittimet, kuten ftalaatit, voivat aiheuttaa käytöshäiriöitä muun muassa kaloilla. Ftalaattien tiedetään vaikuttavan molekyyli- ja solutasolla, aiheuttaen muun muassa hormonien toimintahäiriöitä. Hormonitoiminnan muutokset voivat aiheuttaa viivettä ovulaatioissa ja huonontaa sperman laatua. Se voi johtaa populaatioissa jälkeläisten määrän vähenemiseen ja poikasten syntymiseen



epäedulliseen vuodenaikanaan. Näillä on vaikutusta eliöiden kelpoisuuteen ja näin ollen koko populaatioin dynamiikkaan (Oehlman ym. 2009; Waichin ym. 2016).

Yksilötasolla isompia muovirokia on löytynyt yli 180 eliölajista, esimerkiksi merilinnuista, kilpikonnista, kaloista sekä monista merissä elävistä nisäkkäistä. Erilaiset muovijätteet ovat aiheuttaneet muun muassa muoviroskaan sotkeutumista, tukehtumista ja fyysistä vahingoittumista (Browne ym. 2008). Havaintojen perusteella suurin osa sotkeutumisista aiheutuu kalastajien hukkaamista tai meriin dumppaamista verkoista. Ne jäävät meriympäristöön pitkiksi ajoiksi ennen niiden hajoamista, minkä vuoksi lukuisilla eliöillä on suuri riski tarttua niihin. Tätä ilmiötä kutsutaan ”haamukalastukseksi” (engl. ghost-fishing), sillä verkkoon sotkeutunut eläin todennäköisesti menehtyy ennemmin tai myöhemmin (Good ym. 2010). Tämä johtuu muun muassa siitä, että sotkeutunut eläin voi joutua käyttämään enemmän energiaa liikkumiseen, mikä voi johtaa nälkiintymiseen. Tällaisella eläimellä on myös suuri todennäköisyyttä jäädä saaliksi estyneen liikkumisen tai nälkiintymisen vuoksi. Makromuovien aiheuttamat haitat voivat vaikuttaa myös populaatioiden elinvoiman heikentymiseen - varsinkin herkillä lajeilla (Waichin ym. 2016).

Mikromuovit voivat aiheuttaa riskejä eliöille sekä yksilö että populaatiotasolla. Niiden kertyminen eliöihin voi aiheuttaa hitaampia, mutta pitkäaikaisempia vaikutuksia. Onkin arvioitu, että ympäristössä olevat mikromuovit ovat suurempi riski eliöille kuin makromuovit. Mikromuovit aiheuttavat sekä fyysisiä että kemiallisia vaurioita eliöissä. Erikokoisilla muovipartikkeleilla on suuri riski kulkeutua syömisen tai hengittämisen kautta lukuisten eliölajien vatsaan (Browne ym. 2011). Kuten aiemmin jo todettiin, osa muovilaaduista pysyy vesistön pinnalla ja osa vajoaa pohjaan, minkä vuoksi mikromuoveja voi päätyä sekä pintavesistöissä että pohjassa ruokaileviin eliöihin. Pinnalla olevat mikromuovit ovat samaa kokoluokkaa planktoneiden kanssa jolloin planktoneja syövät eläimet voivat niellä samalla myös muoveja. Näin erikokoiset muovipartikkelit voivat siirtyvät ravintoketjun kautta eliöstä toiseen. Pieniä muovikappaleita on löydetty muun muassa merissä elävistä kaloista, rävistä ja simpukoista (Browne ym. 2007, 2008). Kuten aikaisemmin on mainittu, vielä ei tiedetä kaikkea mikromuovien vaikutuksista ja niiden laajuudesta. Syödyksi tulleet mikromuovit voivat kasautua ja tukkia eliön ruuansulatuskanavan, jolloin ne mekaanisesti häiritsevät ruuansulatusta. Mikro- ja nanomuovit voivat kulkeutua myös muualle elimistöön, jos ne pääsevät eliön

verenkiertoon. On myös mahdollista, että muovipartikkelit poistuvat suoliston kautta pois eliöstä (Setälä 2014).

Mitä pienempiä muovipartikkelit ovat, sitä vaikeampi niitä on havainnoida ja tunnistaa luonnosta. Sen vuoksi laboratorio-oloissa tehtyjen kokeiden avulla pyritään selvittämään, mihin pienet muovipartikkelit päätyvät eri eliöiden syödessä niitä. Kokeissa käytettävät muovipartikkelit värjätään fluoresenssilla, jonka jälkeen ne hohtavat UV-valossa, mikä helpottaa niiden näkemistä pienissäkin kohteissa. Kokeita on tehty eri eliöryhmillä, kuten useilla eri eläinplanktoneilla, sinisimpukoilla (*Mytilus edulis*), katkoilla (*Amphipoda*), hietamadoilla (*Arenicola marina*) ja jyrsijöillä (*Rodentia*). Kokeissa eliöille tarjottiin niiden luontaista ruokaa, johon on lisätty muovipartikkeleita. Hietamadolla tehdyillä kokeilla havaittiin, että mikromuovit kulkeutuvat sen ruuansulatuskanavan läpi, eivätkä jääneet pysyvästi elimistöön (Browne ym. 2007). Toisenlaisia tuloksia on saatu jyrsijöillä, kaloilla ja simpukoilla tehdyissä kokeissa. Jyrsijät nielivät mikroskooppisen pieniä polystyreenipalloja ja ne siirtyivät ruuansulatuksesta imusuonistoon sitä todennäköisemmin, mitä pienempiä partikkelit olivat. Imusuoniston kautta muovipartikkelit saattavat kulkeutua muualle elimistöön. Jyrsijöiden elimistö on samankaltainen kuin esimerkiksi vedessä elävien nisäkkäiden, joten voidaan olettaa suurella todennäköisyydellä, että mikromuovien vaikutus näihin vesieläimiin on samanlainen (Browne ym. 2007).

Vesiekosysteemeissä mikromuovit voivat olla alttiimpia tulla syödyksi erityisesti niillä eläimillä, jotka suodattavat ravintonsa vedestä, kuten esimerkiksi simpukoilla ja valailla. Simpukat suodattavat vettä tehokkaasti ja niitä esiintyy maailmanlaajuisesti sekä merissä että sisävesissä. Brownen ym. (2008) tekemässä tutkimuksessa simpukkalajiksi on valittu sinisimpukka, sillä ne toimivat ravintona useille eliöille ja niiden alueellinen esiintyminen on laaja verrattuna muihin simpukkalajeihin. Laboratorio-olosuhteissa sinisimpukat altistettiin veteen, joka sisälsi mikromuovin kokoisia polystyreenipartikkeleita. Kokeista selvisi, että mitä pienempiä polystyreenipartikkelit olivat, sitä todennäköisemmin ne siirtyivät suolen onteloista kudoksen (hemo-lymfaan). Brownen ym. (2008) mukaan simpukat voivatkin olla merkittäviä merenpohjan sedimentteihin laskeutuvien mikromuovien kulkuväylänä ravintoketjuihin.

Setälä ym. (2014) tutkivat Itämerellä esiintyvien eläinplanktoneiden mahdollisuutta ottaa ravinnoksi mikromuoveja. Eläinplanktonit ovat ravintoketjun alkupäässä

olevia eliöitä, jotka ottavat ravinnokseen muita eläinplanktoneita tai kasvi- ja bakteeriplanktoneita. Testeissä tehtiin olosuhteet, missä eläinplanktonit pystyivät syömään yksittäisiä mikromuoveja niiden luontaisen ravinnon lisäksi. Laboratorioolosuhteissa selvisi, että suurin osa tutkittavista lajeista otti ravinnokseen mikromuoveja. Niiden syömiseen vaikutti muovirakeen koko ja runsaus sekä luonnollisen ravinnon läsnäolo. Samassa tutkimuksessa tarkasteltiin myös, voivatko mikromuovi-partikkelit siirtyä eläinplanktonien trofiatasolta toiselle. Osa tutkittavista eläinplanktoneista otti ravinnokseen mikromuovia sisältäviä saaliita. Setälän ym. (2014) mukaan tulokset ovat huolestuttavia, sillä eläinplanktonit ovat tehokkaita raivaamaan merenpintaa. Sen vuoksi ne voivatkin olla merkittävässä osassa merenpinnalla olevien mikromuovien kulkeutumisessa merieliöiden ravintoketjuihin. Setälä ym. (2014) pitävät mahdollisena, että mikromuovit kulkeutuvat merieliöiden ravintoketjuissa samalla tavalla kuin monet muutkin haitalliset aineet.

Ekosysteemeissä tapahtuvat aineiden kulkeutumiset ja siirtymiset eliöistä toiselle tapahtuvat monimutkaisemmin kuin laboratorio-oloissa, joissa käytetään vain muutamia yksittäisiä lajeja. Luonnossa eliöt ovat vuorovaikutuksessa lukuisten organismien kanssa. Tuloksia mikromuovien vaikutuksista eliöihin onkin pyritty samaan luonnossa esiintyvissä vastaavissa olosuhteissa, jotka on luotu suljettuun ekosysteemiin. Setälän ym. (2015) mukaan selkärangattomien ravinnonotto tapa vaikuttaa siihen, miten paljon mikromuovia tulee syödyksi. Tutkimuksessa on käytetty suljettua ekosysteemiä, jossa on simpukoita, lukuisia vapaana uivia äyriäisiä ja monia pohjassa ruokailevia selkärangattomia. Kaikkiin tutkittaviin eliöryhmiin päätyi mikromuovia suljetussa ekosysteemissä. Suurimmat pitoisuudet löytyivät simpukoista. Vapaana uivista äyriäisistä löytyi enemmän mikromuoveja verrattuna pohjan sedimentissä ruokaileviin selkärangattomiin. Myös mikromuovien syömisen alueellisia eroja on tutkittu. Phillipsin ym. (2015) tekemässä tutkimuksessa lukuisia kalalajeja kerättiin sekä asutettujen alueiden läheisyydestä että syrjäisimmiltä seuduilta. Molempien alueiden kaloista löytyi mikromuoveja, mutta asutuksen läheisyydestä kerättyjen kalojen vatsassa niitä oli enemmän.

Erikokoisilla muovijätteillä on myös epäsuoria vaikutuksia merien ekosysteemeihin. Valtamerissä kelluvien muovijätteiden pinnat tarjoavat vaihtoehtoisen väylän invaasiolajien, kuten esimerkiksi siimajalkaisten (*Cirripedia*), nilviäisten (*Mollusca*) ja

sammaleläinten (*Bryozoa*) leviämiseen. Suurin osa näistä lajeista on lähes koko elämänkaaren kovakuorisia ja paikallaan olevia (sessiilejä). Muovijätteen pinnalla elävät eliöt voivat myös houkutella lukuisia selkärangattomia lisääntymään, koska se luo suotuisan elinympäristön ja ravintoa, mikä voi lisätä näiden lajien runsautta ja levinneisyyttä. Mukana voi olla esimerkiksi kaloille haitallisia loisia, kuten useat laakamatoihin (*Platyhelminthes*) kuuluvat loiset ovat (Gregory 2009). Muovijäte voi toimia myös vektorina mikrolevien leviämiseksi. Muovijätteistä löytyneistä levälajeista oli muun muassa haitallinen panssarileviin kuuluva *Osteropsis*, joka tuottaa leväkukinnoissaan ihmisille ja eläimille myrkyllisiä yhdisteitä. Erilaiset vieraslajit voivat vähentää alueella esiintyvien lajien monimuotoisuutta voimakkaasti etenkin herkissä, valtamerten syrjäisillä alueilla sijaitsevista ekosysteemeistä (Maso' ym. 2003).

### **Keinoja ennaltaehkäistä muovien pääsyä ympäristöön**

Tiedeyhteisön huoli muovijätteen vaikutuksesta ympäristöön on lisännyt myös eri organisaatioiden valvetumista. Erityisesti mikromuovit huolestuttavat. Alankomaat, Itävalta, Luxemburg, Belgia ja Ruotsi julkaisivat pyynnön Euroopan unionin ympäristöministerille kieltää mikromuovit hygieniatuotteissa. USA ja Kanada ovat jo kieltäneet lailla mikromuovien käytön kosmetiikan raaka-aineina (Anderson ym. 2016). Vaikka mikromuovien käyttöä ei kielletäisikään lailla, monet yritykset ovat jo pyrkineet löytämään niille korvaavia luonnollisia raaka-aineita. Esimerkiksi kuorinta-voiteissa käytetyt mikromuovit korvataan kaurajauheella tai sokerilla (Cole ym. 2011). Myös monille muille muovituotteille pyritään löytämään korvaavia raaka-aineita. Esimerkiksi Suomessa on jo kehitetty puupohjaisia materiaaleja korvaamaan pakkaus- ja rakennusteollisuuden tarpeisiin käytettyjä muoveja (Mikromuovit... 2017).

Muovin tuotannossa käytettäviä raaka-aineita pyritään myös muokkaamaan ympäristölle vähemmän haitallisiksi. Kun muovien sisältämät synteettiset polymeerit korvataan osittain tai kokonaan luonnon monomeereillä kuten laktoosilla, glukoosilla, rasvahapoilla tai glyseriinillä, puhutaan biopohjaisista muoveista eli biomuoveista. Niiden raaka-aineita voivat olla esimerkiksi sokeri, vilja, tärkkelys, selluloosa tai erilaiset kasviöljyt. Biomuovi on ympäristöystävällisempää, sillä sen raaka-aineet tulevat uusiutuvista luonnonvaroista ja ne voivat olla myös biohajoavia. Biomuovien

käyttö on kasvussa, mutta niiden tuotanto on edelleen vasta 0,4 % koko muovin tuotannon raaka-aineista. Sitä käytetään tällä hetkellä pakkausmateriaaleina, tekstiileissä, leluissa, elektroniikassa, puutarhatuotteissa sekä maataloustarvikkeissa. Tuotannon odotetaan kasvavan noin 20 - 100 % vuodessa (European... 2013).

Biomuovin valmistuksen tarkoituksena ei ole kuitenkaan korvata koko muovituotantoa, sillä sen tuotanto ei ole myöskään täysin ongelmaton. Niiden sisältämiin kemikaaleihin ja hajoamiseen liittyy ongelmia. Biomuovi nimenä voi johtaa kuluttajaa harhaan, sillä niitä käytetään huoletta biojätepusseina. Riskinä on muun muassa se, että hajoaminen on epätäydellistä, jolloin ympäristöön pääsee metaania. Hajoaminen voi olla myös ainoastaan mekaanista, minkä vuoksi biomuovit voivat olla yhtä lailla sekundaaristen mikromuovien lähteinä. Biomuovin tuotannossa on myös haasteita, sillä tuotannon kasvaessa sen raaka-aineiden viljelemiseen kuluu valtavasti maa-alaa ruoantuotantoon kelpaavilta viljelyalueilta. Tarkoituksena on tuoda uusiutumattomille ja ympäristöä kuormittaville aineille korvaavia ympäristöystävällisempiä raaka-aineita (European... 2013). Tärkein tavoite on kuitenkin vähentää muovintuotantoa kokonaisuudessaan.

Monissa maissa kertakäyttöisten muovien vähentämiseen on ryhdytty kieltämällä tai verottamalla muun muassa muovipussien käyttöä. Esimerkiksi muovipussien ilmainen jakelu on kielletty vähittäiskaupoissa Kiinassa vuonna 2005 ja Intiassa vuonna 2008. Samoihin aikoihin Ruanda on asettanut tavoitteeksi tulla ensimmäiseksi muovivapaaksi maaksi, joka näkyy muovipussien käytön, tuotannon, myynnin ja maahantuonnin kieltoina. Euroopan unionin alueella toimenpiteisiin on ryhdytty vasta viime aikoina. Vuonna 2015 EU asetti lainsäädännön, jonka mukaan jäsenmailta vaaditaan tekemään toimenpiteitä muovipussien vuotuisten käyttömäärien vähentämiseksi. Yhtenä tavoitteena on lopettaa kokonaan vähittäiskauppojen ilmaisten muovipussien jakelu vuoteen 2019 mennessä. Vuonna 2016 Iso-Britannia sääti lailla muovipussien maksullisuudesta, millä onnistuttiin vähentämään ensimmäisenä vuonna muovipussien määrää jopa 6 biljoonalla. Vaikka muovien vähentämistä ei kielletäisi- kään lailla, monet osavaltiot ja kaupungit esimerkiksi Australiassa, Kanadassa ja USA:ssa ovat lähteneet itsenäisesti vähentämään muovipussien käyttöä (Xenthos & Walker 2017).

Muovia käytetään lukemattomissa käyttötarkoituksissa, eikä kertakäyttöpakkauksienkaan kokonaan pois jättäminen lyhyellä aikavälillä ole realistista. Sen vuoksi kierrättäminen olisi tärkeää, mutta se ei kuitenkaan ole ongelmatonta. Yksinkertaisin kierrätystapa on muovata samaa muovilaatua oleva jäte uuteen käyttötarkoitukseen. Muovit kuitenkin kuluvat käytössä ja erilaisiin tarkoituksiin tehdyt muovituotteet sisältävät useita toisistaan poikkeavia muovilaatuja mikä hankaloittaa kierrätysprosessia. Muovien erottaminen toisista vaatii useita vaiheita ja niiden kustannukset voivat olla suuret. Erilaisia muovilaatuja ei voi sekoittaa keskenään satunnaisesti, sillä kaikki muoviseokset eivät ole yhteensopivia. Muovin polttaminen vaatii tarkkaa osaamista ja laitteistoa, jotta se ei tuota haitallisia yhdisteitä ilmakehään. Siksi sen polttaminen esimerkiksi energiakäyttöön on kyseenalaista. Muovin kierrätyksessä olisikin tärkeintä muovilaatujen kerääminen ja lajittelu, jonka jälkeen muovin kierrätys riippuu sen laadusta ja käyttötarkoituksesta. Muovien tunnistamiseen ja lajittelun helpottamiseksi muovituotteisiin on merkitty koodit eri laaduille (Abdel-Bary ym. 2003).

Muovijätteen yksittäisiä hajakuormituslähteitä pyritään myös kartoittamaan ja ennaltaehkäisemään. Esimerkiksi autoteiden asfalttiin lisätään muoveja parantamaan sen elastisuutta. Asfalttiteiden kulumisen aiheuttaa mikromuovimuovijätettä ja autonrenkaista kuluva muovi on myös ongelma. Näihin kahteen ongelmaan suunnitellaan ennaltaehkäiseviksi ratkaisuksi esimerkiksi autoteiden hulevesijärjestelmien ohjausta siten, että ne eivät valu vesistöihin (Mikromuovit... 2017).

Waichin ym. (2016) mukaan tärkeimpiä ennaltaehkäisyn keinoja ovat eri maiden politiikan ja lainsäädännön keinot, joilla pyritään sekä kasvattamaan ihmisten tietoisuutta asiasta että rajoittamaan muovijätteen pääsyä ympäristöön. Päätöksiä ja sopimuksia pitäisi tehdä myös eri sektoreilla kansainvälisellä tasolla. Tärkeäksi nostettu keino on myös innovatiivisen teknologian kehittämisen tukeminen. Niiden avulla voidaan keksiä sekä ennaltaehkäiseviä että jo olemassa oleviin ongelmiin ratkaisuja. Tällä hetkellä suurin osa ammattilaisista, jotka kehittävät erilaisia teknologioita ja ratkaisuja ongelmiin, saavat rahoituksensa hankkeilleen yksityisiltä yrityksiltä (Sigler 2014). Esimerkiksi kehitteillä on itseohjautuva ”muovinsyöjä drone”, joka kerää muovijätettä meriveden pinnan tuntumasta. Ennaltaehkäisevistä keinoista myös muoviteollisuuden tulisi ottaa enemmän vastuuta muovituotteiden käytön jälkeisestä

kohtalosta samalla tavalla, kuin esimerkiksi elektroniikkateollisuuden tulee huolehtia omista tuotetuista tavaroistaan (Waichin ym. 2016).

## POHDINTA

Muovin hyvinä ominaisuuksina pidetään sen halpaa tuotantoa, keveyttä, monipuolisuutta ja kestävyyttä. Näiden samojen ominaisuuksien vuoksi ne aiheuttavat myös riskejä ympäristössä. Muovijätteiden määrä kasvaa merissä juuri niiden kestävyden vuoksi, minkä seurauksena ne hajoavat ainoastaan pienemmiksi kappaleiksi. Monet tutkijat ovat todenneet, että muovijätteiden ongelmat ovat suurimpia ja vaikeimpia ratkaista silloin, kun ne ovat niin pieniä, ettei niitä pystytä enää näkemään. Muovijätteiden ongelmat meriympäristössä ovat myös moninaiset niiden lukuisten ominaisuuksien vuoksi. Täyteaineina ja pehmittiminä käytetään lukuisia yhdisteitä, joiden kaikkia vaikutuksia organismeihin ei vielä tiedetä. Mikromuovit toimivat vektoreina merien muille ympäristömyrkyille, minkä vuoksi ne myös lisäävät myrkkujen todennäköisyyttä päätyä ravintoketjuihin. Tapoja, joiden kautta mikromuovit kulkeutuvat eliöihin on havainnoitu tutkimusolosuhteissa. Kuten Setälä ym. (2014) toteavat, merkittävä osa mikromuovien vaarallisuudesta merien ravintoketjuissa on kuitenkin vielä tuntematonta ja spekulatiivista. On mahdollista, että mikromuovit tai niiden sisältämät myrkyt rikastuvat ravintoketjuissa, mutta niiden todellisista määristä ja suoranaista vaikutuksista pitäisi saada vielä tarkempaa tietoa. Mikromuovien lähteitä ja vaikutuksia vesiekosysteemeissä on tutkittu kuitenkin enemmän kuin nanomuovien. Sen määrää ja levinneisyyttä sekä vaikutuksia eliöille tutkitaan yhä enemmän.

Mikromuovien vaikutuksesta eliöihin myös kiistellään. Osa tutkijoista kritisoi sitä, että laboratorioissa tehdyt tutkimukset yksinkertaistavat luonnossa tapahtumia mekanismeja. Setälän ym. (2015) mukaan tuloksia, jotka saadaan laboratorioolosuhteista on hankala suhteuttaa luonnon elinympäristöihin, sillä eliöt ovat vuorovaikutuksessa lukuisten organismien kanssa. Tämän vuoksi on ehdotettu, että tutkimuksia toteutettaisiin enemmän suljetuissa ekosysteemeissä, joissa olosuhteet pyritään luomaan mahdollisimman samankaltaisiksi, kuin vastaavissa luonnon ekosysteemeissä. Mikromuovien vaikutukset eliöihin ovat kuitenkin suhteellisen uusi tutkimusongelma, joka vaatii metodien yksinkertaistamista, jotta niiden mahdolliset vaikutukset voidaan ylipäättään havainnoida. Siihen tarvitaan myös monitieteellistä tutkimusta, jotta saadaan kattavaa tietoa eri aineiden mahdollisista vaikutuksista,



määristä sekä alueellisista jakautumisista. Esimerkiksi lisää tietoa tarvittaisiin mikromuovien määristä makeissa vesissä. Browne ym. (2008) mukaan tarkempaa tutkimusta tarvittaisiin myös metabolisista mekanismeista, joiden avulla mikromuovit siirtyvät eliöiden ruuansulatuksesta verenkiertoon.

Luonnossa esiintyviä ympäristömyrkyjä on lukuisia. Uhkakuvana on, että mikro-muovien määrän kasvaessa ne toimivat tehokkaina välittäjinä ympäristömyrkyille, jotka kasaantuvat lopulta ravintoketjujen huipuille. Suuret pitoisuudet voivat aiheuttaa petoeläinlajien populaatiomäärien romahduksen. Esimerkiksi yhtenä merkittävänä syynä Suomen merikotkakannan pienenemiseksi on pidetty ympäristömyrkyjä, kuten DDT:tä, lyijyä ja dioksiineja. Haitallisia aineita on alettu kieltää, mikä on auttanut kannan elpymisessä. Muovien käytön kieltäminen ei ole yhtä yksinkertaista sen lukuisten käyttötarkoitusten takia. Sen tuotannolla on myös positiivisia vaikutuksia kestäväälle kehitykselle. Muovimateriaalien avulla voidaan muun muassa säästää fossiilisia polttoaineita. Niiden avulla saadaan kulkuneuvot kevyemmiksi, jolloin polttoaineen tarve vähenee. Muovipakkauksien avulla voidaan myös pidentää elintarvikkeiden käyttöikää ja näin ollen vähentää hävikkiä. Muovimateriaalit ja niistä tehdyt tuotteet voisivat olla oikein käytettyinä resurssitehokkaita koko niiden elinkaaren, jos ne päätyisivät lopulta aina kierrätykseen.

Tietoisuutta muovien kierrättämisen tärkeydestä pitäisi lisätä sekä yksilö että kansallisella tasolla. Teknologiaa ja menetelmiä muovien kierrättämisestä tulisi viedä maihin, joissa sitä ei vielä ole. Monissa maissa, etenkin eteläisellä pallonpuoliskolla, jätteitä ei kierrätetä, vaan ne päätyvät kaatopaikoille, mistä muovimateriaalit voivat lopulta kulkeutua vesistöihin ja meriin. Jätteitä dumpataan myös tarkoituksella meriin tiedostamatta niiden haittoja. Euroopassa muovien kierrätys on suhteellisen hyvällä tasolla, mutta esimerkiksi USA:ssa, Kiinassa ja Intiassa suuri osa muovijätteestä päätyy meriin. Vaikka kierrätys on Suomessa hyvällä tasolla, muovია päätyy kuitenkin vesistöihin esimerkiksi lumenkaatopaikoilta, viemäriverkostoista, tieverkostoista sekä muovisilta leikki- ja urheilukentiltä. Osalle tuotetuista muovimateriaaleista on vaikea löytää yhtä monipuolisia korvaavia materiaaleja. Esimerkiksi autonrenkaista kuluvaan mikromuoviin on haasteellista löytää ratkaisua materiaalin vaihdoksella, sillä on vaikea löytää samaan aikaan erittäin kestäviä, mutta samalla pehmeitä ja joustavia materiaaleja.

Yllättävää oli huomata, ettei muoviteollisuus tiedä käytettävien materiaaliensa hajoamisprosessia ympäristössä. Etenkin biomuovien hajoamattomuus oli yllättävää. Kuluttajille on annettu käsitys siitä, että biomuovia voi huoletta heittää vaikka maastoon, missä ne hajoavat luonnonmukaisiksi aineiksi. Laboratorioissa toteutetut kompostoitavuudesta kertovat standardit eivät välttämättä tapahdu samalla tavalla luonnonympäristössä, missä materiaalien hajoaminen voi olla epätäydellistä. Muoviteollisuuden tulisi ottaa enemmän vastuuta tuotteidensa elinkaaren loppupäästä. Materiaalien uudelleenkäyttö pitäisi olla helpompaa sekä niiden kierrätettävyydestä pitäisi ilmoittaa selkeämmin. Muovien uusiokäytön helpottamiseksi on muun muassa ehdotettu, että tuotteissa ilmoitettaisiin selkeästi ovatko ne tuotettu yhdestä vai useammasta polymeerien lähtöaineista (homopolymeeri vai kopolymeeri), jolla voitaisiin välttää vääränlaisten muovilaatujen sekoittumista keskenään.

Suuren jäteongelman ratkaisemiseksi etenkin kertakäyttömuovin käyttöä pitäisi vähentää huomattavasti. Muovituotannon turhia käyttökohteita löytyy lukuisia, joista pitäisi ennen muuta luopua. Esimerkiksi tuotteiden ylipakkaaminen on hyvin yleistä ja yleensä täysin tarpeetonta. Vielä vähän aikaa sitten Suomessa ruokakauppojen kassamyyjät ehdottivat pakkaamaan monia tuotteita erillisiin muovipusseihin – onneksi tästä tavasta luovuttiin. Nykyään Suomessa harvoista vähittäiskaupoistakaan saa muovipusseja ilmaiseksi ja maailmalla sitä on alettu myös lailla kieltämään. Tietoisuus muovien haitoista lisää valveutuneisuutta, mutta tehokas keino on muovin maksullisuus tai verottaminen, jolla voidaan ohjata kuluttajia välttämään turhaa muovia. Se myös pakottaisi etsimään enemmän muoveille muita korvaavia materiaaleja. Muutokset saattavat olla hitaita taloudellisen tuottavuuden halun takia, koska muovituotanto on suuri osa kulutusyhteiskuntaa.

Monet valtiot pitävät omien vesistöjen ja rantojen puhtaudesta huolen, mutta kun muovijäte ajautuu avomerille ja kansainvälisille vesille yksikään valtio ei ota siitä vastuuta. Jotain pitäisi myös tehdä myös näille avomerillä kelluville muovijätteille ennen kuin ne hajoavat yhä pienemmiksi partikkeleiksi tai houkuttelevat kalakantoja vähentäviä invaasiolajeja. Niiden puhdistaminen globaalilla tasolla vaatii eri maiden välistä yhteistyötä. Tällä hetkellä merien puhdistamisesta pitää huolen vain muutamat kansalaisjärjestöt, kuten Ocean Conservancy ja The Ocean Cleanup.

## LÄHTEET

- Abdel-Bary, El., & M. Elsayed (2003). *Handbook of plastic films*. Repra. 1.p. 404s. Shrewsbury & Shropshire, Technology Limited, United Kingdom.
- Anderson, J. C., B. J. Park & V. P. Palace (2016). Microplastics in aquatic environments: Implication for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution* 218: 269-280.
- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62: 1596-1605.
- Barnes, D. K. A., F. Galgani, R. C. Thompson & M. Barlaz (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transaction of The Royal Society* 364: 1985-1998.
- Browne, M.A., P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, R. Thompson (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45: 9175–9179.
- Browne, M.A., A. Dissanayake, T. S. Galloway & D. M. Lowe (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L). *Environ. Sci. Technol.* 42: 5026-5031.
- Browne, M.A., T. Galloway & R. Thompson (2007). Microplastic – an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management* 3: 559–561.
- Cole, M., P., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J. & T. S. Galloway (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 47: 6646-6655.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. & T. S. Galloway (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62: 2588–2597.
- Detecting Japan Tsunami Marine Debris at Sea: A Synthesis of Efforts and Lessons Learned. (2015). NOAA Marine Debris Program, U.S. <[https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/JTMD\\_Detection\\_Report.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/JTMD_Detection_Report.pdf)> 30.3.2018.
- Derraik, J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44: 842–852.
- European bioplastics: Driving the evolution of plastics. (2013). Muoviteollisuus ry, Helsinki. <[https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit\\_ja\\_ymparisto/biomuovit/](https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit_ja_ymparisto/biomuovit/)> 12.3.2018.
- Eriksen, M., L. C. M. Lebreton, H. S. Carson, M. Thiel, C. J. Moore, J. C. Borerro, F. Galgani, P. G. Ryan & J. Reisser (2014). Plastic Pollution in the World’s Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *Plos One* 9: 1-15.

- Galgani, F., J. P. Leaute, P. Moguedet, A. Souplet, Y. Verin, A. Carpentier, H. Gorauguer, D. Latrouite, B. Andral, Y. Cadiou, J. C. Mahe, J. C. Poulard & P. Nerisson (2000). Litter on the sea floor along European coasts. *Marine Pollution Bulletin* 40: 516–527.
- Good, T. P., J. A. June, M. A. Etnier & G. Broadhurst (2010). Derelict fishing nets in Puget Sound and the Northwest Straits: patterns and threats to marine fauna. *Marine Pollution Bulletin* 60: 39–50.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 364: 2013–2025.
- Ho, K. L. G., A. L. Pometto & P. N. Hinz (1999). Effects of temperature and relative humidity on polylactic acid plastic degradation. *Journal of Environmental Polymer Degradation* 7: 83-92.
- Jambeck, J. R., R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan & K. L. Law (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347: 768-771.
- Lebreton, L., B Slat, F. Ferrari, B. Sainte-Rose, J. Aitken, R. Marthouse, S. Hajbane, S. Cunsolo, A. Schwarts, A. Levivier, K. Noble, P. Debeljak, H. Maral, R. Schoenich-Argent, R. Brambini & J. Reisser (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports* 8:4666.
- Lobelle, D. & M. Cunliffe (2011). Early microbial biofilm formation on marine plastic debris. *Marine Pollution Bulletin* 62: 197–200.
- Maso', M., E. Garce's, F. Page's & J. Camp (2003). Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing harmful algal bloom (HAB) species. *Scientia Marina* 67: 107 –111.
- Mikromuovit riski myös Suomen vesistöille. (2017). Suomen ympäristökeskus, Helsinki. <[http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit\\_riski\\_myos\\_Suomen\\_vesistoill\(42492\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492))> Viitattu 1.4.2018.
- Muovifaktaa (2017). Muoviteollisuus ry, Helsinki. <<https://www.plastics.fi/fi/muovitieto/julkaisukirjasto/>> 10.3.2018.
- Napper, I. E., A. Bakir, S. J. Rowland & R. C. Thompson (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin* 99: 178-185.
- Oehlmann, J.R., U. Schulte-Oehlmann, W. Kloas, O. Jagnytsch, I. Lutz, K. O. Kusk, L. Wollenberger, E. M. Santos, G. C. Paull, K. J. W. Van Look & C. R. Tyler (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B* 364: 2047–2062.
- Phillips, M.B. (2014). The Occurrence and Amount of Microplastics Ingested by Fishes in the Watersheds of the Gulf of Mexico. *M.Sc. thesis*. 34.

- Puhdistamolietteen ja biojätteen käsittely ravinteita kierrättäen. (2014). Suomen ympäristökeskus, Helsinki. >[http://www.syke.fi/fi/FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Tutkimus\\_ja\\_kehittamishankkeet/Hankkeet/Puhdistamolietteen\\_ja\\_biojatteen\\_kasittely\\_ravinteita\\_kierrattaen](http://www.syke.fi/fi/FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Puhdistamolietteen_ja_biojatteen_kasittely_ravinteita_kierrattaen)> 24.4.2018.
- Setälä, O., V. Flemming-Lehtinen & M. Lehtiniemi (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185: 77-83.
- Setälä, O., J. Norkko & M. Lehtiniemi (2015). Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine Pollution Bulletin* 102, 95-101.
- Shah, A.A., H. Fariha, H. Abdul & A. Safia (2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnol* 26: 2467–2650.
- Silvennoinen, S. (2001). *Raaka-ainekäsikirja: 4, Muovit ja kumit*. 2. p. 172s. Metalliteollisuuden kustannus, Helsinki.
- Sigler, M. (2014) The Effects of Plastic Pollution on Aquatic Wildlife: Current Situations and Future Solutions. *Water Air Soil Pollut* 225:184.
- Waichin, C. L., H. F. Tse & L. Fok (2016) Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment* 566-567: 333-349.
- Xanthos, D. & T. R. Walker (2017). International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Marine Pollution Bulletin* 118: 17-26.