

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN  
RAPORTTEJA 37 | 2016

# Merten roskaantuminen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet

Päivi Fjäder



Suomen ympäristökeskus



# Merten roskaantumisen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet

**Päivi Fjäder**



## SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 37 | 2016

Suomen ympäristökeskus (SYKE)  
Kulutuksen ja tuotannon keskus

Julkaisun otsikko: Merten roskaantuminen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet

Kirjoittaja: Päivi Fjäder

Vastaava erikoistoimittaja: Riina Antikainen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö

Taitto: Ritva Koskinen

Kannen kuva: Rannoille kerääntynyttä roskaa Kanapou lahdella, Kaho'olawe saarella, Havaijilla.  
(Kuva NOAA's Marine Debris Program)

Julkaisu on saatavana internetistä: [syke.fi/julkaisut](http://syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke) sekä  
ostettavissa painettuna SYKE:n verkkokaupasta: [syke.juvenesprint.fi](http://syke.juvenesprint.fi)

ISBN 978-952-11-4646-6 (PDF)  
ISSN 1796-1726 (verkkojulk.)

Julkaisija ja kustantaja:  
Suomen ympäristökeskus (SYKE)  
PL 140, 00251 Helsinki,  
puh. 0295 251 000,  
[syke.fi](http://syke.fi)

Julkaisuvuosi: 2016

## TIIVISTELMÄ

Merten roskaantuminen on viime aikoina yhä suurempaa huomiota saanut ympäristöongelma. Merten roskat voivat koostua useista erilaisista kiinteistä materiaaleista kuten muovista, kumista, metallista, paperista, tekstiileistä jne. Kelluvasta roskasta valtaosa on muovia ja se on pääasiassa peräsin maalla tapahtuvista toimista (60–80 %). Merkittävimpiä roskien päästölähteitä ja kulkeutumisreittejä ovat mm. huonosti hoidetut kaatopaikat, hulevedet, jätevedenpuhdistamot, roskaantuminen sekä laitton roskien dumpsaus rannikoiden läheisyyteen. Myös jokien rooli roskien kuljettajana voi olla merkittävä. Noin 20 % roskista syntyy puolestaan merellä tapahtuvista toimista kuten liikenteestä, kalastuksesta ja vesiviljelystä.

Muovin tuotanto on kasvanut nopeasti viimeisten vuosikymmenten aikana. Merissä olevan roskan ja tuotetun muovin määrät kulkevat käsi kädessä, minkä vuoksi merten roskamäärän ennustetaan kasvavan, ellei välittömiin toimenpiteisiin ryhdytä. Eniten roskaa löytyy tiheään asuttujen alueiden lähistöiltä, mutta kaukaisemmatkaan alueet eivät ole säästyneet roskaantumiselta. Nykyään etenkin muovirooskaa löytyy kaikkialta meriympäristöstä, niin rannoilta, vesipatsaasta, eliöstöstä kuin meren pohjasta. Mereen päädyttyään roskat voivat olosuhteista riippuen säilyä siellä pitkään.

Mikroroskaksi kutsutaan yleisesti alle 5 mm:n kokoista roskaa. Mikromuovit saattavat puolestaan toimia vektoreina mm. erilaisille tulokaslajeille, taudinaiheuttajille sekä haitallisille orgaanisille yhdisteille. Mikropartikkeleiden sekä makroroskien päästölähteiden, kulkeutumisen ja esiintymisalueiden (vertikaalinen, horisontaalinen, maantieteellinen) selvittäminen on tärkeää niin vaikutus- ja riskinarvioinnin kuin mahdollisten päästövähennyskeinojen kannalta. Tietyillä alueilla roskaantuminen on jo varsin näkyvä ongelma, aiheuttaen lukuisia erilaisia sosioekonomisia sekä ekologisia haittoja. Tämän vuoksi erilaisiin vähennys- ja hallintatoimenpiteisiin tulisi ryhtyä välittömästi.

*Asiasanat:* Meret, roskaantuminen, muovit, mikromuovit, haitalliset aineet

## SAMMANDRAG

Nedskräpning i haven är ett miljöproblem som fått ännu större uppmärksamhet den senaste tiden. Skräpet i havet kan bestå av olika fasta material såsom plast, gummi, metall, papper, textilier etc. Merparten av det flytande skräpet är plast och härstammar huvudsakligen från verksamhet på land (60–80 %). De största utsläppskällorna och färdvägarna är bland annat dåligt skötta avstjälningsplatser, dagvatten, avloppsreningsverk, nedskräpning samt olaglig dumpning i närheten av kusterna. Älvar och åar kan också vara betydande färdvägar. Cirka 20 procent av skräpet härstammar från verksamhet till havs såsom trafik, fiske och vattenbruk.

Under de senaste decennierna har plastproduktionen ökat snabbt. Mängden skräp i haven och mängden producerad plast går hand i hand, och man förutspår därför att mängden skräp i haven kommer att öka om man inte vidtar omedelbara åtgärder. Mest plastskräp finns det i närheten av tätbefolkade områden, men inte heller mer avlägsna områden har besparats från nedskräpning. I dagsläget finns i synnerhet plastskräp överallt i havsmiljön såväl på stränder, i vattenpelaren och i organismen som på havsbotten. Skräp som hamnar i havet kan beroende på omständigheterna leva kvar där länge.

Skräp som är mindre än 5 millimeter kallas allmänt för mikrokräp. Mikroplaster kan fungera som vektorer för bl.a. olika nya arter, sjukdomsalstrare samt skadliga organiska föreningar. Det är viktigt att reda ut varifrån utsläppen av mikropartiklar och makroskräp kommer, hur de färdas och var de förekommer (vertikalt, horisontalt, geografiskt) dels för konsekvens- och riskbedömningen, dels för eventuella sätt att minska utsläppen. I vissa områden är nedskräpningen redan ett mycket synligt problem som orsakar otaliga olika socioekonomiska och ekologiska problem. Därför bör olika åtgärder för att minska och hantera nedskräpningen vidtas omedelbart.

*Nyckelord:* Hav, nedskräpning, plaster, mikroplaster, skadliga ämnen



## ABSTRACT

Marine litter is a global problem, which has been given more and more public attention recently. Marine litter represents different solid materials like plastic, rubber, metal, paper, textiles etc. Majority of the floating litter is plastic and originates from land based sources (60-80 %). The most significant emission sources and pathways from the land based sources are inadequate waste management, urban runoff, waste water treatment plants, people's attitudes towards littering and illegal dumping of wastes. Also the role of riverine input can be quite significant. The rest ca 20 % of the marine litter originates from sea based sources like transportations, fishing and aquaculture.

Plastic production has rapidly grown during the past few decades. Plastic entering the world's oceans goes hand in hand with the plastic production. This is why the problem will only continue to increase unless urgent actions are taken immediately. Marine litter is most abundant in densely populated areas, but even the most remoted areas haven't been spared from litter. Nowadays litter can be found everywhere in the marine environment from different water columns, shores, sea floor and biota. Once released to the marine environment some litter types like plastic can be persistent for decades.

Litter sized less than 5 mm is called microplastics. Microplastics can act as vectors for indigenous species, harmful environmental chemicals and pathogens. Studying the potential emission sources, transportation routes and occurrence (horizontal, vertical, geographical) is essential for the risk assessment and when planning the cost effective reduction measures. In some areas marine litter is already an extensive problem that causes numerous socioeconomic and ecological problems, which definitely needs urgent actions.

*Keywords:* Oceans, littering, plastics, microplastics, hazardous substances

## ALKUSANAT

Tämän työn tarkoituksena on toimia kansallisena taustadokumenttina siitä, mitä merten roskaantumista, muoveista, mikromuoveista ja niihin liittyvistä haitallisista aineista tiedetään tällä hetkellä. Tätä kirjallisuusselvitystä työstettiin osittain samaan aikaan kuin YK:n ympäristöohjelma UNEP:n toiseen ympäristökokoukseen (United Nations Environment Assembly, UNEA2) valmistelemaa julkaisua *Marine Plastic Debris and Microplastics Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change* (Kershaw 2016). Tämän vuoksi tässä kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan merten roskaantumista laajemmin globaalista näkökulmasta, mutta pyritään huomioimaan myös tilanne Itämeren kannalta. Julkaisussa käydään myös läpi roskaantumisen keskeiset päästölähteet, etenkin muoviroskan vaikutukset ympäristössä, muovin tuotannon kehitys, keskeiset muovityypit, muoveihin liittyvät haitalliset aineet, kansainväliset sopimukset joiden puitteissa roskaantumisongelmaa voidaan käsitellä sekä mahdolliset roskaantumisen hallintakeinot. Kirjallisuusselvityksen rahoitti Ympäristöministeriö.



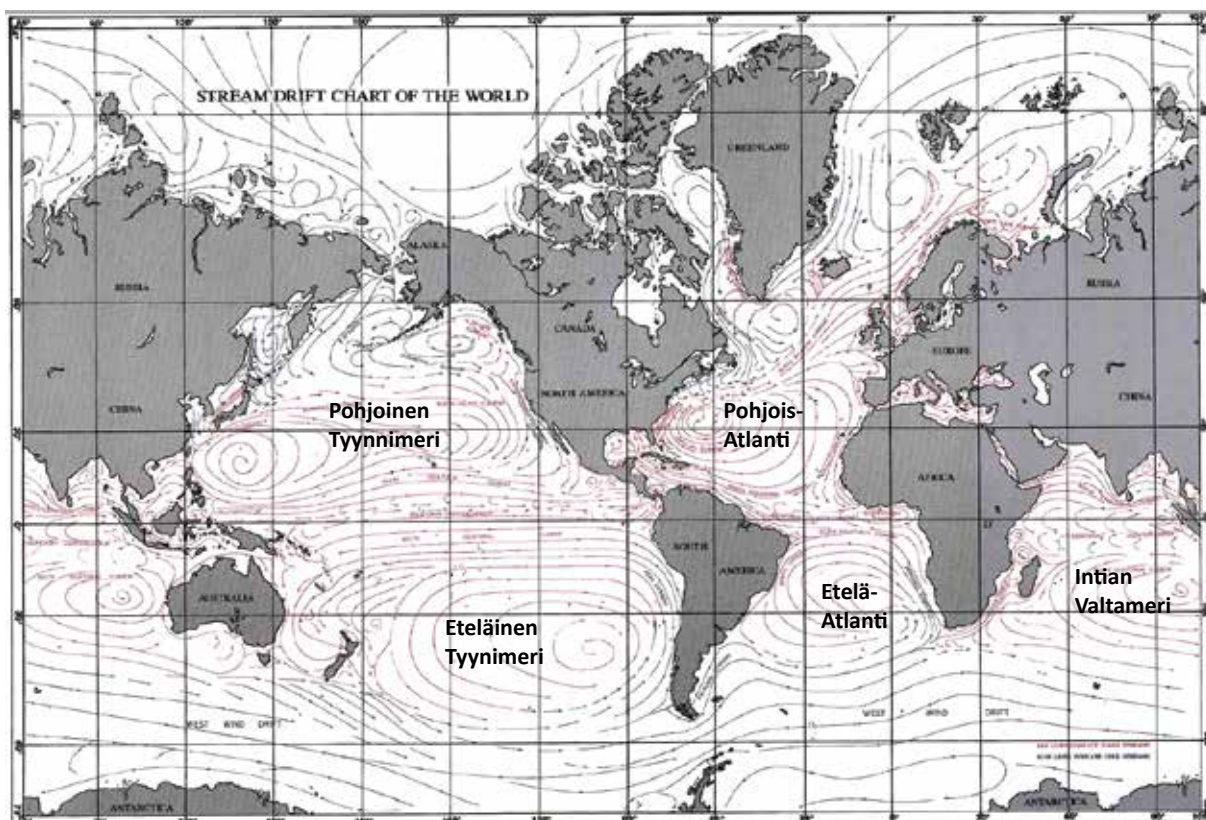
## SISÄLLYS

<b>Tiivistelmä .....</b>	<b>3</b>
<b>Sammandrag .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstrct .....</b>	<b>5</b>
<b>Alkusanat .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Yleistä merten roskaantumisesta .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Muovin tuotanto .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Yleistä muovista.....</b>	<b>14</b>
<b>4 Mikromuovit.....</b>	<b>15</b>
<b>5 Biomuovit ja biohajoavat muovit.....</b>	<b>17</b>
5.1 Biomuovit.....	17
5.2 Biohajoavat muovit .....	17
5.3 Okso-hajoavat muovit.....	18
<b>6 Meriroskan lähteet .....</b>	<b>19</b>
6.1 Merisyntyiset roskat .....	21
6.1.1 Meriliikenne, Sotilas- ja tutkimusalukset, Öljynporausta .....	21
6.1.2 Kalastusalukset .....	22
6.1.3 Huviveneily ja turismi.....	22
6.1.4 Vesiviljely.....	23
6.2 Maalta peräisin olevat roskat .....	23
6.2.1 Kaatopaikat .....	23
6.2.2 Joet.....	24
6.2.3 Hule- ja jätevedet .....	25
6.2.4 Teollisuuslaitokset.....	27
6.2.5 Turismi ja rantojen käyttäjät.....	28
<b>7 Roskien määrä meriympäristössä .....</b>	<b>30</b>
<b>8 Muovi ja haitalliset aineet .....</b>	<b>32</b>
8.1 Muovin lisäaineet.....	32
8.2 Haitallisten yhdisteiden pidätyminen muoviin.....	36
<b>9 Muovin vaikutukset meriympäristössä .....</b>	<b>37</b>
9.1 Suorat eliöstövaikutukset .....	37
9.2 Habitaattivaikutukset.....	40
9.3 Vieraslajien ja taudinaiheuttajien kulkeutuminen .....	40
9.4 Haitallisten yhdisteiden biokertyminen .....	41
9.5 Kulkeutuminen .....	42
9.6 Sosioekonomiset vaikutukset .....	42
9.6.1 Vaikutukset kalastukseen, vesiviljelyyn ja veneilyyn.....	42
9.6.2 Vaikutukset turismiin .....	43

<b>10 Roskaantumisen hallintakeinot.....</b>	<b>45</b>
10.1 Jätehuolto .....	45
10.2 Tuottajat ja teollisuus.....	46
10.3 Taloudelliset ohjauskeinot.....	46
10.4 Kuluttajat ja turismi .....	47
10.5 Kunnostus .....	48
10.6 Kalastus ja vesiviljely .....	48
<b>11 Toimijat .....</b>	<b>49</b>
11.1 UNEP .....	49
11.2 Kansainväliset sopimukset .....	50
11.2.1 MARPOL .....	50
11.2.2 UNCLOS .....	50
11.2.3 Lontoon sopimus ja protokolla.....	51
11.2.4 Baselin sopimus .....	51
11.2.5 Tukholman sopimus .....	51
11.2.6 Rotterdamin sopimus .....	51
11.2.7 Honolulun strategia .....	52
11.2.8 Biodiversiteetin suojelun ja kestävän käytön sopimus .....	52
11.3 EU .....	52
11.4 HELCOM .....	53
11.5 OSPAR.....	54
11.6 Suomi .....	54
<b>Yhteenveto .....</b>	<b>55</b>
<b>Lähteet.....</b>	<b>56</b>

# 1 Yleistä merten roskaantumisesta

Merten roskaantuminen on viime aikoina yhä suurempaa huomiota saanut ympäristöongelma. Valtamerillä ongelma alettiin tiedostaa jo 1970–1980 -luvuilla, jolloin Atlantilta ja Tyyneltä valtamereltä löydettiin veden pintakerrokseen muodostuneet laajat jätepyörteet. Suurempia jätekasauksia esiintyy nykyisin viidessä subtrooppisessa pyörteessä, jotka sijaitsevat Pohjois- ja Etelä-Atlantilla, Pohjoisella ja Eteläisellä Tyynellämerellä sekä Intian valtamerellä (kuva 1). Erään tutkimuksen mukaan myös kuudennen jätepyörteen muodostuminen Barentsinmerelle olisi mahdollista (Van Sebille ym. 2012). Myös rannikon läheisyydessä tietyllä maantieteellisillä alueilla on merkittäviä roskakeskittymiä eli ns. hot spot -alueita. Paljon käytetty nimitys ”jätelautat” on sinänsä hämäävä, sillä näillä kerääntymisalueilla ei ole mitään kiinteitä, yhtenäisiä, silmin tai satelliitista havaittavia lauttoja, vaan vesipatsaaseen on sekoittunut runsaasti pieneksi jauhautunutta materiaalia etenkin muovia, mikä muistuttaa lähinnä eräänlaista muovikeittoa (plastic soup). Roskat kulkeutuvat kyseisille alueille pitkiäkin matkoja merivirtojen kuljettamina (UNEP 2009). Myös pohjoisilla merialueilla näiden merivirtojen vaikutus on varsin merkittävä. Etenkin Skagerrakin alueella Atlantin virtausten on havaittu aiheuttavan meriroskan kertymistä alueelle. Myös



Kuva 1. Merivirtojen muodostamat pyörteet (Lähde Bowditch ym. 2002)

Itämereltä työntyvällä vähäsuolaisella pintavedellä voi olla vaikutusta siihen, että alueelle kertyy erityisen paljon roskaan. Toisaalta Kattegatin ja Ison-Beltin alueelta tunkeutuva suolaisempi merivesi voi puolestaan kuljettaa avomereltä peräisin olevaan roskaa toisaalta myös pidemmälle Itämerelle (Strand ym. 2015).

Kaiken kaikkiaan meriroskat voivat koostua useista erilaisista kiinteistä materiaaleista kuten muovista, kumista, metallista, paperista, tekstiileistä jne. Kelluvasta roskasta valtaosa on muovia. Mereen päädyttyään roskat voivat olosuhteista riippuen säilyä siellä pitkään. On arvioitu, että esim. tupakantumpit säilyvät 1–5 vuotta, muovikassit 20–30 vuotta, alumiinitölkit 80–500 vuotta ja lasi- sekä muovipullot tätäkin pidempään (UNEP/IOC 2009). Roskien hajoamiseen vaikuttavat materiaalin lisäksi mm. lämpötilaolot, auringon valo ja etenkin UV-säteilyn tasot, happipitoisuus, pH sekä mekaaniseen hajoamiseen vaikuttavat tekijät kuten aallokko, hiekka, sora ja kivet. Itämerellä roskaantuminen ei ole yhtä näkyvä ongelma kuin valtamerillä, mutta roskia löytyy silti kaikkialta meriympäristöstä.

Teollisuuden, kansalaisjärjestöjen, päättäjien sekä asiantuntijoiden kesken vallitsee selvä yksimielisyys siitä, että roskat ja etenkin muovi eivät kuulu meriympäristöön (Wurpel ym. 2011). Nyky-yhteiskunta on kuitenkin äärimäisen riippuvainen muovista. Kasvava kertakäyttöisten ja vähäarvoisten muovituotteiden kulutus ja tuotanto kuormittavatkin väistämättä meriympäristöämme. Roskaantumisongelman laajuudesta ja sen erilaisista haittavaikutuksista vallitsee kuitenkin yhä erimielisyyksiä ja epävarmuutta (Wurpel ym. 2011). Roskat myös päätyvät meriympäristöön hajakuormituksena monista eri lähteistä, minkä vuoksi päästöjen hallinta on selvästi hankalampaa, kuin yksittäisissä pistekuormituslähteissä. Tällaisten ns. ihmiskunnan yhteisten ongelmien kohdalla tilannetta vaikeuttaa usein se, ettei mikään yksittäinen taho ole valmis tekemään aloitetta ongelman ratkaisemiseksi (Wurpel ym. 2011). Näin ollen roskaantuminen onkin erittäin monimutkainen ja monitahoinen ongelma, minkä ratkaiseminen vaatii useiden eri sektoreiden kansainvälistä yhteistyötä.

## 2 Muovin tuotanto

Muovi on syrjäyttänyt aina 1950-luvulta lähtien enenevässä määrin perinteisesti käytettyjä materiaaleja kuten kiven, metallin, puun ja betonin useilla eri sektoreilla (mm. rakentaminen, kuljetus, kotitaloudet sekä pakkausteollisuus). Muovin etuina ovat mm. sen kestävyys, keveys ja muokattavuus. Sillä on etuja myös mm. elintarvikkeiden säilyvyyden ja hygieenisyyden, sähkölaitteiden turvallisuuden, raskaiden kulkuvälineiden kuten lentokoneiden polttoaineen kulutuksen vähenemisen kannalta. Valitettavasti riittämättömät toimenpiteet etenkin tuotteiden elinkaaren loppupäässä on aiheuttanut sen, että muovista on tullut myös vakava ongelma ympäristön kannalta. On kuitenkin huomattava, että muoveja "vuotaa" ympäristöön sen kaikista elinkaarenvaiheista.

Muoveista tehdään erilaisia tuotteita, jotka helpottavat arkista elämäämme (taulukko 2). Pakkausteollisuus käsittää muoviteollisuudesta maailmanlaajuisesti noin 30 % (Euroopassa noin 39 %) ja valtaosa sen tuotteista on kertakäyttöisiä (taulukko 1). Kaiken kaikkiaan noin 50 % muovituotannosta menee kertakäyttöisten tuotteiden valmistukseen, josta puolestaan muodostuu suunnaton määrä roskaa (Niva 2014).

Muovin tuotanto on kasvanut nopeasti viimeisten vuosikymmenten aikana. Muovituotannon on arvioitu kasvavan 1,5 miljoonasta tonnista (1950) noin 735 miljoonaan tonniin (2050) kuluvan sadan vuoden aikana (EC 2013). Vuonna 2014 muoveja tuotettiin maailmanlaajuisesti 311 miljoonaa tonnia (PlasticsEurope 2015). Ylivoimaisesti eniten vuonna 2010 tuotettiin polyeteeniä (PE 73 miljoonaa tonnia), polyetylenitereftalaattia (PET 53 miljoonaa tonnia), polypropyleeniä (PP 50 miljoonaa tonnia) ja polyvinyylikloridia (PVC 35 miljoonaa tonnia). Myös polystyreenia (PS mukaan lukien paisutettu polystyreenin EPS) ja polyuretaania (PUR) tuotettiin merkittäviä määriä. Euroopassa muovilajujen suhteelliset osuudet poikkeavat hieman globaalista (taulukko 3). Muoveista tuotetaan kaikkiaan 25 % Euroopassa (EU sekä Norja ja Sveitsi), 23 % NAFTA-maissa (Yhdysvallat, Kanada ja Meksiko), 16,5 % Aasiassa, 15 % Kiinassa, 8 % Lähi-Idässä, 5,5 % Japanissa, 4 % Etelä-Amerikassa ja loput 3 % muualla maailmassa (GESAMP 2010).

**Taulukko 1.** Muovien käyttöosuudet eri sektoreilla EU:ssa, mukaan lukien Norja ja Sveitsi (PlasticsEurope 2015).

Sektorit	Käyttöosuudet
Pakkausteollisuus	39.5%
Rakennusteollisuus	20.1%
Autoteollisuus	8.6%
Elektroniikkateollisuus	5.7%
Maatalous	3.4%
Muut*	22.7%

\*Kategoria muu sisältää terveydenhuollon, kuluttajatuotteet ja kodinkoneet, huonekalut, turvallisuus- sekä urheiluvälineet. Neljä yleisimmin käytettyä muovilajia Euroopassa (PP, LD/LLD-PE, HD/MD-PE, PVC) kattavat 60 % kaikesta muovien käytöstä.

**Taulukko 2.** Erilaisia muovilaatua ja niiden yleisimpiä käyttökohteita (Hansen ym. 2013).

Luokka	Yleisimmät käyttötarkoitukset
<b>Polyeteeni</b> (Polyethylene <b>PE</b> )* <b>Suuri tiheyksinen polyeteeni</b> (High density polyethylene <b>HD-PE</b> ) ( <b>lineaarinen</b> ) <b>pieni tiheyksinen polyeteeni</b> (Low density polyethylene <b>LD-PE</b> , Linear Low density polyethylene <b>LLD-PE</b> )	Pakkausmuovit, keittiövälaineet, lelut, pullot, kaapelieristeet, muovikassit, kuljetuslaatikot, suojakypärät, six-pack-renkaat, vaihteistot, kalanviljelyssä käytettävät häkit, juomavesiputket, jäteastiat jne.
<b>Polypropyleeni</b> (Polypropylene <b>PP</b> )	Köydet, pullonkorkit, vaihteistot, vanteet, kuluttajapakkaukset, huonekalut, keittiötarvikkeet, matkalaukut, kanisterit, lelut, säilytysboksit, kertakäyttömukit, tarjottimet, puutarhakalusteet, putket, levyt, kaapelieristeet jne.
<b>Styreenibutadieenikumi</b> (Styrene-butadiene rubber <b>SBR</b> )	Huopakatot, autonrenkaat
<b>Paisutettu Polystyreeni</b> (Expanded polystyrene <b>EPS</b> , Extruded polystyrene <b>XPS</b> )	Elintarvikkeiden ja kosmetiikan kertakäyttöpakkaukset, kertakäyttöastiat, CD- ja DVD-kotelot jne. Kalastuksessa käytettävät syöttilaatikat, kellukkeet, pelastusliivit, eristemateriaalit jne.
<b>Polystyreeni</b> (Polystyrene <b>PS</b> ) <b>Iskunkestävä polystyreeni</b> (High-Impact Polystyrene <b>HIPS</b> )	Astiat, kanisterit, pakkausmateriaalit jne. elektroniikka ja lääketieteelliset sovellukset (HIPS) jne.
<b>Akryylinitriilibutadieenistyreeni</b> (Acrylonitrile butadiene styrene <b>ABS</b> )	Elektroniikka ja sähkölaitteet, autojen sisätilat, lelut (rakennuspalikat jne.), matkalaukut, kylmälaukut, ovenkahvat jne.
<b>Akryyli</b> (Acryl)	Maalit, pakkausmateriaalit jne.
<b>Polyvinyylikloridi</b> (Polyvinyl chloride <b>PVC</b> )	Filmit, putket, kanisterit, poijut, ikkunakarmit, rakennuksissa käytettävät paneelit, sähkökaapelit, pullot, pakkausmateriaalit, keinoahka, pallot, nuket, lelut, matot, tiivistelastat, kaapelieristeet kodinkoneet, elektroniikka, huonekaluista jne.
<b>Polyamidi tai nylon</b> (Polyamide <b>PA</b> )	Vaihteistot, kalanviljelyssä käytettävät verkot, köydet, keittiökoneet ja tarvikkeet jne.
<b>Polyuretaani</b> (Polyurethane <b>PUR</b> )	Eristeet, huonekalut, matot, lattiapäällysteet jne.
<b>Poly(laktaattihappo)</b> (Polylactic acid <b>PLA</b> )	Pakkausmateriaalit, kupit,
<b>Selluloosa-asettaatti</b> (Cellulose acetate)	Tupakan filterit
<b>Polyetylenitereftalaatti</b> (Polyethylene terephthalate <b>PET</b> ; <b>PET-A</b> , <b>PET-C</b> ) <b>Polyesteri</b> (Polyester)	Pullot (PET-A), vanteet, vaihteistot, läpipainopakkaukset (PET-A), tekstiilit (PET-C), pikaruoka pakkaukset (PET-C)
<b>Polybutyleenitereftalaatti</b> (Polybutylene terephthalate <b>PBT</b> )	Kokolattiamatot
<b>Polytetrafluorietyleni</b> (Polytetrafluoroethylene <b>PTFE</b> , <b>teflon</b> )	Lentokoneiden elektroniikkasovellukset, filterit, paistinpannut, tiivisteet, pinnoitteet jne.
<b>Polykarbonaatti</b> (Polycarbonates <b>PC</b> )	Turvalasit, autojen valokotelot, pyöräilykypärät, ruokapakkaukset jne.
Polysulfoni (Polysulfone <b>PSU</b> )	Membraanit
<b>Polymetametyyliakrylaatti</b> (Polymethyl methacrylate <b>PMMA</b> )	Ikkunalasit, auton valot, sisä- ja ulkovalolamput, turvalasit, silmälasien linssit

\*PE-muovien eri muotoja

Euroopassa PP-muovia käytettiin vuonna 2015 hieman yli 9 miljoonaa tonnia, PE-muoveja (PE-LD/PE-LLD & PE-HD/PE-MD) noin 14 miljoonaa tonnia, PVC-muoveja lähes 5 miljoonaa tonnia, PUR:a noin 3,6 miljoonaa tonnia, PET-muovia hieman yli 3 miljoonaa tonnia ja PS:ä noin 2 miljoonaa tonnia (PlasticsEurope 2015). Muiden muovien tarve oli noin 11,2 miljoonaa tonnia.

Arviolta noin puolet tuotetusta muovista kierrätetään tai päättyy kaatopaikoille. Jäljelle jäävästä noin 150 miljoonasta tonnista osa on edelleen käytössä tai päätynyt roskina ympäristöön (Strand ym. 2015). Koska meressä olevan muovin määrä kulkee käsi kädessä tuotetun muovin kanssa, myös merten roskamäärän ennustetaan kasvavan, ellei erilaisiin toimenpiteisiin ryhdytä välittömästi.

**Taulukko 3.** Kuuden tyypillisimmän muovin tuotanto-osuudet Euroopassa, Norja ja Sveitsi mukaan lukien (PlasticsEurope, 2015)

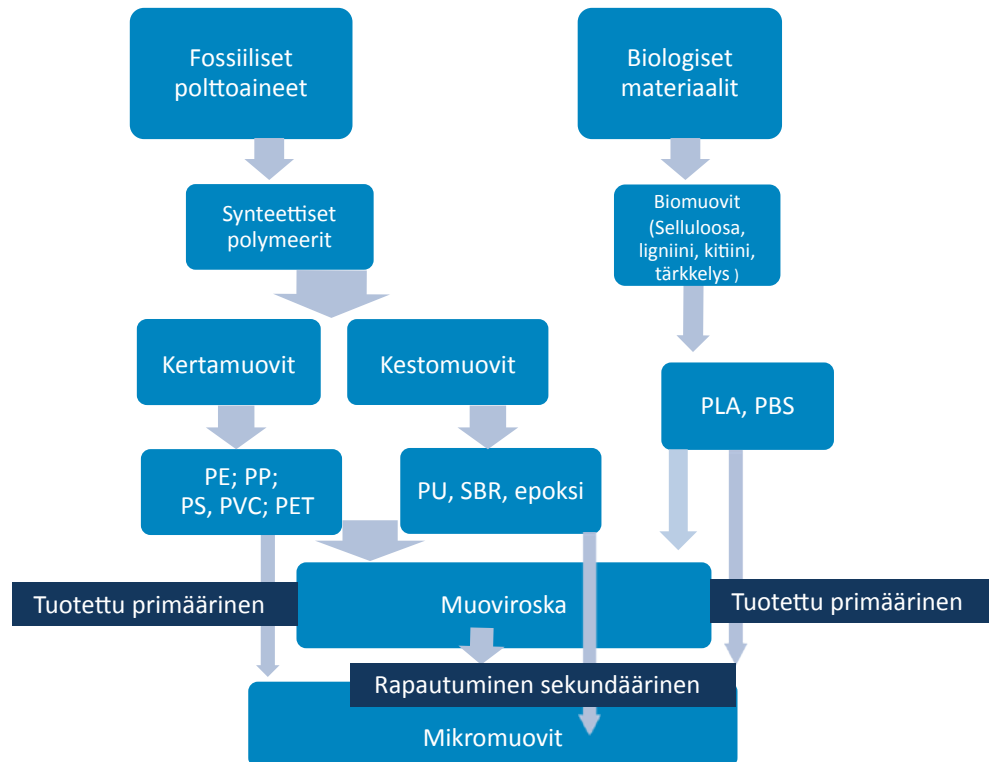
<b>Muovityyppi</b>	<b>%</b>
Muut PTFE, ABS, PC, etc.	19,7
HD-PE	12,1
LLD-PE, LD-PE	17,2
PP	19,2
PVC	10,3
PS, EPS	7
PUR	7,5
PET	7



### 3 Yleistä muovista

Muovien laajamittainen tuotanto alkoi jo 1950-luvulla (Kershaw 2016). Sana muovi viittaa usein ryhmään erilaisia synteettisiä polymeerejä, jotka on prosessoitu fossiilisista polttoaineista. Yli 90 % tuotetuista muoveista valmistetaan nimenomaan fossiilisista polttoaineista. Tämä vastaa noin 6 % maailman öljyntuotannosta, ollen yhtä suurta ilmailusektorin tarvitseman polttoainekulutuksen kanssa (Ellen McArthur Foundation 2016). Mikäli muovin kulutus kasvaa ennustetulla tavalla, tarkoittaa se myös fossiilisten polttoaineiden kulutuksen kasvua. Onkin arvioitu, että vuonna 2050 muoviteollisuuden tarvitsema osuus maailman öljyntuotannosta olisi jo 20 % (Ellen McArthur Foundation 2016).

Erlaisilla polymeereillä on erilaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat niiden käyttäytymiseen ympäristössä. Muovit jaetaan usein kertakäyttö- (termosets) ja kestopuoveihin (thermoplastics). Kestomuoveja voidaan käyttää ja muovata uudelleen, kun taas kertakäyttömuovien osalta se ei ole mahdollista. Kertakäyttömuoveista esimerkkinä ovat mm. polyuretaani (PUR), epoksihartsit sekä erilaiset pinnoitteet (kuva 2). Kestomuoveja ovat puolestaan mm. polyeteeni (PE), polyetylenitereftalaatti (PET), polypropyleeni (PP), polyvinyylikloridi (PVC) ja polystyreeni (PS, sis. paisutetun polystyreenin EPS). Muovit, joita suunnitellaan ja valmistetaan kestävämpiin tarkoituksiin sisältävät usein erilaisia lisäaineita, joiden tarkoituksena on parantaa niiden laatua.



**Kuva 2.** Kaavakuva muoviraaka-aineiden, laatujen ja mikromuovien muodostumisen suhteesta. HUOM! Nuolten paksuuksilla ei ole merkitystä. (Kuva muokattu alkuperäisen: *Biodegradable plastics*, Kershaw 2015 pohjalta).

## 4 Mikromuovit

Mikroroskaksi kutsutaan yleisesti alle 5 mm:n kokoista roskaa (National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, Arthur ym. 2009), jonka ekologiseen merkitykseen on alettu kiinnittää erityistä huomiota vasta viimeisen vuosikymmenen aikana. Mikroroskan näytteenotto tapahtuu pääasiassa näytteenottimilla, joiden suodatin koko on 300 µm (0,3 mm). Tämä usein asettaa alarajan mikromuoveille. GESAMP:n (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) määritelmä mikromuoveille on lähes sama, mutta sillä alarajana on 1 nm. Tätä pienemmät partikkelit on luokiteltu puolestaan nanomuoveiksi. Mikromuovien luokittelu ei tällä hetkellä ole täysin yhdenmukaista, sillä joidenkin lähteiden mukaan nanomuoveiksi luokitellaan alle 1 µm mittaiset kappaleet (taulukko 4). Näin ollen muoviroskan ja mikromuovien seuranta ja luokituksia tulisikin yhdenmukaistaa, jotta eripuolilta maailmaa saatavat tulokset olisivat vertailukelpoisia. Nanomuovien tutkiminen on vasta alussa, eikä niiden määrittämiseen ympäristössä ole vielä olemassa riittävän tehokasta laitteistoa tai analytiikkaa. Nanomuovit on kuitenkin tiedostettu merkittäväksi lähitulevaisuuden tutkimushaasteeksi, sillä pienen kokonsa ansiosta ne voisivat läpäistä eliöiden solukalvot, aiheuttaen näin potentiaalisesti huomattavasti merkittävämpiä eliöstövaikutuksia kuin mikromuovit.

**Taulukko 4.** Mikromuovien luokittelu (Niva 2014).

Luokittelu	Koko (mm)
Mesomuovit	5 -50
Mikromuovit	1-10 / 1-5
Nanomuovit	< 0,001

Mikromuovit voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan; primäärisiin ja sekundäärisiin mikromuoveihin. Primäärisillä mikromuoveilla tarkoitetaan tiettyjä tarkoituksia varten tuotettuja tai sellaisenaan käytettäviä mikromuoveja. Tällaisia ovat esim. muovin valmistuksen raaka-aineena käytetyt pelletit (kuva 3), kosmetiikassa käytettävät muovirakeet sekä tulostimien musteissa ja "hiekkapuhalluksessa" käytetyt muovirakeet jne.

Sekundäärisillä mikromuoveilla tarkoitetaan puolestaan suuremmista muovikappaleista pieneksi pilkkoutunutta muovia esim. UV-valon, lämpötilamuutosten sekä rapautumisen ansiosta. Lisäksi sekundäärisiin mikromuoveihin luetaan kuuluvaksi mm. tekstiilien sisältämät keinokuidut, jotka voivat päästä meriympäristöön niiden pesun yhteydessä.

Muovien hajoaminen meriympäristössä pienemmiksi partikkeleiksi tapahtuu tehokkaimmin rannoilla sekä veden pintaosissa. Hitainta se on puolestaan pohjaan päätyneen muovin osalta. Tällä hetkellä ei ole olemassa menetelmiä mikromuovipartikkeleiden iänmäärittämistä varten, minkä johdosta varsinaisesta hajoamisdynamiikasta ja sen kestosta ei juurikaan tiedetä. Polymeerien tyyppi, erilaiset lisäaineet sekä ympäristötekijät vaikuttavat kaikki yhdessä muovien hajoamisnopeuteen meriympäristössä. On kuitenkin arveltu, että iältään vanhemmat mikromuovipartikkelit olisivat väriltään kellertäviä. Tämä johtuu osittain mm. siitä, että niistä olisi hävinnyt mahdolliset muoviin lisätyt väriaineet.



**Kuva 3.** Muovin valmistuksessa käytettäviä pellettejä (Lähde: NOAA's Marine Debris Program)

Kuten suurempikin kelluva muoviroska, myös mikromuovipartikkelit voivat kulkeutua pitkiä matkoja virtausten mukana. Ne saattavat toimia vektoreina mm. erilaisille tulokaslajeille, taudinaiheuttajille sekä haitallisille yhdisteille. Mikäli muovipartikkelin pintaan pääsee kiinnittymään erilaisia organismeja ns. biofilmiksi, partikkelin kelluvuusominaisuudet voivat muuttua ja se saattaa alkaa vajoamaan syvempiin vesikerroksiin. Syvemmissä kerroksissa UV-valon vaikutus lakkaa ja partikkelin hajoaminen hidastuu (GESAMP 2015). Mikropartikkeleiden päästölähteiden, kulkeutumisen sekä esiintymisalueiden (vertikaalinen, horisontaalinen, maantieteellinen) selvittäminen on tärkeää, niin vaikutus- ja riskinarvioinnin kuin mahdollisten päästövähennyskeinojen osalta.

Tietoa mikromuovien esiintymisestä on saatu mm. kansainvälisestä pellettiseurannasta (International Pellet Watch IPW). Hankkeessa on raportoitu rannoilta otetuista näytteistä havaitut muovipelletit, jotka on helppo tunnistaa ja joita seurataan niiden sitomien haitallisten yhdisteiden esiintymisen vuoksi (Ogata ym. 2009). Rantojen sedimentissä mikromuovien on havaittu esiintyvän jopa 2 m syvyydessä asti. Lisäksi on arvioitu, että litoraalialueilla mikromuovien määrä olisi jopa suurempi kuin rantaviivan tuntumassa (Thompson ym. 2004).

Joissain tapauksissa on mahdollista jopa linkittää mikromuovien esiintyminen tiettyyn toimijaan. Tästä on esimerkkinä EPS:n esiintyminen sellaisilla alueilla, joissa harjoitetaan runsaasti vesiviljelyä. EPS-rakeet ovat peräisin vesiviljelyssä käytettävistä kellukkeista. Muilla alueilla mikromuovien esiintymisessä ei yleensä ole olemassa vain yhtä näin selvästi vallitsevaa muovimateriaalia (Kershaw 2016). Toisaalta Pohjoismaissa tehdyt kenttätutkimukset osoittavat, että Ruotsissa ja Norjassa on yhä olemassa sekä historiallisia että aktiivisia muovipellettien suoria ympäristöpäästöjä. Eräs esimerkki on Norjan länsirannikolla sijaitsevan lahti, jossa tutkijat olivat selvittämässä palonsuoja-aineena käytetyn HBCD:n biokertymistä polystyreenitehtaan ulkopuolella. He havaitsivat sattumalta sedimentissä myös runsaasti tehtaasta päässeitä polystyreenirakeita (Sundt ym. 2014). Tämä kertoo siitä, että kevyet polystyreenirakeet kulkeutuvat helposti ympäristöön, mikäli jätteiden tai jätevesien käsittely ei ole riittävän tehokasta.

## 5 Biomuovit ja biohajoavat muovit

### 5.1 Biomuovit

Synteettisiä polymeerejä voidaan valmistaa joko fossiilisista polttoaineista tai uusiutuvista materiaaleista, kuten esim. selluloosasta, ligniinistä, kitiinistä, villasta tai tärkkelyksestä. Biopohjaisten materiaalien käyttö ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita sitä, että nämä muovit olisivat biohajoavia, sillä molemmista raaka-aineista voidaan valmistaa sekä ei-biohajoavia että biohajoavia muoveja. Esimerkiksi bio-PE ja bio-PET on kehitetty jäljittelemään alkuperäisiä materiaaleja, joiden kestävyys ja elinaika ovat lähes samanlaisia.

### 5.2 Biohajoavat muovit

Biohajoavalla tarkoitetaan sitä, että materiaali käy läpi anaerobisen tai aerobisen hajoamisen, jossa syntyy prosessin ympäristöolosuhteista riippuen hiilidioksidia, vettä, metaania, biomassaa ja mineraalisuoloja (kutsutaan myös mineralisaatioksi). Tällä hetkellä myynnissä oleviin ns. biohajoaviin muoveihin tulee kuitenkin suhtautua varauksella, sillä joidenkin niiden hajoaminen voi olla vain mekaanista hajoamista, aina vain pienemmiksi partikkeleiksi, eikä täydellistä hajoamista hiilidioksidiksi tai metaaniksi, vedeksi sekä biomassaksi. Mikäli muovituote on luokiteltu biohajoavaksi, tulee sen täyttää jonkun seuraavan standardin vaatimukset ASTM 6400 (USA), EN 13432 (Eurooppa) tai ISO 17088 (Kansainvälinen). Standardeissa on määritelty mm. ne olosuhteet (lämpötila yli 50 °C, pH jne.), joissa muovin tulisi hajota. Esim. standardin EN 13432 mukaan muovimateriaalin tulee hajota 90 % prosenttisesti hiilidioksidiksi kuuden kuukauden kompostoinnin aikana, eikä yli 30 % jäännöksestä saa jäädä 2 mm:n seulaan kolmen kuukauden kompostoinnin jälkeen. On huomioitavaa, että biohajoavaa muovia ei voida tällä hetkellä kierrättää, sillä pienetkin määrät muovien kierrätysprosesseihin joutunutta tärkkelystä voi pilata suuria eriä polyeteeniä (Mattila ym. 2009).

Standardeihin määritellyt tarkkaan säädellyt olosuhteet tarkoittavat kuitenkin sitä, että nykyiset ns. biohajoavat muovit eivät välttämättä hajoa päädyttyään esimerkiksi meriympäristöön, jossa olosuhteet ovat varsin erilaiset. Näin ollen olisi erittäin tärkeää määrittää se ympäristö, jossa biohajoaminen on tarkoitus tapahtua (kassi-info 2016). Muutamien maaperässä biohajoavien muovilaatujen (asetyyliiselluloosa (AcC), polybutyleenisukkinaatti (PBS), polykaprolaktoni (PCL), polyetyleenisukkinaatti (PES), polyvinyylialkoholi (PVA)) on todettu hajoavan osittain myös meriympäristössä, mutta huomattavan paljon hitaammin. Muovimateriaalista riippuen hajoamisen huomattiin alkavan vasta noin 12–24 kuukauden kulutta, meriympäristöön päätyneen jälkeen (Kershaw 2015). Biohajoavien muovien ei ole huomattu vähentävän merkittävästi meriin päätyvien muovien kuormaa, eikä toisaalta ole myöskään näytettyä siitä, että niiden fyysikaalis-kemialliset vaikutukset meriympäristöön olisivat

pienemmät (Kershaw 2015). Onkin arvioitu, että biohajoaviksi luokiteltujen muovien suuret käyttömäärät tulevat lisäämään merten roskaantumisongelmaa entisestään lähivuosina (Kershaw 2015).

### 5.3 Okso-hajoavat muovit

Okso-hajoavat muovit on tehty materiaaleista, jotka sisältävät tiettyjä lisäaineita. Nämä lisäaineet toimivat katalysaattoreina pilkkoen muovimateriaalit mikrorakeisiksi muovikappaleiksi. Okso-materiaalista valmistetut tuotteet pilkkoutuvat siis aina vain pienemmiksi partikkeleiksi, mutteivät hajoa täydellisesti hiilidioksidiksi tai metaaniksi, vedeksi sekä biomassaksi. Okso-raaka-aineista valmistetut tuotteet eivät missään tapauksessa sovellu kompostointiin tai biojätekeräykseen (kassi-info 2016).

## 6 Meriroskan lähteet

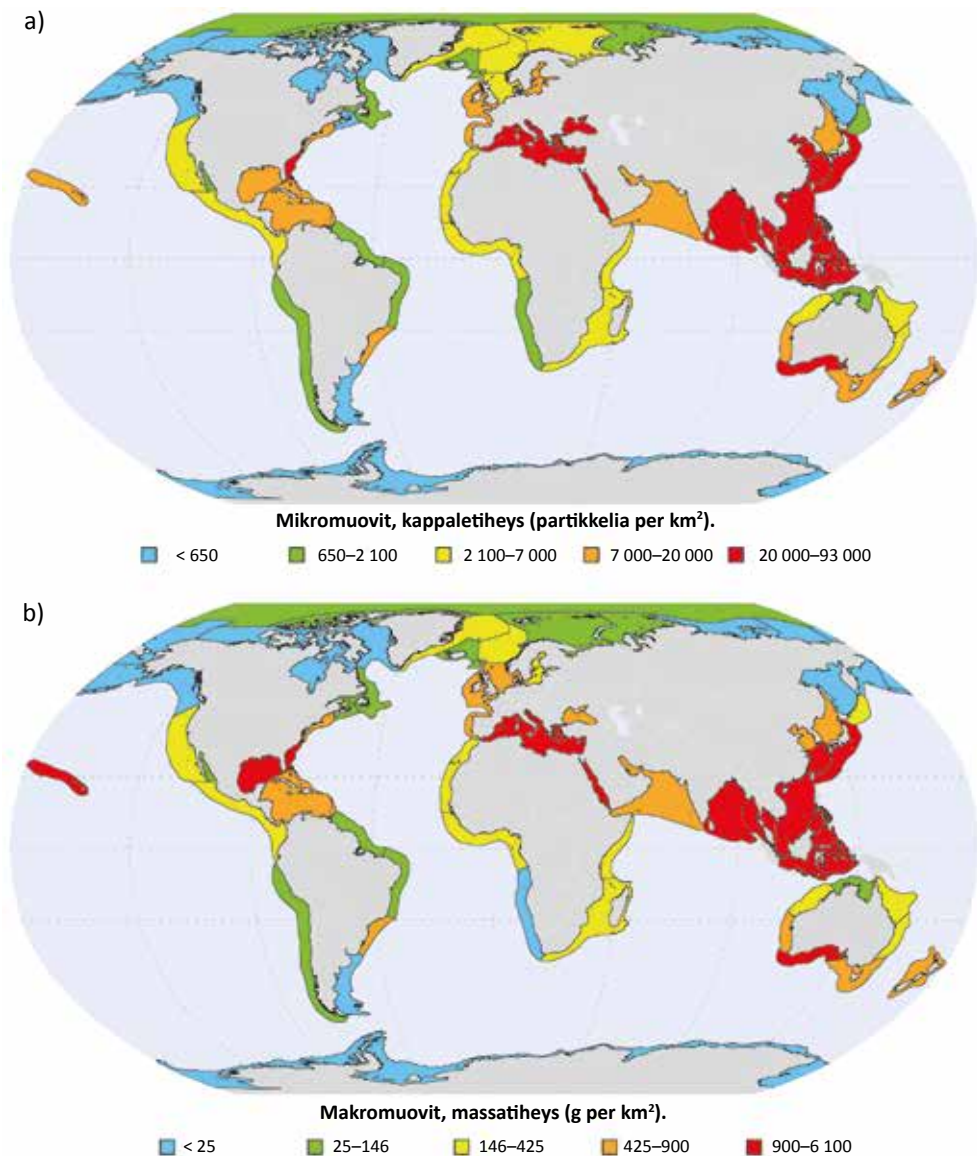
Avioiden mukaan valtaosa (80 %) merten roskasta on peräisin maalla olevista lähteistä ja koostuu pääasiassa (60–80 %) muovista (Derraik 2002, Thompson ym. 2004, Barnes ym. 2009, Andrady 2011). Merkittävimpiä, maalta peräisin olevia päästölähteitä ja kulkeutumisreittejä ovat mm. huonosti hoidetut kaatopaikat, hulevedet, jätevedenpuhdistamot, roskaaminen sekä laitton roskien dumpsaus rannikoiden läheisyyteen (Watkins ym. 2015). Myös jokien rooli roskien kuljettajana voi olla merkittävä. Eniten muovirooskaa löytyy tiheään asuttujen alueiden lähistöiltä, mutta kaukaisemmatkaan alueet eivät ole säästyneet roskaantumiselta, sillä roskat voivat ajelehtia virtausten mukana pitkiäkin matkoja. Nykyään etenkin muovirooskaa löytyy kaikkialta meriympäristöstä, niin rannoilta, vesipatsaasta, eliöstöstä kuin meren pohjasta.

Merellä syntyvien roskapäästöjen osuus on noin 20 %. Nämä suhteet maa- ja merisyntyisten roskien osalta voivat kuitenkin vaihdella alueellisesti. Esimerkiksi Itämerellä maalta peräisin olevien roskien osuuden arvellaan olevan 71 % ja merisyntyisten 29 % (Arcadis 2013). Itämeren roskista arviolta 19 % kulkeutuu kauempaa, kun taas rannikon turismin osuus roskaantumisesta on noin 24 % ja vapaa-ajan kalastuksen puolestaan 14 % (Arcadis 2013). Nämä ovat kuitenkin vielä vasta arvioita, eri toimien todelliset osuudet selviävät tarkempien tutkimusten myötä.

Viiden valtameren jätepyörteen lisäksi meriroskien muut keskittymät eli ns. hot spot-alueet syntyvät usein sellaisille alueille, joissa asukastiheys rannikon läheisyydessä on suuri. Lisäksi näillä alueilla esiintyy erilaisia luonnonkatastrofeja (tsunamit, hirmumyrskyt jne.), jotka voivat osaltaan ajoittain lisätä mereen päätyvien roskien määriä. Kyseisillä alueilla myös merellä tapahtuvat aktiviteetit kuten kalastus, vesiviljely ja liikenne ovat merkittävässä roolissa (kuva 4).

Yksi suurimpia meriroskan tutkimisen haasteita on edelleen tiedon puute potentiaalisista päästölähteistä, roskien liikkeistä meriympäristössä sekä kuormitusmääristä. On arvioitu että mereen päätyvästä roskasta noin 70 % vajoaa pohjaan, 15 % jää kellumaan vesifaasiin ja 15 % ajautuu rannoille (UNEP 2005). Mikromuovit esiintyvät merissä harvoin yksin. Ne muodostavat usein ns. ”muovikeittoa” (plastic soup), jossa esiintyy runsaasti erikokoisia ja eri muovilaatuja olevia partikkeleita. Tämän vuoksi todellisten päästölähteiden selvittäminen on usein äärimmäisen hankalaa. Varsinaiseen näytteenottoon liittyy myös haasteita, sillä mm. haavin tai suodattimen koko usein määrittää sen, minkä kokoisia partikkeleita tarkastelun kohteeksi päätyy. Näin ollen liian karkeilla näytteenottimilla saattavat pienimmät partikkelit jäädä havaitsematta, jolloin myös osa potentiaalisista päästölähteistä voi jäädä huomioimatta. Myös näytteenottopaikka (vesipatsas, pintavesi tai merenpohja) vaikuttaa tuloksiin, sillä raskaammat muovilaadut löytyvät usein merenpohjasta. Näin ollen päästölähteiden tunnistaminen voisi auttaa myös kenttätarkasteluja sekä arvioimaan luotettavammin kunkin lähteen osuutta kuormittajina.





**Kuva 4.** Arvio mikro- ja makroroskien esiintymisen hot spot -alueet rannikoiden läheisyydessä. Esiintymiseen vaikuttavat mm. asukastiheys, kaupungistuminen, luonnonkatastrofit, puutteellinen jätehuolto sekä merellä tapahtuvat aktiviteetit kuten kalastus, vesiviljely ja liikenne (Lähde Kershaw, P., Lebreton, L. 2016).

Itämeren roskaantumisen kannalta suurimmat maalta peräisin olevat päästölähteet ovat meren ja rantojen virkistyskäyttö, jokien tuoma kuormitus, jätevesipuhdistamoiden ohijuoksutukset ja purkuvedet, hulevedet sekä roskien dumpkaus. Suurimmiksi merisyntyisiksi roskalähteiksi ovat osoittautuneet puolestaan kauppa-alukset, kalastus ja huviveneily (Blidberg ym. 2015). Mikrokokoista roskaa päätyy mereen etenkin isommasta muoviroskasta hiljalleen rapautumalla, mutta myös hygieniatuotteiden kuten hammastahnojen, kosmetiikan ja kuorintavoiteiden käytöstä. Karanneiden kalanpyydysten eli ns. haamuverkkojen määrää on kartoitettu Etelä-Itämerellä ja niitä on myös poistettu muun muassa Puolan aluevesiltä tuhansia tonneja. Suomessa suunnitellaan paraikaa haamuverkkomäärien kartoitusta, ja mahdollisia poistotoimia.



## 6.1 Merisyntyiset roskat

Roskat päätyvät mereen useista eri lähteistä, sillä tuotteita ja materiaaleja voi karata tuotannon/prosessoinnin, kuljetuksen ja hävittämisen aikana. YK:n ympäristöohjelma UNEP on puolestaan listannut vuonna 2005 merkittävimmät päästölähteet, jotka jakautuvat maalta peräisin oleviin lähteisiin sekä merellä syntyviin lähteisiin. Suurimmat merellä syntyvät roskalähteet ovat a) kauppa-alukset, matkustajalaivat sekä -lautat, b) kalastusalukset, c) sotilas- ja tutkimusalukset, d) huviveneily, e) öljynporausrakennukset ja f) vesiviljely (kuva 5).



**Kuva 5.** Merisyntyisiä roskia kerättyinä kasoiksi rannalla (Kuva: NOAA PIFSC Coral Reef Ecosystem Program).

### 6.1.1 Meriliikenne, sotilas- ja tutkimusalukset, öljynporausrakennukset

Meriliikenteestä tai merellä olevasta toiminnasta ei suoria muoviroskapäästöjä mereen tulisi enää tapahtua MARPOL-sopimuksen (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) liitteen V tultua voimaan 31 joulukuuta 1988 (GESAMP 2010). Tämä koskee myös kansainvälisiä merialueita. Valitettavasti on kuitenkin viitteitä siitä, että jossain määrin laitton jätteiden dumpkaus mereen jatkuu edelleen. Rantaviivan tuntumassa tehdyt tutkimukset ovat nimittäin osoittaneet, että etenkin ruuhkaisilla laivareiteillä kuten Eteläisellä Pohjanmerellä tai Rotterdamin edustalta on löytynyt paljon nimenomaan aluksista peräisin olevia roskia (Kershaw 2016). Lisäksi merenkulkuolosuhteista tai virheellisestä lastauksesta riippuen, aluksista voi toisinaan myös kadota kontteja mereen. Osa kadonneista konteista saattaa sisältää muovista valmistettuja tuotteita tai muoviteollisuuden raaka-aineena käytettäviä pellettejä, jotka päätyvät meriympäristöön (Kershaw 2016). Kadonneiden konttien määrät ovat jossain määrin epäselviä, mutta vuonna 2014 maailman merenkulkuneuvosto raportoi vuodessa katoavan keskimäärin noin 550 konttia. Lukuun ei sisälly onnettomuuksia, joissa voi kerralla kadota jopa enemmän kuin 50 konttia. Vuonna 2011 Uudessa Seelannissa M/V Rena -alukselta katosi kaikkiaan 900 konttia, kun taas vuonna 2013 Intian valtamerellä MOL Comfort -aluksesta katosi puolestaan

4 293 konttia (Kershaw 2016). Merisyntyiset roskat ovat pääasiassa makroroskia, jotka tosin voivat rapautua meriympäristössä edelleen pienemmiksi partikkeleiksi aikojen saatossa.

Pohjanmerellä merenkulun osuus roskaantumisesta on arvioitu olevan 9 % (Arcadis 2013). Itämerellä merenkulusta syntyvät roskat eivät kuitenkaan näytä päätyvän rannoille, kuten esim. Koillis-Atlantilla. Tähän vaikuttavat vuorovesi-ilmiön sekä voimakkaiden pintavirtausten puuttuminen. Toisaalta Itämeren pohjassa voi olla ns. hotspot alueita, jonne nämä merisyntyiset roskat kertyvät (Blidberg ym. 2015).

### 6.1.2 Kalastusalukset

Kalastussektori on hyödyntänyt laajasti erilaisia muovimateriaaleja kalastusvälineissä niiden parempien ominaisuuksiensa vuoksi perinteisiin materiaaleihin nähden. Kalastussektorilta voi mereen päätyä mm. erilaisia verkkoja, köysiä, kellukkeita, poijuja, siimoja, hansikkaita, kalalaatikoita, painolastivesiä sekä erilaisia kuituja normaalin kulumisen johdosta. Kalastusvälineet voivat päätyä mereen joko vahingossa tai tahallaan esim. hylkäämisen seurauksena. Tällaisia tahattomasti tai tahallisesti mereen päätyneitä pyydyksiä kutsutaan haamuverkoiksi (ALDFL Abandoned Lost or otherwise Discarded Fishing Gear). Tarkkoja vuosittaista kadonneiden pyydysten määriä ei tiedetä. Erittäin karkean arvioin mukaan määrä olisi globaalisti kuitenkin noin 640 000 tonnia vuosittain (Kershaw 2016). On myös arvioitu, että avomerellä kelluvan roskan kokonaispainosta noin 70 % olisi peräisin kalastuksesta (Kershaw 2016). ALDFG:n määriin vaikuttaa luonnollisesti kalastusalueiden sijainti sekä olosuhteet. Pohjanmerellä ammattikalastuksen osuuden on arvioitu olevan 13 % roskaamisessa (Arcadis 2013).

### 6.1.3 Huviveneily ja turismi

Monella huviveneellä tai matkustaja-aluksella on jo toimivat jätteenkeräysjärjestelmät niin kiinteille kuin nestemäisille jätteille, jotka tyhjennetään satamissa. Ongelmana saattaa kuitenkin olla etenkin pienten satamien puutteelliset keräysjärjestelmät. Itämerellä risteilyalusten käymälöiden jätevesiä ei jatkossa saa päästää suoraan mereen. Määräykset tulevat voimaan uusille laivoille kesäkuun alusta vuonna 2019. Nykyisille risteilylaivoille määräaika on kesäkuun alku vuonna 2021. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) päätti kiellon voimaantulosta huhtikuussa 2016. Kaikki Itämeren maat olivat yksimielisiä päätöksestä. Laivat, jotka saapuvat Itämeren erityisalueen ulkopuolelta ja purjehtivat suoraan Pietariin, saavat kahden vuoden siirtymäajan kesäkuuhun 2023 saakka. Uudet säännökset koskevat kaikkia matkustaja-aluksia, joissa on enemmän kuin 12 matkustajaa. Käytännössä säännökset koskevat ulkomaisia risteilyaluksia, koska Suomesta säännöllisesti liikennöivät matkustaja-autolautat ovat jo pitkään jättäneet käymäläjätevetensä satamiin.

Joillain risteilynjärjestäjillä on tapana vapauttaa risteilyn aikana ilmapalloja, jotka sitten päätyvät lopulta roskina mereen (Kershaw 2016). Myös Suomessa rantaroskan seassa on havaittu ilmapallon jäänteitä, mutta niiden alkuperästä ei ole tarkempaa tietoa (suullinen tiedonanto Haaksi 2016 PSSRY). Eräät vapaa-ajan toimijat ovat olleet edelläkävijöitä roskaantumisen torjunnassa sekä puhdistustoimenpiteissä. Tällaisia tahoja ovat mm. surffarit ja sukeltajat. Vapaa-ajan toimista esim. kalastuksen vaikutukset voivat kuitenkin joillain alueilla olla päinvastaisia. Koukkuja ja siimoja on havaittu päätyvän meriympäristöön. Tämä vapaa-ajan kalastuksesta peräisin oleva roskaantumislmiö on havaittu etenkin Luoteis-Euroopassa sekä Korean niemimaalla, mutta näiden aiheuttamista todellisista roskamääristä ei ole tietoa (Kershaw 2016).

## 6.1.4 Vesiviljely

Vesiviljelyä harjoitetaan sekä ulappa- että litoraalialueilla. Maailmalaajuisesti vesiviljely on keskittynyt pääasiassa Aasiaan sekä jonkin verran myös Pohjois-Amerikkaan, Chileen sekä Euroopan Atlantin puoleisille rannoille (Kershaw 2016). Rannan läheisyydessä rakenteet saadaan sijoitettua suoraan pohjaan, kun taas kauempana rannasta ne sijoitetaan noin 10–50 m syvyyteen. Vesiviljelyssä käytetään paljon erilaisia poijuja, verkkoja, häkkeitä ja köysiä, jotka on usein valmistettu muovista (mm. EPS, Nylon jne.). Välineistöstä rapautuu partikkeleita niiden käytön aikana, mutta niitä voi myös hävitä/karata yhteentörmäyksissä muun meriliikenteen kanssa tai sääolosuhteiden riippuen (Kershaw 2016). Etenkin Etelä-Koreassa EPS-poijuja käytetään runsaasti (noin 500–1000 kpl ha<sup>-1</sup>) simpukka ja osteriviljelmillä. On arvioitu, että niitä katoaa vuosittain jopa 1,8 miljoonaa kappaletta. Jokainen 62 litran poiju voi muodostaa 7,6 miljoonaa mikrokokoista EPS-partikkeliä (halkaisijaltaan < 2,5 mm). Tämä näkyy myös esim. rantaroskan määrissä. Vuonna 2008, 94:llä korealaisella rannalla, EPS-poijut ja niistä rapautuneet fragmentit olivat yleisin roskatyyppeistä muodostaen > 10 % roskista (Kershaw 2016).

## 6.2 Maalta peräisin olevat roskat

Suurimmat maalta peräisin olevat roskalähteet ja kulkeutumisreitit ovat puolestaan a) rannikoilla sijaitsevat kaatopaikat, b) jokien kuljettamat roskat, c) hulevedet ja puhdistamattomat jätevedet, d) teollisuuslaitokset ja e) turismi sekä vapaa-ajantoiminnot (UNEP 2005). Itämeren alueella maalta peräisin olevia roskalähteitä tarkasteltaessa on havaittu, että merkittävimpiä lähteitä ovat mm. 1) asukastiheys rannikon läheisyydessä, 2) turismi, 3) satamatoiminnot sekä 4) kiinteän jätteen käsittely (Blidberg ym. 2015).

Mikromuovien osalta merkittäviä päästölähteitä ovat suuremman hajoavan roskan lisäksi mm. kosmetiikka ja hygieniatuotteet (Pharmaceuticals and Personal Care Products PPCP), tekstiilit (kuidut), liikenne (rengasmuru) sekä muovin tuottajat, valmistajat ja prosessoijat. Kulkeutuminen tapahtuu pääasiassa jätevedenpuhdistamoiden, hulevesien sekä jokien välityksellä.

### 6.2.1 Kaatopaikat

Maailmalaajuisesti huonosti hoidetut kaatopaikat ja toimimaton jätehuolto ovat yksi merkittävimmistä roskien päästölähteistä meriympäristöön. Ongelmia on havaittavissa edelleen kaikilla mantereilla (Kershaw 2016). Jätehuollon tehokkuus vaihtelee huomattavasti eri maiden välillä. Hiljattain on julkaistu opas maailman viidestäkymmenestä eniten huolta aiheuttavasta kaatopaikasta. Näistä 18 sijaitsee Afrikassa, 17 Aasiassa, 8 Latinalaisessa Amerikassa, 5 Karibiassa ja 2 Euroopassa (Kershaw 2016). Näillä kaatopaikoilla on mahdollisesti myös jätteitä, jotka on tuotu niihin muilta alueilta, minkä vuoksi näiden ongelmakaatopaikkojen hoito tulisi tapahtua yhteistyössä useiden eri valtioiden kesken. Moni näistä kaatopaikoista sijaitsee rannikolla tai muiden vesireittien (joet) läheisyydessä (Kershaw 2016).

Euroopassa arviolta noin 40–50 % muoveista päätty edelleen kaatopaikoille (kuva 6). Vaikka monet kaatopaikat ovat tehostaneet toimintaansa, voidaan niitä silti pitää yhä yhtenä merkittävänä mikromuovien päästölähteenä. Mikromuoveja ei tähän saakka ole pidetty kovinkaan suurena ongelmana jätehuollon piirissä, vaikkakin niitä uskotaan yhä edelleen pääsevän ympäristöön (Sundt ym. 2014). Suomessa on vuoden 2016 alusta alkanut muovin kierrätys, minkä on tarkoitus jatkossa vähentää entisestään kaatopaikoille päätyvän muovijätteen määriä. Itämeren roskaantumisi-



**Kuva 6.** Suomessa vuonna 2006 lähes 60 prosenttia yhdyskuntajätteestä vietiin kaatopaikoille. Nyt kaatopaikkojen osuus on pudonnut noin kymmeneen prosenttiin kierrätyslaitosten ja jätevoimaloiden ansiosta (Kuva Suomen ympäristökeskus Riki).

sen kannalta Suomen jätteenkäsittelysektorin osalta potentiaalisempia muoviroskan lähteitä ovat teolliset, kierrätysmuovin käsittelyprosessit, joista muovipäästöjä on tapahtunut läheisiin jokiin. Joet puolestaan voivat kuljettaa kevyttä muoviroskaa jopa 20 kilometriä. Lisäksi on havaittu, että jätteiden siirtokuormaustoiminta voi epäasiallisesti toteutettuna lisätä roskaantumista siirtokuormaustalueilla, niiden ympäristössä ja pahimmillaan vesistöissäkin (Myllymaa 2016).

Olosuhteista riippuen erilaiset muovimateriaalit voivat pilkkoutua kaatopaikoilla tehokkaasti mm. lämpötilan ja pH:n vaikutuksesta. Näin ollen juuri mikromuoveja voi päätyä merkittäviä määriä kaatopaikkojen suotovesiin. Kaatopaikkojen suotovesistä on mitattu myös ajoittain korkeita haitallisten orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia. Tällaisia ovat esim. erilaiset bromatut palonsuoja-aineet ja pehmentiminä käytetyt ftalaatit, joita on käytetty mm. erilaisissa muoveissa lisäaineina (Sundt ym. 2014).

### 6.2.2 Joet

Jokien tuomaa roska- ja mikromuovikuormitusta eri merialueille on Euroopassa selvitetty neljän ison joen Tonavan, Reinin, Daljoen ja Po-joen osalta<sup>1</sup> (taulukko 5). Tutkimuksen perusteella Po-joessa havaittiin eniten muoviroskaa, lähes 6 miljoonaa partikkelia km<sup>2</sup>. Seuraavaksi kuormittuneimmat joet ovat Tonava ja Rein, joissa havaittiin yli 3 miljoonaa partikkelia km<sup>2</sup>. Näytteenottotavasta johtuen Daljoelle ei voitu vastaavaa arviota tehdä (Van Der Wal ym. 2015).

Daljoen arvioitiin tuovan Pohjanmereen noin 50 miljardia mikromuovipartikkelia vuosittain. Tämä on melko paljon, sillä joki on melko kirkasvetinen ja sen valuma-alueella asuu vain noin 250 000 asukasta. Tonavan kautta Mustaanmereen on puolestaan arvioitu kulkeutuvan jopa 2 biljoonaa muovipartikkelia vuosittain, mikä vastaa noin 500 t muoviroskaa. Reinin ja Pojoen kuormitukset jäävät puolestaan näiden kahden välille. Massana arvioituna Rein kuljettaa muoviroskaa Pohjanmereen noin 20–30 t vuosittain, kun taas Po-joen kautta kulkeutuu välimeren 120 t muovi-

<sup>1</sup> Näytteenotossa käytettiin Manta-haavia, jonka silmäkoko oli 300 µm. Lisäksi suuremmalle roskalle käytettiin toista näytteenotinta, jonka silmäkoko oli puolestaan 35 mm.



**Taulukko 5.** Tutkittujen jokien virtaamat, valuma-alueiden koot sekä näiden maankäyttö (Van Der Wal ym. 2015).

Joki	Vastaanottava-vesistö	Keskimääräinen virtaama (m <sup>3</sup> /s)	Valuma-alueen koko m <sup>2</sup>	Valuma-alueen maankäyttö
Rein	Pohjanmeri	2 378	200 000	Voimakkaasti kaupunkistunut ja teollistunut valuma-alue
Daljoki	Pohjanlahti	380	29 000	Luonnonsuojelualue
Tonava	Mustameri	6 500	800 000	Maatalousvaltainen
Po	Välimeri	1 470	71 000	Jonkin verran kaupunkistunut

roskaa vuosittain. Tonavan varrella asuu noin 81 miljoonaa ihmistä, minkä vaikuttaa suuresti kuormitusmäärään (Van Der Wal ym. 2015).

Tutkimuksessa havaitut mikromuovipartikkelit luokiteltiin eurooppalaisen ohjeistuksen mukaan ("Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas") fragmentteihin, pelletteihin, kuituihin, vaahtomuoviin ja muihin kappaleisiin. Po-joessa ja Reinissä muovifragmentteja havaittiin eniten, kun taas Tonavassa ja Daljoessa kuituja. Kuidut ovat todennäköisimmin peräisin jätevedenpuhdistuksesta ja edelleen tekstiilien tuotannosta tai niiden käytöstä (kotitaloudet). Jonkin verran kuitujen arveltiin olevan peräisin myös ilmalaskeumasta. Havaitut muovipartikkelit pyrittiin luokittelemaan myös eri kategorioihin, joista muovisia kauppakasseja, ruokapakkauksia, teollisuuspakkauksia ja muovin palasia 0-2,5 cm löydettiin kaikkien jokien pinta- ja suspensio näytteistä. Eniten havaittu muovimateriaali kaikissa neljässä joessa oli polyeteeni (PE), mikä on varsin oletettavissa oleva tulos, sillä PE on eniten käytetty muovimateriaali ja se on erittäin kestävä mm. valoa, lämpötilaa, happoja, emäksiä ja muita orgaanisia liuottimia vastaan. Muita havaittuja materiaaleja olivat polystyreeni (PS), polyamidi (Nylon), polypropyleeni (PP) ja polyvinyylikloridi (PVC). Kaiken kaikkiaan muovi edusti 97 % kaikista joissa havaituista pienistä (5-25 mm) ja mikrokokoisista (< 5 mm) partikkeleista (Van Der Wal ym. 2015).

Vain 44 %:lle havaituista partikkeleista voitiin arvioida mahdollisia päästölähteitä. Noin neljäsosa pienistä partikkeleista (5-25 mm) oli todennäköisesti peräisin teollisuuden pakkausmateriaaleista. Kaupunkilähteet edustavat noin 5 %:a pienistä partikkeleista. Muita mahdollisia lähteitä ja kulkeutumisreittejä olivat puolestaan jätevedenpuhdistamot, maatalous (maataloudessa käytettävät kalvot), kalatalous (poijut, verkot jne.), kotitaloudet ja lääketeollisuuden jätteet. Jokivesien mukana kulkeville mikromuovikuormituksille, kuten myöskään ylipäättään meriympäristölle, ei ole olemassa vertailuarvoja, minkä vuoksi on melko vaikea sanoa ovatko nämä havaitut määrät ympäristön kannalta hälyttäviä. Mikromuoveihin (etenkin PE) kiinnittyneet lisäaineet saattavat kuitenkin olla uhka ympäristölle. Tutkimuksessa arvioitiin, että muoveista makeisiin vesiin irtoavat yhdisteet (bisfenoli-A, dibutyyliftalaatti) voisivat olla jopa satoja kiloja vuositasolla, mikä vaatii kuitenkin vielä lisätutkimuksia (Langelaan ym. 2015 & Van Der Wal ym. 2015).

### 6.2.3 Hule- ja jätevedet

Mikromuovit kulkeutuvat jäte- ja hulevesien kautta ympäristöön (kuva 7). Mikromuoveja käytetään erilaisissa kuluttajatuotteissa (esim. PPCP, Pharmaceuticals and Personal Care Products) ja pesuaineissa, jolloin osa niistä päätyy jätevedenpuhdistamoiden kautta mereen (Derraik 2002, Thompson ym. 2004).

On havaittu, että jätevesien mukana mereen päätyy myös huomattavia määriä mikrokokoisia kuituja, jotka ovat peräisin vaatteiden ja tekstiilien pesuista. On arvioitu, että nykyisin > 50 % käytetyistä kuiduista on keinotekoisia materiaaleja.



**Kuva 7.** Hulevedet voivat kuljettaa mukanaan niin suurta kuin pientäkin muoviroskaa (Kuva Suomen ympäristökeskus Riki).

Näin ollen ihmisten keinokuituvaatteet ovat siis todennäköisesti yksi lähde merestä löytyvälle mikroskooppiselle muoville (Browne ym. 2011, Talvitie 2015). Synteettisten kuitujen osuus vuonna 2013 oli noin 55 miljoonaa tonnia, kaikista kulutetuista 90 miljoonasta kuitutonnista (Sundt ym. 2014). Eräässä brittiläisessä tutkimuksessa havaittiin, että pesun aikana voi pahimmassa tapauksessa 0,2 kg tekstiileistä irrota yli 1 900 muovikuitua. Keskimääräinen kuitumäärä pesuvedessä oli 200 kpl/l (noin 30 mg/l). Vastaavasti hollantilaisessa tutkimuksessa yksittäisestä 660 g:n painoisesta polyesterivaatteesta irtosi noin 260 mg kuituja. Pesuvesistä kuidut päätyvät edelleen jätevedenpuhdistamoihin ja osa niistä läpäisee myös puhdistamoprosessin päätyen vastaanottavaan vesistöön. Jäteveden puhdistamoon tulevien vesien onkin havaittu sisältävän suuria määriä synteettisiä kuituja. Eräässä ruotsalaisessa tutkimuksessa havaittiin puhdistamoon tulevassa jätevedessä 10 synteettistä kuitua/l (Sundt ym. 2014). Myös Suomessa asiaa selvitetään parhaillaan. Suomalaisen tutkimuksen perusteella erilaisista polyesterikankaista vapautui ensimmäisessä pesussa 0,21-13 miljoonaa kuitua (1,2-3,3 g) pestyä kangaskiloa kohden (Sillanpää ja Sainio 2016). Erot raportoitujen tulosten välillä johtuvat todennäköisesti pesukoneen suodatusjärjestelmästä, pesuaineen käytöstä, tutkimuksiin valituista kankaista ja näytteen suodatusmenetelmästä.

Käsiteltyjen jätevesien mukana ympäristöön päätyvien mikromuovien määrä vaihtelee huomattavasti puhdistusprosessista riippuen. On havaittu, että puhdistamoilla joissa on käytössä kemiallinen ja biologinen puhdistus partikkeleita pääsi vastaanottavaan vesistöön noin 10–40 kpl/m<sup>3</sup> (Magnusson ym. 2016). Puhdistamoilla, joilla on puolestaan käytössään vain mekaaninen puhdistus, partikkeleita pääsi noin 1500 kpl/m<sup>3</sup> (Magnusson ym. 2016). Kyseisessä tutkimuksessa käytettiin suodatinta, jonka koko oli 300 µm (Magnusson ym. 2016). Suomessa tehdyssä tutkimuksessa tarkasteltiin mikroskooppista roskaa noin yleensä. Jätevedenpuhdistamolta lähtevästä puhdistetusta jätevedestä löytyi mikroskooppista roskaa keskimäärin 4 883 kpl/m<sup>3</sup> kuitua ja lisäksi 8 639 kpl/m<sup>3</sup> muita epäorgaanisia partikkeleita (Talvitie ym. 2015). Kuituihin sisällytettiin kaikki tekstiilikuidut, myös luonnolliset kuidut. Suodattimen koko oli huomattavasti pienempi 20 ja 100 µm, minkä vuoksi partikkeleita saatiin kiinni enemmän. Uudempi arvio mikroroskavirtaamasta Viikinmäen jätevedenpuh-

distamolta on n.  $2.0 \times 10^8$ – $7.9 \times 10^8$  mikroroskapartikkelia päivässä ja mikromuovivirtaama  $1,7 \times 10^6$ – $1,4 \times 10^8$  mikromuovikappaletta päivässä (Talvitie ym. 2016). Vaikka nykyaikainen jätevedenpuhdistamo pystyy poistamaan suurimman osan yhdyskuntajätevesien mikroroskista (Magnusson & Wahlberg 2014, Magnusson & Norén 2014), voi puhdistamoveden kuormittava vaikutus silti olla merkittävä. Tämä havaittiin myös Helsingin Viikinmäellä tehdyssä pilottitutkimuksessa, missä puhdistetun jäteveden kuitu- ja partikkelipitoisuus oli selvästi suurempi kuin merialueilta otetuissa vesinäytteissä (Talvitie 2015). Näin ollen jätevedenpuhdistamoiden voidaan toisaalta ajatella toimivan myös eräänlaisena mikroskooppisen roskan pistekuormittajana vesiympäristölle, vaikka ne pääsääntöisesti mielletäänkin kulkeutumisreiteiksi.

Helsingin edustalla jätevedenpuhdistamon purkuaukon kohdalta Katajaluodolla otetusta vesinäytteestä löytyi 57 kuitua ja 2 373 partikkelia kuutiossa merivettä (Talvitie ym. 2015). Purkuaukon läheisyydestä otetusta sedimentinäytteestä löytyi puolestaan 20 kuitua ja 830 partikkelia kilogrammassa sedimenttiä (märkäpaino, Talvitie ym. 2015). Kuituihin sisällytettiin kaikki tekstiilikuidut, myös luonnon kuidut ja partikkelimainen mikroroska merialueella koostui pääasiassa lentotuhkasta. Nämä havaitut kuitu- ja partikkelimäärät olivat samaa suuruusluokkaa kuin, saman tutkimuksen yhteydessä, muualta Helsingin merialueelta otetuista näytteistä havaitut määrät (Talvitie ym. 2015).

Biokaasulaitosten lopputuotteet tai kompostoidut yhdyskuntalietteet voivat niin ikään sisältää mikromuoveja, jotka voivat kulkeutua maaperään niiden käytön yhteydessä. Muovipartikkelit voivat säilyä maaperässä kymmeniä vuosia lietteen levityksen jälkeen. Suomessa yhdyskuntalietteitä muodostuu vuosittain noin 150 000 t kuiva-aineena mitattuna. On arvioitu, että jätevedenpuhdistamoille päätyisi vuosittain yli 1 000 t mikromuoveja kotitalouksista ja muista lähteistä (Sundt ym. 2014). Mikromuovien on todettu pidättävän puhdistamoilla nimenomaan lietteeseen, noin 95 %:sti (Magnusson ym. 2014). Näin ollen lietteet voivat olla erittäin merkittävä mikromuovien lähde maaperään.

Taajama-alueilla hulevesien kautta voi pintavesiin päätyä kaupunkialueille tyyppillistä roskaa, kuten liikenteestä peräisin olevia mikromuovipartikkeleita. Nämä voivat olla peräisin teiden pinnoista, renkaiden kulumisesta sekä autojen eri osista kuten jarruista tai vaihteistoista. Renkaat eivät nykyisin ole enää puhtaasti syntetistä kumia, vaan voivat sisältää seosaineina myös erilaisia muoveja (SBR-muovia kulutuspinnasta noin 60 %). Autoista peräisin olevien partikkeleiden mukana voi kulkeutua mahdollisesti muitakin haitallisia aineita kuten esim. raskasmetalleja tai palonsuoja-aineita. Renkaiden kulumisen johdosta, muodostuvien mikromuovipartikkeleiden määrä vuosittain olisi arviolta 13 000 tonnia (Magnusson ym. 2016). Tähän arvioon liittyy kuitenkin vielä paljon epävarmuuksia. Lisäksi on arvioitu, että kaupunkialueilta mm. keinoonurmikentiltä kulkeutuisi mikromuoveja hulevesien kautta meriin (Sundt ym. 2016). Tarkkoja arvioita hulevesien sisältämien partikkeleiden määristä ei ole, mutta arvioiden ja alustavien tutkimusten perusteella hulevesien rooli mikromuovien kulkeutumisreitinä voi olla varsin merkittävä. Kaiken kaikkiaan hulevesien kuljettaman pienen roskan määrää ja laatua sekä mikromuovien mukana kulkeutuvien haitallisten aineiden esiintymistä tulee jatkossa selvittää kenttätutkimuksilla sekä ympäristöstä että eliöstä.

## 6.2.4 Teollisuuslaitokset

Suomessa muoveja käytetään erilaisten tuotteiden valmistukseen noin 600 000 tonnia vuosittain. Se edustaa hyvää keskieurooppalaista tasoa talouden kokoon suhteutettuna. Valtamuovien eli polyeteenin (PE), polypropeenin (PP), polystyreenin (PS) ja polyvinyylikloridin (PVC) käyttö on noin 80 % muovien kokonaiskäytöstä. Valtamuoveista PVC:tä ei valmisteta Suomessa. Myös lujitemuoviteollisuuden keskeistä



raaka-ainetta, polyesterihartsia (UP), valmistetaan maassamme. Teknisiä muoveja ja erikoismuoveja on käytössä useita satoja, mutta niiden osalta Suomi on suurelta osin tuonnin varassa ([www.muoviteollisuus.fi](http://www.muoviteollisuus.fi)).

Suomessa ei ole arvioitu teollisuudesta ympäristöön pääsevien muovipartikkeleiden määriä. Norjalaiset ovat kuitenkin havainneet, että muovirakeiden osalta on yhä olemassa historiallisia ja edelleen aktiivisia pistemäisiä päästölähteitä. Yhtenä esimerkkinä on eräs lahti Norjan länsirannikolla, jossa tutkijat selvittivät HBCD:n biologista talteenottoa polystyreenitehtaan edustalla. Tutkimuksen yhteydessä he havaitsivat, että sedimentti oli täynnä myös polystyreenirakeita. Suomessa vastaavaa tietoa siitä paljonko EPS -rakeita tai mitään muitakaan mikromuovipartikkeleita ympäristöön teollisuudesta päätyy, ei ole. Mahdollisia muovipäästöjä ei myöskään ole nykyisin ympäristöluvuissa riittävän tarkasti huomioitu.

### 6.2.5 Turismi ja rantojen käyttäjät

Turismi aiheuttaa roskaantumista, mutta toisaalta myös kärsii sen aiheuttamista haitoista (kuva 8). Sukeltajille voi koitua haittaa suurista ja terävistä esineistä. Meriympäristöön päätyneistä kemikaalitynnyreistä, akuista, paristoista voi vuotaa ympäristöön haitallisia aineita. Lisäksi erilaiset hygieniatuotteet kuten vaipat, terveysiteet jne. voivat saastuttaa vettä ja aiheuttaa terveydellisiä haittoja. Terävät esineet kuten ruiskut, metallitölkit ja rikkoutuneet lasipullot voivat puolestaan aiheuttaa viiltohaavoja tai muita loukkaantumisia. Hyvä esimerkki roskaantumisen aiheuttamista hygieniahaitoista on Guanabaran lahti Brasiliassa, jonka oli kesän 2016 olympialaisten vesiuurheilun ja purjehduksen isäntä. Kuitenkin lahden huonotila ja veden huono hygieeninen laatu ovat herättäneet melkoisesti julkista huomiota. Roskaantuminen ja sitä kautta veden pilaantuminen eivät houkuttele turisteja rannoille, mikä puolestaan vaikuttaa voimakkaasti alueelliseen/paikalliseen taloustilanteeseen supistumiseen turismin vähenemisen myötä (palvelut, työpaikat jne. vähenevät kun ei kysyntää) (Watkins ym. 2015).



**Kuva 8.** Rannoille kerääntynyttä roskaa Pääsiäissaarella (Kuva NOAA PIFSC Coral Reef Ecosystem Program).

Suomessa rantojen roskaantumista seurataan Pidä Saaristo Siistinä Ry:n toimesta. Lisäksi muutama vuosi sitten selvitettiin Itämeren rantojen roskaantumista useiden valtioiden yhteistyönä, EU-rahoitteisessa MARLIN -hankkeessa. Mukana olivat Suomen lisäksi Ruotsi, Viro sekä Latvia. Valta osa rannoilta havaituista roskista lukeutui erilaisiin käyttöesineisiin (62 %) ja pienempi osuus (36 %) pakkausmateriaaleihin. Hankkeessa arvioitiin, että yksittäisten kuluttajien osuus roskaantumisesta on 48 %, rannoille kohdistuvan turismin osuus 24 % ja vapaa-ajankalastuksen 14 % (MARLIN 2013). Viisi yleisintä roskatyyppiä ovat 1) tunnistamattomat muovikappaleet, 2) lasi- ja keramiikka palat, 3) muoviset pullonkorkit ja kannet, 4) muovipussit ja 5) styrox-pakkaukset. Monet listalle päätyneistä roskatyypeistä heijastelevat nykyistä take away -kulutusyhteiskuntaa. Kaupunkialueilla, myös erilaiset rakennusjätteet olivat varsin tyypillisiä (MARLIN 2013). Listauksesta pidettiin erillään tupakantumpit, sillä niiden seurantaan käytettiin hieman erilaista menetelmää. Ne ovat kuitenkin tyypillisin roskatyyppi Itämeren rannoilla (keskimäärin 300 tumpia 100 metrillä rantaa). Suomessa kaikesta löytyneestä roskasta 75 % oli muovia ja vaahtomuovia. Koko MARLIN -projektin osalta vastaava luku oli 62 % (Suomi, Ruotsi, Viro, Latvia). Yksi merkittävä huomio on se, että Suomessa muovipulloja ei kaupunkirantojen top 10 kategorioissa ollut lainkaan. Tämä viittaa siihen, että panttijärjestelmä toimii. Luonnontilaisilta rannoilta puolestaan pulloja löytyi, mutta ne olivat pantittomia (MARLIN 2013, Haaksi 2014).

Pohjoismaissa merien roskaantumista on tutkittu myös Pohjoismaisen ministerineuvoston (PMN) toimesta (Blidberg ym. 2015). Tässä tutkimuksessa esitettiin tuloksia Ruotsin, Tanskan ja Norjan rannoilta kerätystä roskamäärästä ja materiaaleista. Kaikilla tutkituilla rannoilla valtaosa havaituista roskista oli muovia tai polystyreeniä. Noin 88 % rannoilta löydettyistä roskista olivat kertakäyttöistä tavaraa, lähinnä pakkausmateriaaleja (Blidberg ym. 2015).

## 7 Roskien määrä meriympäristössä

Mitään tarkkoja lukuja meriroskan määristä ei ole mutta on arvioitu, että 6,4–8 miljoonaa tonnia jätettä päätyisi meriin vuosittain (UNEP 2005, Ellen Macarthur Foundation 2016). Erään toisen tuoreen arvion mukaan meriin päätyisi vuosittain noin 4,8–12,7 miljoonaa tonnia muoviroskaa (Jambeck ym. 2015). On myös arvioitu, että kaikissa maailman merissä kelluu noin 150 miljoonaa tonnia muovia (Ellen Macarthur Foundation 2016). Nämä em. lukuarvot ovat kuitenkin vasta karkeita arvioita, minkä vuoksi entistä tarkempaa tietoa meriin päätyvän muovin määristä tarvitaan edelleen. Näin ollen voidaan todeta, että roskaa löytyy kaikista maailman meristä, kaikista syvyyksistä niin avomereltä, sedimentistä kuin rannikoiden läheisyydestä. Muoviroska ongelman myös ajatellaan pahenevan tulevien vuosien aikana, sillä muovikäyttö maailmassa on ollut jatkuvasti kasvussa. Kasvu on ollut nähtävillä myös mm. vesi, sedimentti ja eliönäytteissä (Sundt ym. 2014).

Myös Itämerellä tyypillisin roska on muovia. Kooltaan 0,3 mm ylittäviä roskahippusia vedestä on löytynyt alle kymmenen kappaletta kuutiometrissä vettä. Mikrokokoinen roska on lähinnä muovia, mutta joukosta on löytynyt myös lentotuhkaa, orgaanisia kuituja ja kumia (Setälä ym. 2016).

Erilaiset muovit käyttäytyvät eritavoin vesiympäristöön päädyttyään. Ominaisuuksiin vaikuttavat osaltaan myös muoveihin lisätyt lisäaineet, kuten palonsuoja-aineet, pehmentimet stabilisaattorit jne. Kevyempien muovilaatujen (PE (LDPE ja HDPE), PP ja EPS), jotka kelluvat makeassa ja merivedessä on havaittu kulkeutuvan kauaksi päästölähteistään. Raskaammat muovilaadut kuten nylon, PS, polyesteri, akryyli, polyoksimetyleeni, polyvinyylialkoholi, polyvinyylidikloridi (PVC), polymetyyliakrylaatti, polyetyleenitereftalaatti (PET), alkydi ja polyuretaani puolestaan vajoavat sedimenttiin lähelle päästölähteistään (taulukko 6). Muovien kelluvuuteen ja vajoamiseen vaikuttavat toki myös kappaleiden muoto. Esimerkiksi erilaiset PET-muovipullot voivat kellua, mikäli ne eivät pääse täyttymään vedellä. Toisaalta taas kelluvasta PE-muovista valmistetut muovikassit uppoavat helposti täytyttyään vedellä. Yleisesti kuitenkin kevyet ja alhaisen tiheyden omaavat mikropartikkelit ajalehtivät virtausten mukana pitkiäkin matkoja, kun taas tiheydeltään suuremmat painuvat helpommin pohjaan. Näin ollen niitä voidaan havaita kaukaisimpienkin saarten rantahiekasta, jossa ihmisvaikutus noin muuten on vähäinen (IMO 2015).

Myös kevyempien yleensä pinnalla tai vesipatsaassa kelluvien mikromuovipartikkeleiden on havaittu aikojen saatossa laskeutuvan pohjaan ns. ”meren lumena”. Tämä johtuu mm. siitä, että partikkeleiden pinnalle alkaa kertyä mikrobeja, joiden ansiosta partikkeleiden paino muuttuu ja ne alkavat painua hiljalleen pohjaan.

Muovipartikkeleiden muodosta voidaan päätellä mm. niiden ikää. Esim. mikäli partikkelissa on teräviä reunoja voi se olla merkki siitä, että se on päätynyt vesiympäristöön hiljattain. Pyöristyneet muodot puolestaan voivat tarkoittaa sitä, että partikkeli on ollut vesiympäristössä jo jonkun aikaa. Partikkeleiden pinnan hajoaminen ja eroosio voivat aiheutua biologisesta hajoamisesta, valohajoamisesta, kemiallisesta rapautumisesta tai fysikaalisista tekijöistä (aallot, tuuli, hiekka). Partikkeleiden ha-

**Taulukko 6.** Erityyppisten polymeerien tiheydet ja makean veden sekä meriveden tiheydet.

<b>Polymeerityyppi</b>	<b>Tiheys (g cm<sup>-3</sup>)</b>
<b>Polyeteeni (HDPE, LDPE)</b>	0,917–0,965
<b>Polypropyleeni (PP)</b>	0,917–0,965
<b>Polystyreeni (PS)</b>	1,04–1,1
<b>Polyamidi (nylon, PA)</b>	<0,05
<b>Polyesteri</b>	1,02–1,05
<b>Akryyli</b>	1,24–2,3
<b>Polyoksimetyleeni</b>	1,09–1,20
<b>Polyvinyylialkoholi</b>	1,49–1,61
<b>Polyvinyylikloridi (PVC)</b>	1,19–1,31
<b>Polymetyyliakrylaatti</b>	1,16–1,58
<b>Polyetyleenitereftalaatti (PET)</b>	1,17–1,20
<b>Alkydi</b>	1,37–1,45
<b>Polyuretaani</b>	1,24–2,10
<b>Makea vesi (4°C)</b>	1,00
<b>Merivesi (4°C)</b>	1,025

joaminen pienemmiksi partikkeleiksi voi myös alentaa kappaleen tiheyttä ja näin ollen edesauttaa kellumista.

Auringon UV-säteily on eräänlainen lähtölaukaus muovipartikkeleiden hajoamiselle meriympäristössä (Andrady ym. 1998). Hajoaminen on nopeampaa korkeammissa lämpötiloissa, minkä vuoksi partikkelit hajoavat nopeammin rannoilla kuin vesifaasissa (Andrady 2011). Tähän vaikuttaa toki myös mekaaninen kulutus. Meriympäristössä muovien hajoaminen on myös huomattavasti hitaampaa kuin maaperässä (Rios ym. 2007). Vesiympäristössä UV-säteilyn määrä vähenee nopeasti syvempiin vesikerroksiin mentäessä, minkä vuoksi hajoaminen on huomattavasti hitaampaa kuin veden pintaosissa. Kun muovipartikkeli on haurastunut valohajoamisen seurauksena, se on alttiimpi myös muille mekaanisille voimille kuten aallokelle sekä hiekanjyvälle rantojen läheisyydessä. Muovipartikkeleiden täydellinen hajoaminen meriympäristössä hiilidioksidiksi ja muiksi alkuaineiksi voi viedä useita vuosikymmeniä tai jopa vuosisatoja (Magnusson ym. 2016).

## 8 Muovi ja haitalliset aineet

Muovit voivat sisältää haitallisia yhdisteitä, mutta niihin voi myös sitoutua erilaisia ympäristömyrkkyjä. Orgaaniset yhdisteet voivat kulkeutua mikromuoveihin kiinnittyneinä pitkiäkin matkoja (Zarfl ym. 2010). Joidenkin tutkimusten mukaan esim. linnuista mitatut PCB- ja PBDE -pitoisuudet korreloivat niiden syömien muovijättemäärien kanssa (Tanaka ym. 2013). Merkillepantavaa on myös se, että mitä pienemmistä muovipartikkeleista on kyse, sitä suuremman sitoutumispinta-alan haitallisille ympäristökemikaaleille ne myös luovat. Osa näistä orgaanisista yhdisteistä voi olla ympäristön ja ihmisen kannalta erityisen ongelmallisia, sillä ne saattavat olla terveydelle haitallisia, biokertyviä ja ympäristössä erittäin pitkäikäisiä. Joidenkin tällaisten yhdisteiden käyttö on saattanut loppua jo vuosikymmeniä sitten, mistä huolimatta niitä voidaan yhä edelleen havaita ympäristöstä.

### 8.1 Muovin lisäaineet

Erilaisten katalyyttien lisäksi muoveihin lisätään monia erilaisia lisäaineita parantamaan niiden ominaisuuksia (taulukko 7). Lisäaineiden tarkoituksena on lisätä muovin joustavuutta, toimia väriaineina, estää muovien hajoaminen esim. UV-säteilyn johdosta tai toimia palonsuoja-aineena. Erilaisia muoveihin lisättyjä yhdisteitä ovat esim. bisfenoli-A (BPA), erilaiset ftalaatit, nonyylifenolit (NP), organotinat (käytetty etenkin PVC:ssä) sekä fluoratut ja bromatut yhdisteet (Teuten ym. 2009).

Muoveihin lisättävien yhdisteiden määrä vaihtelee yhdisteestä ja muovilaadusta riippuen (taulukko 8 ja taulukko 9). LDPE- ja LLDPE-muovit ovat halpoja ja monikäyttöisiä. Materiaalina nämä muovit ovat hyvin joustavia, minkä vuoksi niihin ei tarvitse lisätä pehmentimiä. LDPE- ja LLDPE-muovit eivät kuitenkaan kestä UV-säteilyä, minkä vuoksi niistä valmistettuihin, etenkin ulkokäyttöön tuleviin, tuotteisiin lisätään usein stabilaattoreita. PVC-muovi on puolestaan markkinoilla olevista muoveista edullisin, mutta siihen on myös lisätty eniten erilaisia lisäaineita kuten pehmentimiä ja stabilaattoreita. Arvioiden mukaan jopa 50 % kaikista pehmentimistä lisättäisiin nimenomaan PVC-muoveihin. Lisätyimmät pehmentimet ovat puolestaan lähinnä ftalaatteja niiden edullisuuden sekä ominaisuuksiensa vuoksi. Palonsuoja-aineita lisätään muoveihin lähinnä silloin, kun lainsäädäntö sitä edellyttää. Palonsuoja-aineita voi puolestaan olla lisättyinä muoveihin jopa 50 % (Hansen ym. 2013).

Lisäaineina toimivat kemikaalit voivat kulkeutua muovin pintaosiin, josta ne voivat päätyä edelleen ympäröivään vesifaasiin tai joutua kosketuksiin esim. ihon kanssa (DEHP, PBDE). Tämä nk. kemikaalien migraationopeus muoveista vaihtelee yhdisteestä ja muovilaadusta riippuen (Teuten ym. 2009). Migraatiota tehostavat mm. yhdisteiden pieni molekyylikoko, alhainen kiehumispiste (esim. organotinat), heikko liukoisuus muoveihin, muovin amorfisuus, korkea lämpötila sekä muovin kanssa kosketuksissa olevan matriisin kyky vetää puoleensa lisättyjä yhdisteitä (esim. ftalaatit irtoavat muovista helposti kasviöljyihin) (Hansen ym. 2014). Molekyyli-

**Taulukko 7.** Tyypillisimmät muovit ja niihin lisättävät yhdisteet (Hansen ym. 2013).

	Ominaisuudet	Lisäaineet
<b>LDPE ja LLDPE</b>	Puolikiteinen Joustavia muoveja, ei tarvetta lisätä pehmentimiä	Väriaineet, ulkoikäkäytössä UV-stabiilatorit, palonsuoja-aineita (käytetään vain tietyissä tapauksissa mm. kaapelieristeet palovaatimuksista johtuen)
<b>HDPE</b>	Puolikiteinen Ei tarvetta lisätä pehmentimiä	Väriaineet, palonsuoja-aineita (käytetään vain tietyissä tapauksissa mm. kaapelieristeet palovaatimuksista johtuen)
<b>PP</b>	Puolikiteinen. Ei kestä hapettumista, joten kaikkiin PP-muoveihin lisätään antioksidantteja PP-muovit kestävät sieniä sekä bakteereita ja niitä voidaan höyrysteriloida toisin kuin PE-muoveja Ei tarvetta lisätä pehmentimiä	Antioksidantit, väriaineet, palonsuoja-aineet (kaapelisovelluksissa ja kuumenevassa elektroniikassa)
<b>PS/HIPS</b>	Amorfinen PS läpinäkyvä, kova ja jäykkä muovi, ellei lisätty butadieeni kumia (HIPS) Kestää ei-hapettavia happoja, alifaattisia amiineja, emäksiä, kasviöljyjä, saippuaa ja pintakäsittelyaineita	Väriaineet
<b>EPS/XPS</b>	Kevyttä Ei helposti syttyvä Ei absorboi vettä	Palonsuoja-aineet, väriaineet
<b>ABS</b>	Amorfinen. Ulkoilmakäytössä lisättävä UV suoja-aineita. Hyvä iskunkestävyys. Voidaan muodostaa seoksia PC, PA, PVC, PBT, PSU kanssa	Väriaineet, palonsuoja-aineet, ulkoilmakäytössä UV-stabiilatorit
<b>PVC</b>	Halpa Amorfinen jäykkä PVC erittäin kestävä. Estää hyvin hapen, typen ja veden läpäisyn.	Väriaineet, pehmentimet, stabiilatorit, palonsuoja-aineet (eivät tyypillisiä, sillä PVC:llä itsessään on palonsuojaominaisuuksia)
<b>PET</b>	Amorfinen (PET-A). Puolikiteinen (PET-C). Amorfinen PET ei juuri halkeile. Kova ja kestävä. Sään ja kemikaalien kestävä. Alhainen veden absorptio	Väriaineet
<b>PC</b>	Amorfinen korkea iskunkestävyys. Kestää heikkoja happoja, alifaattisia hiilivetyjä, parafiineja, alkoholeja, eläin ja kasvirasvoja. Ei kestä hapettavia happoja, emäksiä kuten ammoniumia, aromaattisia ja kloorattuja hiilivetyjä	Väriaineet BPA jäämiä (polykarbonaatti monomeereissa)
<b>PTFE</b>	Vaikea prosessoida, kuumuuden kestävä, kemikaalien ja säänkestävä. Alhainen veden absorptio. Kestää alhaisiakin lämpötiloja. Kestää tulta polymeerin korkean fluoripitoisuuden vuoksi	Prosessoinnin apuaineet (PFOA)
<b>PA</b>	Puolikiteinen, kestävä ja jäykkä. Kestää kuumaa. Kestää monia liuottimia. Ei kestä happoja eikä emäksiä	Väriaineet
<b>PUR</b>	Mikäli vaahdotetaan muiden materiaalien kanssa, pitää ne yhdessä	Palonsuoja-aineet (erityisesti Britanniassa, jossa säädöksiä huonekalujen palonsuojaukseen) Biosidit Elohopea
<b>PBT</b>	Puolikiteinen polymeeri. Kestää liuottimia. Iskunkestävä. Kestää kuumuutta. Herkkä kuumentamiselle vedelle (>60 °C)	Palonsuoja-aineet ulkoilmakäytössä UV -stabiilatorit
<b>PSU</b>	Kestävä, kestävä kuumuutta, kallis, käytetään korvaamaan polykarbonaatteja. Kestää mineraalihappoja ja elektrolyyttejä pH alueella 2-13. Kestää hapettimia. Kestää pintakäsittelyaineita sekä hiilivetyöljyjä. Ei kestä orgaanisia liuottimia (vähän pooliset) eikä aromaattisia hiilivetyjä. Kestää vesipitoisia happoja ja emäksiä sekä monia poolittomia liuottimia. Liukenee dikloorimetaaniin.	Palonsuoja-aineet
<b>PMMA</b>	Amorfinen, kova ja jäykkä Korkea kiilto ja optiset ominaisuudet Hyvä säänkestävyys	Väriaineet

noltaan raskaammat yhdisteiden > 600 g/mol migraatio muoveista on puolestaan heikkoa. Tämän vuoksi lisäaineet pyritäänkin suunnittelemaan suurimolekyylisiksi yhdisteiksi, jollaisia ovat esim. palonsuoja-aineet, antioksidantit ja pehmentimet. Suurimolekyylisten palonsuoja-aineiden ja pehmentimien käyttöä rajoittavat kuitenkin niiden suuret kustannukset. Lisäaineiden tulee myös olla liukoisia muovimateriaaleihin, mutta toisaalta huonosti liukenevia muovin kanssa kosketuksissa oleviin matriiseihin kuten elintarvikkeisiin tai veteen. Yhdisteen pitoisuus muovissa, muovin paksuus ja kiteisyys sekä muovin pintakerroksen rakenne vaikuttavat niin ikään yhdisteiden irtoamiseen.

**Taulukko 8.** Muovien yleisimmät lisäaineet ja lisäysmäärät (Hansen ym. 2013).

Additiivi	lisätty määrä % ww	Tietoa	Yhdiste
<b>Pehmentimet</b>	10-70	Noin 80 % käytetty PVC:lle ja loput selluloosapohjaisille muoveille	Lyhyet ja keskipitkät klooratut parafiinit (SCCP - MCCP); Di-isoheptyyliftalaatti (DIHP); Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP); Bis (2-etyyliheksyyli) ftalaatti (DEHP); Bis(2-metoksietyyli) ftalaatti (DMEP); Dibutyyliftalaatti (DBP); Di-isobutyyliftalaatti (DiBP); Tris(2-kloroetyyli)fosfaatti (TCEP)
<b>Palonsuoja-aineet</b>	12-18 (bromatuille)	Kolme ryhmää; orgaaniset non-reaktiiviset, reaktiiviset; epäorgaaniset	Lyhyet ja keskipitkät klooratut parafiinit (SCCP - MCCP); Boorihappo; Bromatut palonsuoja-aineet; Tris(2-kloroetyyli)fosfaatti (TCEP)
<b>Stabilaattorit</b>	0,05-3	Määrä riippuu lisäaineen kemiallisesta rakenteesta ja muovipolymeeristä. Fenolisia antioksidantteja käytetään alhaisina pitoisuuksina kun taas fosfiitteja korkeina. Alhaisimpia pitoisuuksia polylefiineissa (LLDPE, HDPE), korkeampia HIPS ja ABS	Bisfenoli A (BPA); Kadmiumyhdisteet; Lyijy-yhdisteet; Nonyylifenolit; Oktyylifenolit;

BPA:lla tehtyjen kokeiden perusteella on todettu, että jätemuovista peräisin olevat yhdisteet voivat lisätä merkittävästi hormonitoimintaa häiritsevien yhdisteiden (Endocrine Disrupting Chemicals EDC) pitoisuuksia ympäristössä (Teuten ym. 2009). Tutkimuksessa havaittiin, että hydrofobisten (eli vettä hylkivien) yhdisteiden diffuusio ympäristöön oli suurempaa kumimaisista muoveista (HDPE:stä) kuin lasimaisista muoveista (PVC:stä). Myös muoveihin kiinnittyneiden yhdisteiden määrä vaikuttaa oleellisesti niiden diffuusioon (Teuten ym. 2009).

DEHP:lle migraationopeuden on arvioitu olevan noin 0,1–1 % vuodessa tai sen alle. Kadmiumia, jota käytetään muoveissa mm. lämpöstabilisaattorina, vapautuu puolestaan niin vähän, ettei sen arviointi ole mahdollista. Yleisesti ottaen ympäristöstä kerätyistä muovipartikkeleista havaitut nonyylifenoli, BPA- sekä PBDE-yhdisteet ovat todennäköisimmin peräisin pääasiassa nimenomaan lisäaineista, eikä niinkään ympäröivästä merivedestä (Teuten ym. 2009). Yhdisteiden migraatio myös hidastuu ajan kuluessa, sillä pitoisuudet muoveissa pienenevät (Hansen ym. 2013). On muistettava, että heikosti irtoavat yhdisteet vapautuvat muoveista myös niiden rapautumisen johdosta. Tähän vaikuttavat mm. muovien materiaali, niihin lisätyt stabilointiaineet sekä ympäristöolosuhteet (Hansen ym. 2013). Muovin pehmentimet ja muut lisäaineet voivat aiheuttaa erityistä vaaraa maaperässä mm. kaatopaikkojen yhteydessä, josta niitä voi päästä ympäristöön etenkin pohja- ja pintavesiin. Aasiassa



**Taulukko 9.** Muovien lisäaineet, niiden käyttötarkoitus sekä muovit, joissa niitä käytetään (Hansen ym. 2013)

Kemikaalin lyhenne	Kemikaalin virallinen nimi	Käyttötarkoitus	Muovit joihin lisätään
<b>BPA*</b>	Bisfenoli A	Monomeeri, käytetään muovien valmistuksessa, antioksidantti	polykarbonaatit, epoksihartsit, PVC, jäykkä PUR, modifioitu polyamidi ja saturoitumaton polyesteryhartsi
<b>BBP*</b>	Bentsyylibutyyliftalaatti	Pehmennin	PVC, PMMA, polyamidi, termoplastinen polyestery
<b>DBP*</b>	Dibutyyliftalaatti	Pehmennin	PVC, PP (katalyytti) PVA -pohjaiset liimat
<b>DEP</b>	Dietyyliftalaatti		ihon pehmentimenä, väri- ja tuoksu kiinnitteet
<b>DEHP*</b>	Di-(2-etyyliheksyyli)ftalaatti	Pehmennin	PVC –muovit, PMMA, ABS, polyamidi, polystyreeni, termoplastinen polyestery
<b>DIHP*</b>	Di-isoheptyyliftalaatti	Pehmennin	PVC, PUR, acrylaatit
<b>HBCD*</b>	heksabromosyklododekaani	Palonsuoja-aine	EPS, XPS, HIPS
<b>PBDE*</b>	Polybromatut difenyylietterit	Palonsuoja-aine	ABS, HIPS, EPA, polyamidit, PBT, polyeteeni, polypropyleeni, epoksi, saturoitumaton polyestery, PUR
<b>TBBA**</b>	Tetrabromibisfenoli A	Palonsuoja-aine	ABS, PC, PP, epoksi, saturoitumaton polyestery
<b>NP/NPE*</b>	Nonyylifenolit ja niiden etoksylaatit	Stabillaattori	PP- ja PS –muovit, PUR, PVC, fenoli/formaldehydi muovit, epoksi
<b>OP/OPE**</b>	Oktyylifenolit ja niiden etoksylaatit	antioksidantti, stabillaattori, emulgointiaine	fenoli/formaldehydi hartsit, PVC, styreeni-butadieeni copolymeerit
<b>OT*</b>	Organotinat	Biosidi, stabillaattori	PVC, PUR
<b>SCCP*</b>	Lyhytketjuiset klooriparafiinit	Sekundäärinen pehennin, palonsuoja-aine	PVC –muovi (USA), kumi ja elastomeerit (tiivisteet), PUR sekä tekstiili kuidut (EUR)
<b>PFOA*</b>	Perfluorooktaanihappo	Dispergointiaine	PTFE, fluoroetylenei propyleeni (FEP), polyvinylifluoridi (PVFD)
<b>PAH*</b>	Polyaromaattiset hiilivedyt	Epäpuhtautena mm. mineraaliöljypohjaisissa muoveissa	ABS, PP
<b>Pb</b>	Lyijy ja lyijy-yhdisteet	Lämpö ja UV-stabillaattori PVC:ssä Pigmentti	Kaikki muovityypit Stabillaattorit etenkin PVC:ssä
<b>Cd</b>	Kadmium ja kadmiumyhdisteet	Pigmenttinä Lämpö ja UV-stabillaattoreina	Kaikki muovityypit Stabillaattoreina etenkin PVC:ssä
<b>Hg*</b>	Elohopea ja elohopeayhdisteet	Katalyysaattori	PUR

\* Migroituu muoveista

\*\* Käytetään sekä reaktiivisena että additiivisena

BPA-pitoisuudet kaatopaikkojen suotovesissä korreloivat taloudellisen kehityksen kanssa (Teuten ym. 2009).

Vesifaasiin vapautuneet yhdisteet voivat päätyä sieltä edelleen esimerkiksi vesieliöihin kuten kaloihin. On myös havaittu, että useat eliöt voivat erehdyksessä syövä muovi-partikkeleita, jolloin yhdisteet voivat kulkeutua muovi-partikkeleista suoraan eliöiden kudoksiin. Joidenkin näiden lisäaineiden on todettu aiheuttavan vakavia toksikologisia vaikutuksia eliöissä ja ihmisissä.

## 8.2 Haitallisten yhdisteiden pidättyminen muoviin

Muovien on ajateltu olevan inerttejä materiaaleja niiden suuren molekyylikokonsa ansiosta, mutta niiden on myös havaittu sitovan itseensä haitallisia aineita ympäröivästä vedestä. Koska monilla muoveilla on samoja ominaisuuksia kuin eläinkudoksilla, ne kykenevät pidättämään ympäröivästä vesifaasista erilaisia orgaanisia haitta-aineita. Yhdisteille tyypillisiä piirteitä ovat niiden pysyvyys sekä lipofiilisyytensä. Sitoutumiseen vaikuttavat mm. muovipartikkeleiden koko. Mitä pienemmästä partikkelista on kysymys, sitä suurempi sitoutumispinta-ala sillä suhteessa on. Lisäksi on havaittu, että toisaalta myös ohuempi muovikalvo pidättää yhdisteitä huomattavasti tehokkaammin kuin paksumpi muovikappale (GESAMP 2015). Myös erilaisten muovien kyky absorboida haitallisia aineita vaihtelee. Etenkin PP- ja erityisesti juuri PE-muovien on havaittu absorboivan erityisen herkästi erilaisia yhdisteitä (polyklooratut bifenyylit PCB, polyaromaattiset hiilivedyt PAH, diklooridifenyylitrikloorietaani DDT jne.). Nämä hydrofobiset yhdisteet kiinnittyvät herkästi partikkeleiden pinnalle. Niistä on mitattu mm. PCB-yhdisteitä (27–980 ng g<sup>-1</sup>, jopa 2300 ng g<sup>-1</sup> Endo ym. 2005), DDT:tä (22–7100 ng g<sup>-1</sup>), PAH-yhdisteitä (39–1200 ng g<sup>-1</sup>) sekä alifaattisia hiilivetyjä (1,1–8600 ng g<sup>-1</sup>, Rios ym. 2007).

On arvioitu, että muovikappaleiden haurastuminen voi vaikuttaa sekä negatiivisesti että positiivisesti yhdisteiden sitoutumiseen. Lisääntynyt pinta-ala saattaa lisätä yhdisteiden sitoutumista, mutta toisaalta hapen liittyminen isäntäpolymeeriin ja siitä johtuva polarisoituminen saattaa vähentää hydrofobisten yhdisteiden kiinnittymistä. Kappaleiden iällä voi myös olla se merkitystä sitoutumiseen. PCB-yhdisteiden kiinnittymisen on havaittu olevan varsin hidasta ja mitä vanhemmista partikkeleista on kysymys, sitä kauemmin ne ovat ennättäneet yhdisteitä sitoa. Muovipartikkeleiden on myös arveltu hajoavan pääasiassa rannoilla, kun taas yhdisteiden sitoutuminen tapahtuu puolestaan meriympäristössä. Näin ollen samalta rannalta kerätyt, erilaiset partikkelit ovat voineet sitoa itseensä hyvin erilaisia määriä haitallisia yhdisteitä. Muovipellettien, joiden väri oli haalistunut lähes keltaiseksi (tai oranssiksi), havaittiin sisältävän selvästi enemmän PCB-yhdisteitä, joka saattaa selittyä osittain juuri partikkeleiden haurastumisella sekä niiden suuremmalla iällä (Endo ym. 2005). Haitallisten yhdisteiden sitoutuminen muovipartikkeleihin saattaa hidastaa osaltaan myös niiden biohajoamista. Näin ollen muovipartikkelit eivät ainoastaan toimi haitallisten aineiden kuljettajina, vaan ne voivat myös lisätä niiden pysyvyyttä (Teuten ym. 2009). Lisäksi on arveltu, että kaukana asutuksesta olevilla alueilla muovipartikkelit saattaisivat olla POP-yhdisteiden osalta pääasiallinen altistumisreitti eliöille (Endo ym. 2005).

Itämeren alueelta tietoa muovipartikkeleiden sisältämistä haitallisista aineista ei juuri ole saatavilla. Koska Itämerestä ja siellä elävistä eliöistä on kuitenkin mitattu useita samoja haitallisia orgaanisia yhdisteitä, joita muoveissakin esiintyy, näiden välistä yhteyttä tulisi selvittää tarkemmin.

## 9 Muovin vaikutukset meriympäristössä

Muovien ja etenkin mikromuovien aiheuttamat ekologiset ja terveydelliset riskit ovat vielä melko uusi tutkimusalue, johon liittyy paljon epävarmuuksia. Se kuitenkin tiedetään, että meriympäristöön päästyään roskat voivat aiheuttaa monenlaisia ongelmia eliöille. Makroroskat, etenkin erilaiset muovit, saattavat takertua eliöihin aiheuttaen liikuntaongelmia, epämuodostumia sekä jopa kuolemantapauksia. Lisäksi monen eri trofiatason eliön on havaittu erehdyksessä syövänsä roskakappaleita. Myös mikroroskat saattavat päätyä ravintoverkkoihin ja aiheuttaa terveydellisiä vaikutuksia mm. sisältämiensä haitallisten yhdisteiden kautta. Roskien mukana voi myös kulkeutua erilaisia vieraslajeja, taudinaiheuttajia sekä haitta-aineita pitkiäkin matkoja. Näiden edellä mainittujen vaikutusten lisäksi roskaantumisesta aiheutuu myös erilaisia sosioekonomisia vaikutuksia. Roskaantuneet rannat eivät enää houkuttele turisteja ja vapaa-ajanvietäjiä, kun taas kelluvat roskat voivat vahingoittavat aluksia sekä kalakantoja tai epäsuorasti pilata kalojen lisääntymisalueita ja myös tätä kautta pienentää kalakantoja (Watkins ym. 2015).

### 9.1 Suorat eliöstövaikutukset

Suurten roskien on havaittu aiheuttavan ongelmia monille eri merieliölajeille kuten linnuille, nisäkkäille, kaloille ja matelijoille. On arvioitu, että ainakin noin 267 eri lajia on kärsinyt roskaantumisen aiheuttamista haitoista (Allsopp ym. 2006). Eliöiden on havaittu mm. tukehtuvan, takertuvan, nääntyvän nälkään sekä jäävän loukkuun erilaisiin roskiin ja muoveihin. Etenkin ns. haamuverkkojen (ALDFG) sekä muiden hallitsemattomien kalastusvälineiden on havaittu aiheuttavan eliöille haittaa (kuva 9).

Meressä eliöt voivat erehtyä luulemaan muovipartikkeleita ravinnoksi, minkä vuoksi muovi ja sen sisältämät haitalliset yhdisteet voivat kertyä merieliöihin (Gesamp 2015). Muovien pysyvyys johtaa väistämättä niiden määrien kasvuun meriympäristössä, jolloin ne ovat myös helposti eliöiden saatavilla. On havaittu, että 44 % merilinnuista nielee kelluvia muovipartikkeleita, etsiessään ravintoa meren pintaosista (kuva 10). Norjalaisten tutkimusten mukaan 95 %:sta Pohjanmerellä vuosina 2007–2011 eläneiden myrskylintujen (*Fulmarus glacialis*) mahoista löytyi muovia. Lisäksi jopa 62 %:lla linnuista määrä oli suurempi kuin 0,1 g, mikä ylittää OSPAR:in määrittelemän ympäristölaatutavoitteen (OPAR 2014). Laatutavoitteena on siis se, ettei tuo 0,1 g ylity kuin 10 %:ssa merilintuja (Niva 2014). Keskimäärin lintujen mahoista löytyi 33 partikkelia, jotka painoivat 0,38 g (OPAR 2014). Hollantilaiset ovat puolestaan aloittaneen pohjoisessa elävien lintujen seurannan jo 1980-luvun alussa (Strand ym. 2015). Seurantaan on laajennettu ja nykyisin sen piiriin ulottuvat myös Färsaaret, Islanti, Ruotsi, Norja ja Tanska (Strand ym. 2015).

Mikromuovien kulkeutuminen ravintoketjussa on osoitettu mm. laboratorionko-keissa, jossa Itämeren eri eläinplanktonlajeja altistettiin 10 µm:n PS-muoveille. Ko-keissa havaittiin, että muoveja siirtyi paitsi eläinplanktoniin, myös niitä saalistaviin



**Kuva 9.** Haamuverkkoon takertunut kilpikonna (Kuva: NOAA's Marine Debris Program)

äyriäisiin (Setälä ym. 2014). Planktonyhteisön ohella myös Suomen rannikon litoraalieläimet, etenkin simpukat, voivat kerryttää itseensä suuria määriä mikromuoveja (Setälä ym. 2016). Pohjalla elävien simpukoiden kuten sinisimpukan (*Mytilus edulis*) on havaittu käyttäneen ravinnokseen noin 2–16 µm:n mittaisia muovipartikkeleita. Ranskan, Belgian ja Hollannin rannikolla tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin sinisimpukan ja monisukasmadon (*Arenicola marina*) syömiä mikromuovipartikkeleita. Kaikista tutkituista organismeista havaittiin mikromuoveja 0,2 (±0,3) partikkelia g<sup>-1</sup> (*M. edulis*) ja 1,2 (±2,8) partikkelia g<sup>-1</sup> (*A. marina*). Muovipartikkelit koostuivat LDPE- ja HDPE-muoveista sekä PS:stä (Strand ym. 2015). Ravintonsa suodattamalla hankkivien eliöiden esim. merisiilien, meritähtien ja merimakkaroiden on niin ikään havaittu keräävän muovihelmiä (10-20 µm:n mittaisia mm. PS-divinyylisentseeni). Näillä lajeilla ravinnonotto perustuu pitkälti saaliin koon mukaiseen valintaan (IMO 2015).

Hietakatkarapujen (*Crangon crangon*) on havaittu saalistavan erehdyksessä muovipartikkeleita. Pohjanmeren eteläosissa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että tämä opportunistinen saalistaja joka elää rannikonläheisissä matalissa vesissä pehmeillä pohjilla ja on näin ollen tiiviissä kosketuksissa sedimenttiin, oli kerännyt 200 jopa 1000 µm:n mittaisia synteettisiä kuituja. Kuituja havaittiin 65 %:ssa tutkittuja eliöitä. Valtaosa havaituista mikropartikkeleista 96,5 % oli synteettisiä kuituja ja vain pieni osa muovihelmiä tai filmimäisiä partikkeleita (IMO 2015).

Monien kaupallisten kalalajien tiedetään syöneen muovikappaleita, mutta niiden määrät ovat yleensä olleet alhaisia (< 1-2 partikkelia per yksilö). Muovipartikkeleiden aiheuttamia todellisia terveyshaittoja kaloille tai ihmisille ei tunneta vielä riittävän hyvin. Ei ole täysin selvää erittyvätkö partikkelit ulosteiden mukana, jäävätkö ne ruuansulatuskanavaan vai päätyvätkö jopa osaksi eliöiden kudoksia. Kalojen jatkuva altistuminen muoveille sekä muovien mahdollinen kertyminen kaloihin herättää kysymyksiä siitä, voiko niiden sisältämät haitalliset aineet siirtyä kalan syötäviin osiin (Kershaw 2016).

Valokalojen (*Myctophidae*), jotka saalistavat planktonia yöaikaan, on niin ikään havaittu syövän erehdyksessä muovipartikkeleita. Lisäksi ne voivat saalistaa planktonia, joka puolestaan on kerännyt itseensä muovipartikkeleita. Valokaloja saalistavat puolestaan tonnikalat, kalmarit, merilinnut ja hylkeet. Näin ollen mikropartikkelit voivat siirtyä ravintoverkossa aina vain korkeammille trofiatasoille. Muovipartikke-





**Kuva 10.** Midwaysaarilla kuvattu Havaijinalbatrossi, joka on nääntynyt nälkään. Linnun mahasta löytyi erilaisia muovikappaleita (Kuva: NOAA Marine Debris Program).

leiden väri vaikuttaa niiden kertymiseen, sillä useat kalat ovat visuaalisia saalistajia. Ne syövät mielellään muovipartikkeleista, jotka muistuttavat niiden luontaisia saaliskohteita (valkoiset ruskeat ja kellertävät partikkelit, IMO 2015). Eräiden tutkimusten mukaan jotkut linnut ja kalat puolestaan saalistavat mielellään värikkäämpiä partikkeleita. Tämä on kuitenkin hyvin lajikohtaista (Endo ym. 2005). Saalistettujen/syötyjen muovipartikkeleiden ominaisuudet riippuvat siis pitkälti niitä syövästä lajeista. Pinnalla ruokailevat lajit saalistavat erehdyksessä kelluvia partikkeleita (PE), kun taas pohjalla ruokailevat lajit voivat erehdyksessä syödä tiheydeltään suurempia ja näin ollen pohjaan painuneita muovipartikkeleita/-laatuja (mm. PVC) (IMO 2015). Erään tanskalaisen tutkimuksen mukaan mikromuovipartikkeleita on löydetty niin ikään kivinilkoista, turskasta ja simpuksista. Myös Itämeren silakoista on löydetty mikromuoveja (Strand ym. 2015).

Koska eliöiltä puuttuu muovien entsyymaattinen hajotusmekanismi, näiden kappaleiden ei ajatella sulavan elimistössä. Muoveja voidaan pitää näin bioinertteinä. Kuitenkin muovipartikkelit saattavat kulkeutua jopa solukalvojen sisään ja mahdollisesti jäädä osaksi eliöiden kudoksia. Tämä on mahdollista erityisesti nanomuovien tapauksessa. Vain muutamien merieliöiden kohdalla mikrokokoisten partikkeleiden on havaittu jäävän pysyvästi osaksi niiden kudoksia tai ruumiinnesteitä (simpukat ja sedimentissä elävät monisukasmadot, Gesamp 2015). Erään tutkimuksen mukaan simpukoilla muovipartikkelit voivat siirtyä kudoksiin ja säilyä siellä jopa useita viikkoja (Brown ym. 2008). Mikropartikkeleiden kulkeutumista solujen sisään on havaittu myös hyvin hienojakoisen HDPE-jauheen (>0–80 µm) osalta (von Moos et al 2012). On myös arvioitu, että fagosytoosi sataisi olla eräs mahdollinen kulkeutumis- ja sisäänottotapa myös mikromuovien osalta (EFSA 2016). Fagosytoosilla tarkoitetaan siis solusyöntiä, joka on alempien eliöiden tapa ottaa ravintoa sisäänsä. Ylemmillä eliöillä menetelmä toimii tiettyjen immuunijärjestelmän solujen mekanismina tuhota vieraita kappaleita, kuten bakteereja, tomuja tai pigmenttejä (EFSA 2016). Ääritapauksessa fagosytoosi mahdollistaa erittäin suurten kappaleiden, kuten kokonaisten bakteeritai hiivasolujen, sisäänoton immuunijärjestelmän makrofagisoluihin. Tästä kuitenkin tarvitaan vielä runsaasti tutkimustietoa. Nanomuovien kohdalla eliöille aiheutuvat ongelmat voivat olla selvästi mikromuoveja merkittävämpiä, sillä ne pystyisivät läpäisemään helposti solukalvot pienemmän kokonsa ansiosta. Lisäksi nanomuovien ajatellaan kykenevän sitomaan itseensä tehokkaasti myös erilaisia ympäristömyrkyjä (ks. kappale 9).

## 9.2 Habitaattivaikutukset

Suorien eliövaikutusten lisäksi meriroskat voivat vaikuttaa eliöyhteisöihin myös muuttamalla niiden elinympäristöjä. Irlannissa tutkittiin perinteisten muovikassien ja biohajoavien muovikassien vaikutusta pohjan makro- ja meiofaunayhteisöihin sekä biogeokemiallisiin prosesseihin (primäärituotanto, hapetus-pelkistysolosuhteet, orgaanisen aineen määrä sekä huokosveden ravinnepitoisuudet, IMO 2015). Yhdeksän viikon jälkeen kummankin tyyppiset kassit olivat aiheuttaneet pohjaan hapettomat olosuhteet, vähentäen näin primäärituotantoa ja orgaanisen materiaalin määrää sekä vähentäneet selvästi sedimentissä elävien selkärangattomien esiintymistiheyttä. Tutkimus osoittaa, että sekä perinteinen että biohajoava muovikassi muuttavat pohjan eliöyhteisöjä sekä niiden tuottamia ekosysteemipalveluja (IMO 2015). Roskien aiheuttamaa eliöyhteisöjen tukahtumista on havaittu myös koralliriutoilla (IMO 2015, kuva 11). Joillain alueilla roskat voivat myös muuttaa eliöyhteisöjä luomalle täysin uusia habitaatteja. Pehmeille pohjille vajonneet roskat voivat luoda uusia kiinnittymisalustoja kovienpohjien asukeille, joita alueella ei muuten tavattaisi.

## 9.3 Vieraslajien ja taudinaiheuttajien kulkeutuminen

Koska osa muovipartikkeleista kelluu merten pintaosissa, voivat ne toimia myös eliöiden kuljettajina. Vieraslajit pääsevät kulkeutumaan muovipartikkeleihin kiinnittyneinä pitkiäkin matkoja, niiden luontaisilta elinalueiltaan uusille asuinsijoille. Vieraslajeina kulkeutuvat loiset tai taudinaiheuttajat voivat aiheuttaa uusilla alueilla mm. kalakantojen sekä muiden taloudellisten lajien, kuten simpukoiden vähenemistä (Watkins ym. 2015). Lisäksi eräät vieraslajit voivat aiheuttaa haittaa kiinnittymällä erilaisiin rakenteisiin ja tukkimalla esim. putkistoja (mm. simpukat, merirokko jne. Watkins ym. 2015). Mikromuovipartikkelit voivat myös luoda eräänlaisia kiinnittym-





**Kuva 11.** Haamuverkot voivat mm. tukahduttaa pohjan habitaatteja (Kuva NOAA's Marine Debris Program).

misalustoja tiettyjen lajien, kuten meduusojen, kehitysvaiheille ja näin edesauttaa niiden massaesiintymisiä (Kershaw 2016).

On havaittu, että muovipartikkeleiden mukana voi kulkeutua myös ihmisterveyden kannalta merkittäviä taudinaiheuttajia. Eräs esimerkki on *Vibrio*-suvun bakteerit, jotka voivat aiheuttaa mm. ripulia ja verenmyrkytyksiä (Kershaw 2016).

## 9.4 Haitallisten yhdisteiden biokertyminen

Haitta-aineiden kertyminen eliöihin voi tapahtua ravinnon, hengityksen tai ihokosketuksen kautta. Lisäksi on ajateltu, että joidenkin aineiden osalta altistuminen voi tapahtua myös muovipartikkeleiden välityksellä. Yli 180 eliön on raportoitu syöneen muovipartikkeleita. Suurilla merinisäkkäillä altistuminen voi tapahtua myös epäsuorasti, niiden syömien eliöiden välityksellä. Hollannin rannikolla todettiin, että 80 %:ssa muovijätettä oli havaittavissa lintujen nokkimisjälkiä (Teuten ym. 2009). Lintujen mahanesteiden on havaittu toimivan eräänlaisena orgaanisen liuottimena, mikä helpottaa kemikaalien biokertymistä muovipartikkeleista eliöihin (GESAMP 2015). Ruokintakokeissa on havaittu, että PCB-yhdisteet siirtyvät muovipartikkeleista Syyriantikan (*Dendrocopos syriacus*) poikasiin.

Koska muovipartikkeleiden on havaittu kulkeutuvat eliöiden sisään, mahdollistaa se myös osaltaan erilaisten haitallisten aineiden kertymisen eliöihin. Valokalojen (Myctophidae) kudoksista on esimerkiksi havaittu suurempia palonsuoja-aineena käytettyjen bromattujen difenyyliettereiden (PBDE-183, -209) pitoisuuksia, jotka näyttäisivät korreloivan ruuansulatuskanavasta löydettyjen muovipartikkelimäärien kanssa. Lisäksi myrskylintujen (*Fulmarus glacialis*) kudoksista löytyneiden PBDE-pitoisuuksia (183–209) arvioitiin korreloivan niiden mahoista löytyneiden muovien kanssa. Lintujen saaliina käyttämistä kaloista ei nimittäin vastaavia kongeneereija löytynyt (Tanaka ym. 2013). Näin ollen onkin ajateltu, että korkeimman bromausasteen omaavat BDE-kongeneerit voisivat toimia indikaattoreina merten muovisaastumiselle (Rochman ym. 2014). Myös mono-(etyyliheksyyli)ftalaatin (MEHP) on arveltu kertyvän hetulavalaisiin mikromuoveista, jotka kulkeutuvat valaaseen joko suoraan vedestä tai sitten ravinnon kautta (Fossi ym. 2012). PE-muovien on havaittu keräävän enemmän haitallisia aineita ympäröivästä vedestä kuin esim. PP- ja PVC-muovit.

## 9.5 Kulkeutuminen

Arktisille vesille virtaavien muovien määrä on UNEP:n arvioiden mukaan vuosittain noin 62 000–105 000 tonnia (13 000 muovi kappaletta km<sup>2</sup>, Zarfl ym. 2010). Muovipelleteistä raportoitu PCB-yhdisteiden pitoisuus vaihtelee puolestaan 4–1260 µg kg<sup>-1</sup>. Näin ollen tämä tarkoittaisi vuosittain noin 250 g–130 kg suuruista PCB-yhdisteiden vuota arktisille alueille, aritmeettisen keskiarvon ollessa 12 kg (Zarfl ym. 2010). Varovaisempien arvioiden mukaan vastaava vuo olisikin 1 g–1,6 kg. PBDE-yhdisteiden kohdalla arvioitu vuosittainen vuo olisi puolestaan 25 g–5,9 kg. PFOA:n kohdalla arviointi on hankalampaa, mutta odotettavissa oleva vuosittainen maksimi PFOA-vuo olisi 4,6 kg (Zarfl ym. 2010). Mikropartikkelit voivat olla tärkeä kulkeutumisreitti myös sellaisille yhdisteille, jotka eivät normaalisti kulkeudu merivirtojen tai ilman mukana (Zarfl ym. 2010).

Mikromuovien löytyminen arktisten alueiden jääpeitteestä viittaa siihen, että mikromuovit voivat kertyä alueille, joissa ei ole juurikaan ole niiden varsinaisia päästölähteitä. Nämä partikkelit ovat näin ollen kulkeutuneet pitkiäkin matkoja sekä meriveden että ilman mukana. Arktinen merijää voi näin ollen edustaa ns. historiallista nielua, jonne nämä ihmisen aikaansaamat partikkelit päätyvät (Blidberg ym. 2015).

## 9.6 Sosioekonomiset vaikutukset

Merten roskaantuminen aiheuttaa lukuisia erilaisia haittavaikutuksia, joista osa on sosioekonomisia. Tässä kappaleessa pyritään valottamaan muutamien esimerkkien avulla sitä, millaisia kustannuksia roskaantumisen aiheuttaa eri sektoreille. On arvioitu, että kaiken kaikkiaan merten roskaantuminen aiheuttaisi maailmanlaajuisesti vuosittain noin 11,4 miljardin euron vahingot (Watkins ym. 2015).

### 9.6.1 Vaikutukset kalastukseen, vesiviljelyyn ja veneilyyn

Roskaantuminen voi aiheuttaa taloudellisia tappiota mm. alusten ja veneiden vahingoittumisen kautta. Roskat voivat tukkia alusten jäähdytysjärjestelmiä sekä takertua potkureihin. On arvioitu, että EU:ssa aluksille aiheutuvat vahingot olisivat lähes 57,7 miljoonaa euroa vuosittain, mikä vastaa 0,9 % kalastussektorin tuotoista (Kershaw 2016).

Ehkä näkyvimpiä taloudellisia vaikutuksia elinkeinokalastukseen on ollut haamuverkoilla ja muilla karanneilla kalastusvälineillä (ALDFG Abandoned Lost and Discarded Fishing Gears). Nämä meriympäristöön päätyneet kalastusvälineet ovat jatkaneet hallitsemattomasti pyydystämistä, aiheuttaen joidenkin lajien osalta niin määrällisiä kuin taloudellisia tappioita (kuva 12).

Skotlannissa arvioitiin, että kalastussektori kärsi vähentyneistä saaliista sekä repeytyneistä kalastuspyydyksistä noin 11,7–13 miljoonan euron tappiot vuosittain, mikä vastaa noin 5 % kalastuksen kokonaistuloista. Maailmanlaajuisesti kalastussektori tuottaa vuosittain noin 94 miljardia euroa, joten potentiaalinen haitta, jonka roskaantuminen kalastussektorille kaiken kaikkiaan aiheuttaa, on useita miljardeja euroja (Wurpel ym. 2011).

Mikromuovipartikkeleiden päätyminen simpukoihin ja ostereihin on puolestaan voitu osoittaa useissa tutkimuksissa. Simpukat ottavat ravintonsa suodattamalla ja asuttavat tyypillisesti rannikonläheisiä alueita, joissa ne myös altistuvat korkeammille mikromuovipitoisuuksille kuin liikkuvat eliöt. Simpukoista havaitut mikromuovipartikkelit vaihtelevat 5 µm–5 mm ja koostuvat niin ikään kuiduista, pelleteistä kuin fragmenteista. Muovikappaleiden määrät ovat vaihdelleet kaupallisissa simpukoissa <1–75 partikkeliin per yksilö alueesta riippuen. Pelkästään mikromuovikuituja on



**Kuva 12.** Rantaan ajautuneita haamuverkkoja (Kuva: NOAA's Marine Debris Program).

löydetty kuitenkin selvästi enemmän esim. kanadalaisista viljellyistä sinisimpukoista (*Mytilus edulis*), joissa kuituja havaittiin keskimäärin 178 kappaletta per yksilö. Mikromuoveja on havaittu myös katkaravuissa sekä hummereissa (Kershaw 2016). Ihmisten altistuminen merten mikromuovipartikkeleille tapahtuu pääasiassa juuri simpukoiden ja kokonaan syötävien kalojen ja muiden merenelävien kautta. Ihmisen kokonaisaltistuksen selvittäminen vaatii kuitenkin vielä lisätutkimuksia, sillä mikromuoveja on löydetty myös muista elintarvikkeista kuten hunajasta, suolasta ja saksalaisista oluista (EFSA 2016).

Eräässä belgialaisessa tutkimuksessa yritettiin arvioida runsaasti simpukoita syövien eurooppalaisten altistumismäärää mikromuoveille ja siinä todettiin, että altistuminen vaihtelee vuosittain 11 000–100 000 mikropartikkelin välillä (Van Cauwenberghe & Janssen 2014). Suomessa simpukoiden kykyä suodattaa vedestä ja pohjasedimentistä mikromuoveja on tutkittu kokeellisesti Hangon merialueella (Setälä ym. 2016). Parhailtaan samalla alueella on käynnissä tutkimus, jonka on tarkoitus seurata mikroroskan kertymistä simpukoihin luonnonoloissa. Ravintoverkon kannalta simpukat ovat keskeisessä asemassa, koska ne suodattavat tehokkaasti paitsi ravintoa, mutta myös mikroroskaa vedestä.

### 9.6.2 Vaikutukset turismiin

Kuluttajien asenteet ja käyttäytyminen vaikuttavat pitkälti siihen, mitä meriympäristöön päätyy. Eri puolilta maailmaa<sup>2</sup> rannoilta kerätyt roskat edustivat hyvin voimakkaasti nykyistä take away-yhteiskuntaa. Valtaosa havaituista roskista koostui tupakantumpeista (2 248 065 kpl), ruokakääreistä (1 376 133 kpl), muovisista juomapulloista (988 965 kpl), muovisista pullon korkeista (811 871 kpl), pilleistä (519 911 kpl), lasipulloista (396 121 kpl) ja tölkeistä (382 608 kpl).

<sup>2</sup> Coastal Cleanup 2014, johon osallistui 561 895 vapaaehtoista 91 maasta. Roskia siivottiin yhteensä 7 342 tonnia noin 21 501 km:n matkalta rantoja eri puolilla maailmaa.

Rantojen siivouskustannukset voivat nousta melko suuriksi. On arvioitu, että Belgiassa ja Hollannissa rantojen siivoukseen kului vuosittain noin 10,4 miljoonaa euroa, kun taas Britanniassa arvioitu summa on 18 miljoonaa euroa. Biskajanlahdella ja Iberian rannikoilla kustannukset ovat Espanjan ja Ranskan osalta molemmilla noin 80 000 euroa (Watkins ym. 2015). Britannian rantaviivan pituus on noin 12 000 km, jolloin arvioitu siivouskustannus yhtä kilometriä kohden olisi noin 1 500 euroa. Maailmanlaajuisesti ajateltuna kustannukset kaiken rantaviivan (jota on yhteensä noin 34 miljoonaa km) puhtaanapitoon kului vuosittain noin 50 miljardia euroa (Wurpel ym. 2011).

Roskaiset rannat eivät houkuttele turisteja ja voivat näin ollen merkittävästi vaikuttaa sellaisten maiden talouteen ja työllisyysasteeseen, jotka ovat riippuvaisia turismista. Vaikutukset voivat olla sangen merkittäviä, sillä esim. eräällä eteläkorealaisella saarella roskaantumisen arveltiin vähentäneen tuloja 19,9–31,7 miljoonaa euroa vuonna 2011, jolloin turisteja oli kaikkiaan 500 000 vähemmän. Ruotsissa vastaava tappio roskaantumisen aiheuttaman turismin vähenemisen vuoksi oli arviolta 19,8 miljoonaa euroa (Kershaw 2016).

## 10 Roskaantumisen hallintakeinot

Merten roskaantuminen ja mikromuovit ovat ympäristöongelma, joka ei tunneta valtioiden rajoja. Muovit voivat kulkeutua kauas varsinaisilta päästölähteiltään, minkä vuoksi niiden hallintaan tarvitaan kansainvälisiä toimia. Tärkeimmät toimenpiteet merensuojelun näkökulmasta ovat päästölähteillä tehtävät toimenpiteet roskaantumisen estämiseksi ja vähentämiseksi. Etenkin mikromuovien osalta tämä on erityisen tärkeää, sillä niiden poistaminen meriympäristöstä on lähes mahdotonta. Joissain tapauksissa suurempia roskia voidaan myös poistaa ympäristöstä, mutta kustannukset ovat usein varsin suuria. Toimenpiteitä mielekkyyttä mietittäessä tulisi huomioida, että muovien elinkaaren alkupäässä sekä niiden päästölähteillä tapahtuvat toimenpiteet ovat suhteessa selvästi edullisempia kuin kunnostustoimenpiteet ja roskien poistaminen ympäristöstä.

### 10.1 Jätehuolto

Vuonna 2014 Euroopassa päätyi jätteeksi 25,8 miljoonaa tonnia muovia. Tästä kaikkiaan 29,7 % kierrätettiin, kun taas 39,5 % päätyi energian talteenottoon. Kaatopaikoille puolestaan päätyi 30,8 % muovijätettä (PlasticsEurope 2015). Yhtenä roskaantumisen ongelmana on usein se, että muovista valmistetaan paljon kertakäyttöisiä tuotteita, joiden rahallinen arvo on olematon eikä niillä ole kierrätysarvoa (Watkins ym. 2015).

Eräs merkittävä ongelma jätehuollon kannalta on se, että muovin käyttö lisääntyy nopeasti myös kehittyvissä maissa, joissa jätehuolto ei ole riittävällä tasolla. Jos jätehuolto ei pelaa riittävän tehokkaasti, päätyvät roskat sitä todennäköisemmin ympäristöön ja edelleen mereen. Näin ollen jätehuollon tehostaminen, kuten esim. riittävä määrä tarpeeksi tiiviitä keräysastioita (kuva 13), kaatopaikoilta tapahtuvan muovijätteen karkaamisen estäminen, kaatopaikkojen sijoittaminen riittävän kauas rannikoilta tai jokien läheisyydestä sekä laittomien kaatopaikkojen synnyn ehkäisy on tärkeää. Roskien pääsyn estäminen sekä kulkeutuminen myös hulevesin kautta meriympäristöön tulisi ottaa entistä tarkemmin huomioon.





**Kuva 13.** Muovijätteen keräysastioiden tulisi olla riittävän suuria ja suljettuja, jotta muoviroskat eivät leviäisi esim. tuulten tai lintujen mukana ympäristöön. (Kuva Suomen ympäristökeskus Fjäder).

## 10.2 Tuottajat ja teollisuus

Kulutuksen vähentäminen ja tuotteiden suunnitteleminen pitkäikäisiksi, ympäristöystävällisiksi (esim. täydellisesti biohajoaviksi) ja mahdollisesti kierrätettäviksi ovat avainkeinoja roskaantumisen ehkäisemiseksi. Tähän liittyy oleellisesti mm. laajennettu tuottajavastuu muovijätteen vähentämiseksi tuotteiden koko elinkaaren aikana. Mikromuovien käytön vähentäminen, korvaaminen tai kieltäminen erilaisissa kuluttajatuotteissa, kuten kosmetiikassa, on niin ikään eräs potentiaalinen toimenpide. Tietoisuuden lisääntyessä ja ympäristövaatimusten kiristytessä monet kosmetiikkatuotteita valmistavat yritykset ovatkin vapaaehtoisesti luopuneet mikromuovin käyttämisestä valmistusprosesseissaan. Pohjoismaissa joutsenmerkityt ja EU:ssa ympäristömerkillä varustetut poishuuhdeltavat kosmetiikkatuotteet eivät sisällä mikromuoveja. Lisäksi päästölähteiden hallintaan voidaan kehittää erilaisia teknisiä ratkaisuja. Tällaisia ovat esim. pesukoneisiin asennettavat suodattimet muovikuitujen pääsyn ehkäisemiseksi jätevesiin ja puhdistamoille. Teollisuus- ja prosessointilaitosten osalta jatkossa tulisi kiinnittää entistä tarkempaa huomiota niiden mahdollisesti aiheuttamiin muovipäästöihin, sekä huomioida erilaiset muovipäästöt jatkossa tarpeen mukaan myös ympäristöluvuissa.

## 10.3 Taloudelliset ohjaukeinot

Roskaantumisen vähentämiseen voidaan vaikuttaa myös erilaisilla taloudellisilla ohjaukeinoilla. Ohjaukeinot voivat olla joko erilaisia kannustimia tai esteitä/hidastimia. Jotkut tuotteet voidaan esim. saattaa panttijärjestelmän piiriin, jolloin myös niiden kierrätys tehostuu. Panttijärjestelmä toimii Suomessa hyvin esimerkiksi PET-pulloille, sillä niitä ei rantaroskan seasta löydy. Jonkin verran pantittomia pul-



loja rannoilta puolestaan löytyi (MARLIN 2013). Mikäli tuotteiden kulutusta halutaan hillitä, voidaan niille asettaa myös erilaisia maksuja tai veroja. Lisäksi erilaisia kieltoja, kuten muovikassikielto, on käytössä useissa maissa. Kielloilla on pyritty rajoittamaan mm. tietynpaksuisia kasseja, ei-biohajoavia kasseja tai maksuttomien kassien jakelua. Kielto on yksiselitteinen ohjauskeino esimerkiksi sellaisissa maissa, joissa puutteellisen jätehuollon vuoksi muovikassien aiheuttama roskaantuminen on merkittävä ongelma, eikä maassa ole toimivaa verotusjärjestelmää tai mahdollisuuksia muiden ohjauskeinojen käyttöön (Salmenperä ym. 2016). Vuonna 2002 Irlanti otti käyttöön 0,15 euron kassikohtaisen veron muovisille kertakäyttöisille ostoskassille. Tavoitteena oli vähentää roskaantumista sekä kannustaa kuluttajia vaihtamaan kertakäyttökassit kestokasseihin. Havaintojen mukaan muovikassien kulutus väheni ensimmäisenä vuonna enemmän kuin 90 %. Henkilöä kohden laskettuna muovikassien käyttömäärät vähentyivät 328 muovikassista 21 muovikassiin/henkilö/vuosi. Saman tutkimuksen mukaan suurissa supermarketeissa pantiin merkille 75 % lisäys kestokassien kysynnässä (Salmenperä ym. 2016).

Suomessa selvitettiin vuonna 2016 kansallisia toimia muovisten kantokassien käytön vähentämiseksi (Salmenperä ym. 2016). Selvityksen perusteella Suomessa muovikasseja käytetään selvästi vähemmän kuin useissa muissa Euroopan maissa, henkilöä kohden vuodessa arvioituna. Lisäksi päivittäistavara-kaupan muovikassit ovat maksullisia. Suomessa jätehuolto edellyttää roskien pakkaamista, johon muovikasseja myös paljolti käytetään. Näin ollen Suomessa muovikassien kulutuksen vähentämiseksi ehdotettiin kieltojen tai verotuksen sijaan maksullisuuden ulottamista myös erikoiskaupan ja erilaisten palveluiden kasseihin sekä ns. vapaaehtoista sopimusta kauppoille, jonka sisällöstä ja tavoitteista sovitaan tarkemmin erikseen (Salmenperä ym. 2016). Ohuet ns. hedelmäpussejä jäivät varsinaisen tarkastelun ulkopuolelle, mutta niiden osalta suositeltiin, että kaupat poistaisivat ne kassojen yhteydestä kokonaan. Toinen mahdollisuus olisi perä näistä kassojen yhteydessä annettavista hedelmäpusseista erillistä maksua, mikä myös hillitsisi niiden kulutusta (Salmenperä ym. 2016).

Oikein kohdennettuna taloudellisten ohjauskeinojen on havaittu toimivan varsin tehokkaasti. Taloudellisia ohjauskeinoja asettaessa tulee kuitenkin huomioida alueellisesti siitä saatavat sosioekonomiset hyödyt, suhteessa niiden mahdollisesti aiheuttamiin epäoikeudenmukaisiin vaikutuksiin.

## 10.4 Kuluttajat ja turismi

Tuottajavastuun lisäksi merkittävä vastuu roskaantumisen hallinnassa on myös kuluttajilla. Nämä kaksi muodostavat eräänlaisen kehän, sillä tuottajat usein tuottavat sellaisia tuotteita, joita kuluttajat vaativat. Kuluttajien tietoisuuden lisääminen sekä vaikuttaminen olemassa oleviin asenteisiin ovat avainasemassa. Vuorovaikutteinen keskustelu ja roskaantumisen aiheuttamien vaikutusten sekä tappioiden voimakkaampi esiintyminen, voivat merkittävästi auttaa muuttamaan vallitsevaa käyttäytymistä. Tiedon välittämiseksi kuluttajille on jo nyt kehitetty mm. erilaisia älypuhelinsovelluksia, joilla voi helposti tarkistaa sisältävätkö heidän valitsemansa kosmetiikkatuotteet mikromuoveja, ennen ostopäätöksen tekoa (CosmEthics, Beat the Microbead jne.).

Esimerkkejä turismin ja vapaa-ajanvieton aiheuttaman roskaantumisen vähentämiskeinoiksi ovat puolestaan mm. tupakoinnin kieltäminen rannoilla, muovikassien ja muovipullojen tuonnin kieltäminen rannoille, erilaiset ympäristösertifioidut hotelliketjut tai maksulliset uimarannat, joissa osa tuotoista käytetään rantojen puhdistustoimenpiteisiin sekä jätehuollon ja keräyksen ylläpitoon (Watkins ym. 2015).

## 10.5 Kunnostus

Rantojen puhdistaminen roskista on paikoin vielä melko helppoa, mutta meriympäristöstä roskien poistaminen on huomattavasti hankalampaa. Mertenkunnostus ja -siivous toimenpiteet ovat vasta aluillaan. Hollantilainen Boyan Slatin teki vuonna 2014 aloitteen merissä kelluvan muovijätteen poistamiseksi (The Ocean Cleanup). Hankkeessa pyritään keräämään roskat ajelehtivilla, aaltojen ja virtausten energiaa hyödyntävillä keräyslaitteilla, jotka voidaan tyhjentää säännöllisesti. Hanke on vasta kokeiluvaiheessa, mutta suuren mittaluokan pudistusoperaatio on tarkoitus käynnistää vuonna 2020 Pohjoisella Tyynellämerellä. Tällä menetelmällä voidaan kuitenkin poistaa ainoastaan tietyllä syvyydellä veden pintaosissa kelluvat makroroskat, mikroroskiin tai pohjaan vajonneisiin roskiin sillä ei voida vaikuttaa.

## 10.6 Kalastus ja vesiviljely

On arvioitu, että 640 000 tonnia verkkoja ja kalastusvälineitä katoaa tai hylätään meriin vuosittain (ns. haamuverkot ALDFG). Tämä vastaa noin 10 % kaikesta meren roskasta (UNEP 2009). Nykyisin verkkoihin on alettu suunnittelemaan erilaisia tunnistimia, joilla niitä voitaisiin jäljittää. Niihin voidaan kiinnittää mm. erilaisia paikantimia, joiden avulla niiden löytyminen meriympäristöstä helpottuisi. Kalastajia voidaan myös kannustaa ja palkita keräämään verkkoihin sekä trooleihin takertuneet muut roskat ja tuomaan ne satamaan sen sijaan, että ne heitettäisiin takaisin mereen. Tämä edellyttää myös satamissa asianmukaisten vastaanottopisteiden olemassa oloa.

# 11 Toimijat

## 11.1 UNEP

YK:n ympäristöohjelma UNEP (United Nations Environment Programme) toimii eräänlaisena koordinaattorina merten roskaantumisongelman hillitsemiseksi. UNEP on julkaissut useita tutkimuksia roskaantumiseen ja mikroroskiin liittyen, sekä laatinut ohjeistuksen roskan tunnistamisen seurannan tueksi.

YK:n ympäristökokouksen toinen istunto (United Nations Environment Assembly; UNEA2) hyväksyi toukokuussa 2016 päätöslauselman merien muovijätteestä ja mikromuoveista. Päätöslauselma tunnistaa merten muovijätteet globaaliksi ongelmaksi ja siinä kehoitetaan maita ryhtymään useisiin toimiin (mm. tutkimus, seuranta, toimintaohjelmien laadinta, tiedonvaihto) roskaantumisongelman hillitsemiseksi (Urho 2016). Päätöslauselma pyrkii vauhdittamaan useiden ympäristösopimusten ja YK:n järjestöjen keskinäistä yhteistyötä merten muovijäteongelman torjumiseksi. UNEP itse pyrkii vastaamaan ja toimimaan ongelman ratkaisun globaalina koordinaattorina. Päätöslauselman heikkoutena on se, että ehdotetut toimet eivät ole kansainvälisöidyllisesti sitovia, vaan ne ovat toteutettavissa kukin maan omien intressien mukaisesti. Euroopassa monet toimet ovat jo, ainakin osittain, sisällytetyt lainsäädäntöön ja myös alan tutkimukseen panostetaan voimakkaasti. Kehityksissä puolestaan lainsäädäntö on edelleen puutteellista, mikä heijastuu laajoina hot spot-alueina mm. Kaakkois-Aasiassa. Päätöslauselman vaikuttavuutta heikentää myös se, että siihen ei ole sisälly seurantamekanismeja, eikä työllä ole koordinoivaa suhteellisuutta (Urho 2016).

UNEP:n isännöimä ja koordinoima The Global Programme of Action for the Marine Environment from Land Based Activities (GPA) on ainoa kansainvälinen taho, joka tarkastelee maaperän, makeiden vesien ja merten ekosysteemien välistä yhteyttä. GPA pyrkii suoriin toimenpiteisiin. Se ohjeistaa kansallisia ja alueellisia viranomaisia estämään, vähentämään ja kontrolloimaan merialueiden tilassa tapahtuvia muutoksia, maalta tapahtuvien toimien johdosta. GPA:n tavoitteena on mm. selvittää roskien päästölähteitä sekä roskaantumiselle herkkien alueiden sekä kriittisten habitaattien esiintymistä. Yhteensä 108 valtiota sekä EU on sitoutunut vuodesta 1995 lähtien suojelemaan meriympäristöä maalla tapahtuvilta toimilta.

UNEP:n alueellisten merien yleissopimuksella (Regional Seas Convention and Action Plans RSCAP) on merkittävä rooli yhteistyön edistämiseksi eri valtioiden kesken. Alueellisten merien yleissopimus perustettiin 1974 ja se luo puitteet oikeudellisille, hallinnollisille aineellisille ja taloudellisille toimille, Agenda 21 toimeenpanoa varten (UNEP 2009). Agenda 21 on YK:n kestävä kehityksen toimintaohjelma, joka hyväksyttiin Rio de Janeirossa vuonna 1992. Alueellisten merten yleissopimuksella pyritään estämään merialueiden tilan huonontuminen kestävien toimenpiteiden kautta ja kannustamalla maita yhteistyöhön merialueiden suojelemiseksi. Sopimuksen piiriin kuuluu kaikkiaan 18 alueellista merisopimusta ja toimenpideohjelmaa, joista kuusi kuuluu suoraan UNEP:N alaisuuteen (1-6, taulukko 10). RSCAP tukee GPA:n

alueellista toimintaa meriympäristön suojelemiseksi maalla tapahtuvien toimien johdosta. Eri merialueille on laadittu omat toimintasuunnitelmansa, joissa otetaan huomioon kunkin alueen erityispiirteet. Toimintasuunnitelmien yhteiskunnallinen vaikuttavuus voi niin ikään vaihdella, sillä joillain alueilla toimenpiteet ovat laillisesti sitovia ja toisilla taas esim. suosituksia.

**Taulukko 10.** Alueelliset meret ja niitä koskevat sopimukset.

	Merialue	Sopimus
1	<b>Välimeri</b>	Barcelonan sopimus
2	<b>Karibianmeri</b>	Cartagenan sopimus
3	<b>Itä-Aasian meret</b>	COBSEA
4	<b>Itä-Afrikka</b>	Nairobin sopimus
5	<b>Tyynenmeren luoteisosa</b>	NOWPAP
6	<b>Länsi-Afrikka</b>	Abidjan sopimus
7	Mustameri	Bukarestin sopimus
8	Itämeri	Helsingin sopimus
9	Koillis-Atlantti	OSPAR:n sopimus
10	Kaspianmeri	Teheranin sopimus
11	ROPME *	Kuwaitin sopimus
12	Punainenmeri ja Adeninlahti	Jeddahin sopimus
13	Tyyne meren koillisosa	Antiguan sopimus
14	Tyynenmeren saaret	Noumean sopimus
15	Tyynenmeren kaakkoisosa	Liman sopimus
16	Etelä-Aasian meret	SACEP, SAS
17	Arktiset alueet	Ottawan julistus
18	Antarktiset alueet	CCMLAR

\* Bahrain, Iran, Irak, Kuwait, Oman, Qatar, Saudi Arabia ja Yhdistyneet Arabiemiirikunnat

## 11.2 Kansainväliset sopimukset

### 11.2.1 MARPOL

Merenkulun ympäristönsuojelua koskevan lainsäädännön kulmakiven muodostaa IMO:n (International Maritime Organization) MARPOL -sopimuksen liite V (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), joka kieltää kaiken muovin dumpaamisen aluksista meriin. Sopimuksen liitteen V päivitetty versio astui voimaan ensimmäinen tammikuuta 2013. Kesäkuussa 2015 sopimuksen piirissä oli yhteensä 147 maata.

### 11.2.2 UNCLOS

YK:n merilakien yleissopimuksen (United Nations Convention on the Law of the Sea) on allekirjoittanut 157 maata ja ratifioinut 167, mukaan lukien EU:n. Sopimus astui voimaan vuonna 1994 ja se luo kehyksen kaikelle meriympäristössä tapahtuvalle toiminnalle. Monet yleissopimuksen määräykset kattavat kansainvälisesti vallitsevia oikeuskäytäntöjä, jotka sitovat sellaisenaan myös sopimuksen ulkopuolelle jääneitä maita. UNCLOS:n osa XII käsittelee Meriympäristön suojelua ja säilyttämistä, sekä vaatii maita yksittäin tai yhdessä estämään, vähentämään ja kontrolloimaan meriympäristön pilaantumista parhaita käytäntöjä noudattaen.

### 11.2.3 Lontoon sopimus ja protokolla

Lontoon sopimus astui voimaan 1972. Sen tarkoituksena on suojella meriluontoa estämällä jätteiden dumpppauksen mereen. Nykyisin 87 maata on allekirjoittanut sopimuksen. Sopimus koskee maalta peräisin olevien jätteiden tahallista dumpppausta mereen, jätteen polttoa merellä sekä ruoppausjätteitä. Lontoon protokolla, jonka tarkoituksena oli uudistaa ja lopulta korvata Lontoon sopimus, astui voimaan 1996. Sen on allekirjoittanut 46 maata.

### 11.2.4 Baselin sopimus

Baselin sopimus koskee vaarallisten ja muiden jätteiden siirtoja sekä niihin kohdistuvia ympäristön kannalta parhaimpia toimenpiteitä. Sopimus hyväksyttiin vuonna 1989 ja se astui voimaan 1992. Mikä tahansa maalta peräisin oleva vaarallinen jäte kuuluu sopimuksen piiriin. Toisaalta myös osa ei-vaarallisista jätteistä, jotka kuitenkin vaativat erityistä harkintaa (kotitalouksista kerättävät jätteet) kuuluvat sopimuksen piiriin. Kuitenkaan kiinteä muovijäte ei normaalisti kuulu sopimuksen toimialaan, mikäli se ei sisällä lisäaineita, jotka on listattu liitteissä I ja II. Sopimus pyrkii kuitenkin yleisesti jätteensynnyn ehkäisyyn, minimointiin, kierrätyksen ja uudelleen käytön edistämiseen sekä vaarallisen ja muun jätteen turvalliseen käsittelyyn.

### 11.2.5 Tukholman sopimus

Tukholmassa vuonna 2001 solmittu yleissopimus kieltää tai voimakkaasti rajoittaa pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP Persistent Organic Pollutants) tuotantoa, kauppaa, käyttöä ja päästöjä. Sopimus astui voimaan toukokuussa 2004 ja on laajuudeltaan yksi suurimmista ympäristösopimuksista. Tällä hetkellä osapuolia on 179. Sopimus pyrkii suojelemaan ihmistä ja luontoa POP-yhdisteiden haitoilta. Useat sopimuksen piiriin lisätyt POP-yhdisteet ovat lipofiilisiä, minkä vuoksi ne kertyvät helposti eliöiden rasvakudokseen. Tämän ominaisuutensa vuoksi ne voivat pidäytyä myös muoveihin. Lisäksi ne ovat toksisia sekä pysyviä ja kulkeutuvat ilman mukana kauas varsinaisilta päästölähteiltään. Sopimukseen on lisätty uusia aineita siten, että nykyisin POP-yhdisteitä on 26. Uudet rajoitukset tulevat voimaan osapuolten ratifioidessa muutokset kansallisessa lainsäädännössään. Euroopan Unionissa Tukholman sopimuksen velvoitteet ovat voimassa POP-asetuksella (EY) 850/2004. Osa muoveista voi sisältää POP-yhdisteitä, millä on vaikutusta mm. niiden kierrätysmahdollisuuksiin.

### 11.2.6 Rotterdamin sopimus

Suomi ja EU allekirjoittivat vuonna 1998 kansainvälisen Rotterdamin yleissopimuksen ns. PIC-menettelystä (Prior Informed Consent, tietoon perustuva ennakkosuostumus). Tämä mukaan Rotterdamin sopimuksen osapuolet sitoutuvat siihen, että sopimuksen piiriin kuuluvia kemikaaleja ei viedä maihin, jotka ovat kieltäneet niiden tuonnin. Sopimuksen tarkoituksena on tarjota sopijamaille mahdollisuuden kieltäytyä vastaanottamasta erityisen vaarallisia kemikaaleja. Yleissopimuksessa mainittujen kemikaalien tuonnista jäsenmaat voivat päättää saatuaan yhteenvedon kemikaalin vaaroista ja riskeistä. Muovit voivat kuulua sopimuksen piiriin vain jos ne sisältävät liitteissä mainittuja kemikaaleja.

## 11.2.7 Honolulun strategia

Honolulu strategia kehitettiin UNEP:n ja NOAA:n avustuksella tukemaan tutkijoita, alan ammattilaisia, päätöksentekijöitä sekä yksityistä sektoria ympäri maailman. Honolulu strategia on puiteasiakirja, jonka tarkoituksena ei ole syrjäyttää tai korvata kansallisten viranomaisten, yhteiskunnan, teollisuuden, yritysten, sidosryhmien toimintaa, vaan se pyrkii parantamaan eri toimijoiden välistä yhteistyötä merten roskaantumisongelman ratkaisemiseksi ympäri maailman. Merten roskaantumista käsitellään strategian mm. tavoitteessa B, jonka tarkoituksena on: Vähentää merisyntyisten jätteiden määrää ja vaikutuksia, mukaan lukien mereen päätyvät kiinteät jätteet; hävinneet kontit; hylätyt, kadonneet tai muuten poisheitetyt kalastusvälineet (ALDFG); hylätyt alukset (ks. strategiat B1, B2, B3, B5 ja B6).

## 11.2.8 Biodiversiteetin suojelun ja kestävän käytön sopimus

YK:n Biodiversiteetti sopimus (SopS 78/1994) (Convention on Biological Diversity, CBD), astui voimaan 1993. Sopimuksen artikkelit 6 ja 8 ovat erityisen relevantteja merten roskaantumisen ja sen vaikutusten näkökulmasta. Suomi on sitoutunut Biologian monimuotoisuutta koskevan yleissopimuksen päätavoitteisiin, jotka ovat biologisen monimuotoisuuden suojelu ja kestävä käyttö sekä geenivaroista saatavien hyötyjen tasapuolinen ja oikeudenmukainen jako. Suomi on myös sitoutunut näiden päätavoitteiden entistä tehokkaampaan toimeenpanoon tarkoituksena pysäyttää vuoteen 2020 mennessä biologisen monimuotoisuuden häviäminen maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja kansallisesti.

## 11.3 EU

Vuonna 2008 hyväksytty EU meristrategiapuitedirektiivi (MSFD 2008/56/EC) edellyttää kaikkien Euroopan merien hyvän tilan saavuttamista tai ylläpitämistä vuoteen 2020 mennessä. Yksi hyvän tilan kuvaajista on roskaantuminen, jota mitataan laadullisilla muuttujilla ympäristöstä. Seurannassa huomiotaan kaikenkoininen ja -laatuinen roska, ei ainoastaan muovit. Jäsenmailta edellytetään roskaantumisen ja sen vaikutusten arviointia, seurantaa ja toimenpiteitä roskaantumisen vähentämiseksi. Roskat on siis tällä hetkellä huomioitu meristrategiadirektiivissä (MSFD) muttei vesipuitedirektiivissä (WFD). Kuitenkin joet ovat merkittävä kulkeutumisreitti maalta peräisin oleville roskille. Näin ollen koordinaatio MSFD ja WFD:n välillä voisi olla tarpeen. Lisäksi muovit voitaisiin huomioida mahdollisesti myös REACH:n puolella, niiden sisältämien lukuisten haitallisten aineiden vuoksi (Van Der Val ym. 2015).

Vuonna 2015 hyväksyttiin EU:ssa säädös, joka edellyttää jäsenmailta toimia muovisten kantokassien kulutuksen vähentämiseksi. Suomen ympäristökeskus teki selvityksen Suomen kannalta tarkoituksenmukaisista toimenpiteistä (Salmenperä ym. 2016). Muovikassien vähentämistavoitteen tarkoituksena on osaltaan vähentää meriin joutuvan muoviroskan määrää.

Mikromuovit on kielletty EU-ympäristömerkin kriteereissä poishuuhdeltaville kosmeettisille valmisteille (esim. kuorintavoiteet, shampoot ja suihkusaippuat) (2014/893/EU). Lisäksi parhaillaan ollaan uusimassa muun muassa tiski- ja pyykinpesuaineiden ympäristömerkkikriteerejä, joihin on niin ikään todennäköisesti tulossa mikromuovikielto. Myös pohjoismaisella joutsenmerkillä merkityt kosmeettiset tuotteet eivät saa sisältää mikromuoveja.

Resurssitehokkuuden näkökulmasta (EU:n Vihreäkirja European Strategy on Plastic Waste in the Environment) on erityisen tärkeää, välttää muovijätteen sijoittamista kaatopaikoille, joka on ilmeistä resurssien tuhlausta. Paras keino olisi kierrättämi-



nen, toiseksi paras puolestaan energian talteenotto. Muovin kaatopaikkasijoitus on kuitenkin edelleen yleistä monissa jäsenvaltioissa, koska saatavilla ei ole sopivia vaihtoehtoja. Resurssitehokas muovin kierrätys vähentää myös raaka-aineen tuontia sekä kasvihuonekaasupäästöjä.

Euroopan ympäristökeskuksella (European Environmental Agency EEA) on myös meneillään hanke, jossa seurataan meriroskan määriä. EEA on kehittänyt mobiilisovelluksen (Marine Litter Watch), jonka avulla voidaan seurata meriroskien esiintymistä. Tämän tarkoituksena on helpottaa päästölähteiden ja roskamäärien tunnistamista ja tätä kautta auttaa myös päätöksen teossa. Lisäksi EU on kehittänyt meriroskan monitorointia ja luokittelua varten ohjeistuksen (JRC 2013).

## 11.4 HELCOM

Helcom toimii hallintoelimenä, Itämeren ympärysvaltioiden yhteisessä meriympäristön suojelussa, kaikkia kuormituslähteitä koskien. Baltic Sea Action Plan (BSAP) hyväksyttiin vuonna 2007 ja sen tarkoituksena on edesauttaa palauttamaan Itämeren hyvä ekologinen tila vuoteen 2021 mennessä. BSAP käsittää pääasiallisesti seuraavat osa-alueet: rehevöityminen, biodiversiteetti, haitalliset aineet sekä merenkulku. Merten roskaantumisen nähdään yhtenä tärkeänä toiminta-alueena. Vuonna 2013 sovittiin, että Helcom laati alueellisen toimintasuunnitelman (RAP Regional Action Plan) merten roskaantumisen merkittäväksi vähentämiseksi vuoteen 2025 mennessä, vuoden 2015 tasosta (Helcom 2015). Tämä alueellinen toimintasuunnitelma, RAP, astui voimaan keväällä 2015.

Toimintasuunnitelma sisältää konkreettisia toimia meriroskan vähentämiseksi, jotka kohdentuvat mm. suurimpiin päästölähteisiin. Lisäksi se sisältää roskan määriä, koostumusta, lähteitä ja kulkeutumiskeinoja kuvaavien indikaattoreiden kehittämisen sekä roskaantumisen sosioekonomisten ja biologisten vaikutusten tunnistamisen.

Toimenpiteet on luokiteltu alueellisiin sekä vapaaehtoisin toimiin. Alueelliset toimet vaativat sopimusosapuolten yhteistä lähestymistapaa sekä laaja-alaista, rajat ylittävää ja laajalle levinnyttä toimintaa. Yhteisellä lähestymistavalla tarkoitetaan esim. sitä, että jollekin organisaatiolle tai toimijalle osoitetaan erityistä toimivaltaa (esim. yksinomainen toimivalta EU:lle tai IMO:lle uusissa merenkulun määräyksissä). Vapaaehtoiset toimet ovat puolestaan pääasiassa kansallisia ja jäävät sopimusosapuolten toteutettaviksi. Molemmat toimet on jaettu kolmeen teemaan I) toimiin, jotka kohdistuvat maalta peräisin oleviin lähteisiin, II) toimiin, jotka kohdistuvat merisyntyisiin lähteisiin sekä III) toimiin, jotka kohdistuvat koulutukseen ja saavutettavuuteen.

Maalta peräisin oleviin lähteisiin kohdistuvat alueelliset toimet käsittävät mm.: tehostetun jätteensynnyn ehkäisyn ja hallinnan, mikropartikkelit, viemäriverisiin liittyvän roskaantumisen sekä hygieniatuotteista muodostuvat roskat, EPS, muoviset kantokassit, pullot ja kanisterit, kolmansiin osapuoliin liittyvät toimet (esim. ympäristömerkityt tuotteet, VPD) sekä kunnostus ja puhdistustoimenpiteet. Merisyntyisiin lähteisiin kohdistuvat alueelliset toimet käsittävät puolestaan mm: toimenpiteet, jotka kohdistuvat merenkulkuun, satamiin jätettäviin jätteisiin, kalastukseen ja vesiviljelyyn sekä kunnostus ja puhdistustoimenpiteisiin. Koulutukseen ja saavutettavuuteen kohdistuvat alueelliset toimet käsittävät mm: tehostetun jätteensynnyn ehkäisyn ja hallinnan. Vapaaehtoiset toimet kohdistuvat samoihin teemoihin kuin alueelliset toimet ja niiden tarkoituksena on mm. parantaa tiedonvälitystä ja koordinaatiota.

## 11.5 OSPAR

OSPAR (nimi tulee Oslon ja Pariisin sopimuksista) on Koillis-Atlantin merellisen ympäristönsuojelun yleissopimus. Se käsittää mm. maalta peräisin olevan roskaantumisen ehkäisy- ja vähentämistoimet, jätteiden dumpppauksen tai polton sekä ulkomereltä peräisin olevien lähteiden hallintakeinot (Blidberg ym. 2015). OSPAR:n biologista diversiteettiä sekä ekosysteemiä koskeva strategia käsittää listan ihmistoimista, jotka voivat vaikuttaa haitallisesti meriympäristöön. Ohjelmat ja toimenpiteet on laadittu näitä silmälläpitäen ja ne käsittävät mm. jätteen dumpppauksen, ulapan tuulipuistot sekä turismin.

OSPAR -kokouksessa vuonna 2014 hyväksyttiin alueellisen toimintasuunnitelman (RAP Regional Action Plan) laatiminen merten roskaantumisen estämiseksi Koillis-Atlantilla. Toimintasuunnitelma luo poliittisen kontekstin OSPAR:n meriroskатыölle, kuvailee tulevien vuosien erilaiset toimet ja määrittelee aikataulun saavuttaen nämä tavoitteet. OSPAR:n RAP on jaettu neljään osaan I) lyhyt kuvaus ja tavoitteiden asettelu sekä lähestymistavat, jotka ovat toimeenpanon runkona; II) toimeenpantavat toimenpiteet, jotka on jaettu neljään ryhmään: 1) roskan vähentämien merisyntyisistä lähteistä, 2) roskan syntyminen ehkäiseminen maalta peräisin olevista lähteistä, 3) roskan poistaminen merestä, 4) koulutus ja tietoisuuden lisääminen meriroska-asioissa; III) tarvittavan monitoroinnin kuvaus ja IV) toimeenpano suunnitelma.

Merisyntyisiin lähteisiin kohdistuvat toimenpiteet käsittävät mm. aluksella syntyvien jätteiden vastaanoton satamissa, kansainvälisen lainsäädännön toimeenpanon kaikilla sektoreilla, kannustimia vastuulliseen käyttäytymiseen koskien roskaamista (kalastus ja kalanviljely), kalateollisuuden parhaiden käytäntöjen kehityksen, roskaantumisen aiheuttamat sakot ja rangaistukset, tuotteet ja niiden ympäristövaikutukset, kestävien pakkausmateriaalien kehityksen, muovipellettien pääsyn estämisen meriympäristöön.

Maalta peräisin oleviin lähteisiin kohdistuvat toimenpiteet käsittävät mm. tehostetun jätteenkäsittelyn ja hallinnan, yhdyskuntajätevesiin ja hulevesiin liittyvien roskaamäärien vähentämisen, vastuullisen toiminnan tukeminen roskaantumisen estämiseksi. Roskan poistamiseen merestä kohdistuvat toimenpiteet käsittävät mm. menetelmäkehityksen roskan poistamiseksi meriympäristöstä sekä ympäristön eri osien puhdistuksen ja pitämisen siistinä. Koulutuksen ja tietoisuuden lisäämiseen kohdistuvat toimenpiteet käsittävät mm. koulutuksen kohdentamisen mm. merenkulkijoihin ja kalastajiin sekä RAP:n liittyvän kommunikaatiostrategian laatimisen sekä yleisen tietoisuuden parantamisen liittyen toimiviin esimerkkeihin meriroskan vähentämiseksi.

## 11.6 Suomi

Suomen merenhoidon toimenpideohjelma 2016–2021 käsittelee mm. meren ja rantojen roskaantumista ja sen tavoitteena on, että roskaantumisesta ei aiheudu haittaa rannikko- ja meriympäristölle. Toimenpideohjelman mukaan ongelman pureudutaan kolmevaiheisesti: ensin tehdään laaja yleisselvitys roskaantumisen lähteistä ja vaikutuksista, seuraavaksi määritellään roskaantumiseen liittyvä tavoite ja toimenpiteet, kun taas viimeisessä vaiheessa toteutetaan suunnitellut toimenpiteet.

Suomessa muoviroskien vieminen kaatopaikoille on käytännössä loppunut, kun 1.1.2016 astui voimaan ns. orgaanisen jätteen (johon myös muovien katsotaan kuuluvan) kaatopaikkakielto. Muovijätteet tulee kaatopaikoille viemisen sijasta hyödyntää joko materiaalina kierrättämällä tai ottamalla energia talteen. Kotitalouksien muovipakkausjätteille tulee järjestää vastaanottoaikoja ja muovipakkausjätteelle on asetettu kierrätystavoitteet.

## Yhteenveto

Muoviroskaa löytyy kaikista maailman meristä, kaikista syvyyksistä, rannoilta sekä eliöstöstä. Ongelma on paikoitellen erittäin hankala ja aiheuttaa lukuisia erilaisia sosiaalisia, ekonomisia ja ekologisista haittavaikutuksia. Läheskään kaikkia vaikutuksia ei kuitenkaan tunneta vielä riittävän hyvin. Esimerkiksi ihmisaltistus ravinnon kautta saataville mikromuoveille ja sen aiheuttamat mahdolliset terveysvaikutukset ovat edelleen vain arvailujen varassa. Lisäksi muovien lisäaineina käytettyjen lukuisten haitallisten kemikaalien tai vaihtoehtoisesti meriympäristöstä muoveihin kiinnittyvien ympäristömyrkköjen vaikutuksia meri- tai maaympäristössä ei tunneta riittävän hyvin.

Muovituotannon lähes eksponentiaalinen kasvu 1950-luvulta lähtien kulkee käsi kädessä merestä löytyvän roskan kanssa. Puutteellinen jätehuolto, suuri asukastiheys rannikoiden läheisyydessä, kasvaneet kulutustottumukset, erilaiset luonnonkatastrofit, ihmisen eri toiminnat sekä asenteet ovat johtaneet auttamatta roskaantumisen lisääntymiseen.

Meriympäristöön päätyneet roskat eivät kunnioita yksittäisten valtioiden rajoja, vaan kulkeutuvat pitkiäkin matkoja niiden varsinaisilta syntysijoiltaan. Näin ollen roskaantumiseen tulisikin suhtautua ihmiskunnan yhteisenä huolenaiheena. Varovaisuusperiaatteen noudattaminen on myös perusteltua, sillä muovi ei vesiympäristössä juuri hajoa vaan pilkkoutuu ennemminkin yhä vain pienemmiksi partikkeleiksi, joiden poistaminen vesiympäristöstä on mahdotonta.

Roskaantumisen hillitsemiseksi tulisikin siirtyä kohti kiertotaloutta ja noudattaa kuuden ns. R:n periaatetta (Reduce, Redesign, Remove, Re-use, Recycle, Recover). Reduce = pyritään vähentämään kulutusta ja näin ollen myös erilaisten materiaalien kulutusta. Redesign = suunnitellaan ja kehitetään entistä ympäristöystävällisempiä tuotteita. Remove = poistetaan tietyt (kertakäyttöiset) muovit käytöstä esim. kosmetiikan mikromuovit. Re-use = uudelleen käytetään tuotteita pidempään. Recycle = pyritään kierrättämään tuotteet entistä tehokkaammin ja Recover = hyödynnetään syntyneet jätteet lopulta energiana, mikäli niitä ei voida muuten tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti uudelleen hyödyntää.

Merten roskaantumisongelman hillitsemiseksi tarvitaan myös tehokas, toimiva ja sitova kansainvälinen hallintoverkosto, mikä lisäksi eri sidosryhmien välinen yhteistyö on erittäin tärkeää. Pelkkä roskien poisto meriympäristöstä ei enää yksin riitä, vaan lisäksi tarvitaan tehokkaista keinoja estää uusien roskien kulkeutuminen meriympäristöön. Tehokkaiden hallinta- ja vähennyskeinojen pohjaksi tarvitaan myös yhä tarkempaa tietoa alueellisista päästölähteistä sekä mereen päätyneen roskan määristä. Erilaisten roskien monitorointimenetelmien harmonisointi on niin ikään tärkeää, jotta eripuolilla maailmaa tehtyjä tutkimuksia voidaan luotettavasti vertailla keskenään.

## LÄHTEET

- Allsopp M., Walters A., Santillo D., Johnston P. 2006. Plastic Debris in the World's Oceans. Greenpeace.
- Andrady A. L., Hamid S. H., Hu X., Torikai A. 1998. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 46: 96-103.
- Andrady A. L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62 (8): 1596–1605.
- ARCADIS 2013. Marine Litter study to support the establishment of an initial quantitative headline reduction target - SFRA0025. European Commission DG Environment. Project number BE0113.000668.
- Arthur C., Baker J., Bamford H. 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. NOAA Technical Memorandum NOS-OR & R-30. NOAA, Silver Spring, September 9–11, 530.
- Barnes D. K. A., Galgani F., Thompson R.C., Barlaz M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364(1526): 1985–1998.
- Blidberg E., Bekken A. L., Bäckström A., Haaksi H., Hansen L. M., Skogen M. H., Lembrecht Frandsen B., Thernström T., Ångström J. 2015. Marine Littering and Sources in Nordic Waters. Nordic Council of Ministers 2015.
- Bowditch N. 2002. Chapter 31: Oceanic currents. In *The American practical navigator*. Bethesda, Maryland: National Imagery and Mapping Agency. Pp 433–439.
- Browne M. A., Dissanayake A., Galloway T. S., Lowe D. M., Thompson R. C. 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science and Technology* 42(13): 5026-5031.
- Browne M. A., Crump P., Niven S. J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T. S. & Thompson R. C. 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environment Science and Technology* 45(21): 9175–9179.
- Derraik J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44: 842-852.
- EC 2013. European Commission (2013) Green Paper on a European Strategy of plastic waste in the environment.
- EFSA 2016. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain 2016. Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal* 2016 14(6):4501.
- Ellen MacArthur Foundation 2016. The new plastic economy. Rethinking the future of plastics.
- Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T. 2005. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beach resin pellets: Variability among individual particles and regional differences. *Marine Pollution Bulletin* 50(10):1103-1114.
- Fossi m. c., Panti C., Guerranti C., Coppola D., Giannetti M., Marsili L., Minutoli R. 2012. Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine Pollution Bulletin* 64: 2374–2379.
- GESAMP 2010. Proceedings of the GESAMP International Workshop on Microplastics as a Vector in Transporting Persistent, Bioaccumulating and Toxic Substances in the Ocean. GESAMP Reports and Studies 82.
- GESAMP 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (Kershaw, P. J., ed.). Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- Haaksi H. 2014. MARLIN- projektin loppuraportti-tiivistelmä Suomen tuloksista. Pidä Saaristo Siistinä ry.
- Hansen E., Nilsson N. H., Lithner D., Lassen C. 2013. Hazardous substances in plastic materials. COWI and Danish Technological Institute 2013. Klima- Og Forurensnings-Direktoratet.
- Hansen E., Nilsson N. H., Slot Ravnholt Vium K. 2014. Hazardous substances in plastics. The Danish Environmental Protection Agency.
- HELCOM 2015. Regional Action Plan for Marine Litter in the Baltic Sea.
- IMO 2015. Interpretation of the London Convention and Protocol. Review of marine Litter in Relation to the Various Waste Streams Under London Convention and Protocol –Final Report. Thirty-seventh consultative meeting of contracting parties to the London convention & tenth meeting of contracting parties to the London Protocol.
- Jambeck J., Geyer R., Wilcox C., Ieigler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Lavender Law K. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223) pp 768–771.
- JRC-IES 2013. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Strategy Framework Directive. MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter. EUR 26113 EN – 2013.
- JRC 2013. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Strategy Framework Directive. JRC Scientific and Policy Reports JCR83985.
- Kassi-info 2016 (<https://kassi-info.fi/>)
- Kershaw P. 2015. Biodegradable plastics & Marine Litter. Misconceptions, Concerns and Impacts on Marine Environments. UNEP GPA.
- Kershaw 2016. Marine Plastic Debris and Microplastics. Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change. UNEP 2016.
- Kershaw, P., Lebreton, L. 2016. Chapter 7.1: Floating plastic debris. In IOC-UNESCO and UNEP (2016). Large Marine Ecosystems: Status and Trends. United Nations Environment Programme, Nairobi, pp 153-163.
- Langelan I., Nuyoen I., Jansen M. 2015. Microplastics in de Nederlandse zoete wateren.

- Magnusson K., Norén F. 2014. Screening of microplastic particles in and downstream a wastewater treatment plant. IVL, Report C55.
- Magnusson K., Wahlberg C. 2014. Mikroskopiska skrappartiklar i vatten från avloppsreningsverk. NR B 2208 / AUGUSTI 2014. IVL, Report B2208.
- Magnusson K., Eliasson K., Fråne A., Haikonen K., Hultén J., Olshammar M., Stadmark J., Voisin A. 2016. Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. A review of existing data. IVL, C 183.
- MARLIN 2013. Final Report of Baltic Marine Litter Project MARLIN – Litter Monitoring and awareness raising 2011-2013.
- Mattila T., Kujanpää M., Myllymaa T., Korhonen M.-R., Soukka R., Dahlbo H. 2009. Ostoskassien ilmasto vaikutusten vähentäminen. SUOMEN YMPÄRISTÖ 2 | 2009, Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- Muoviteollisuus 2016. (<http://www.muoviteollisuus.fi>)
- Myllymaa T. 2016. Arvio Suomen kaatopaikkojen vaikutuksista Suomenlahden roskaantumiseen muovijätteillä. Julkaisematon kirjallinen kooste 7.3.2016.
- NIVA 2014. Microplastics in Marine Environments: Occurrence, Distribution and Effects. Report No. 6754.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Marine debris program (<https://marinedebris.noaa.gov/multimedia>) (Accessed 14.9.2016).
- Ogata Y., Takada H., Mizukawa K., Hirai H., Iwasa S., Endo S., Mato Y., Saha M., Okuda K., Nakashima A., Murakami M., Zurcher N., Booyatumanondo R., Zakaria M. P., Dung L. Q., Gordon M., Miguez C., Suzuki S., Moore C., Karapanagioti H. K., Weerts S., McClurg T., Burrell E., Smith W., Van Velkenburg M., Lang J. S., Lang R. C., Laursen D., Danner B., Stewardson N., Thompson R. C. 2009. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin* 58(10): 1437-1446.
- OSPAR 2014. Litter in the Marine Environment – Plastic Particles in Fulmar Stomachs 2011.
- PlasticsEurope 2015. Plastics – the Facts 2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2014.
- Rios L. M., Moore C., Jones P. R. 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54(8): 1230-1237.
- Rochman C. M., Lewison Rebecca L., Eriksen Marcus, Allen Harry, Cook Anna-Marie, Teh Swee J. 2014. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Science of the Total Environment* 476-477: 622-633.
- Salmenperä H., Munne P., Saramäki K. 2016. Tarkoituksenmukaiset toimet kevyiden muovisten kantokassien kulutuksen vähentämiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 11/2016.
- Setälä O., Fleming-Lehtinen V., Lehtiniemi M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185: 77-83.
- Sillanpää M., Sainio P. 2016. Release of polyester and cotton fibers from fabrics in machine washings. (Submitted manuscript)
- Strand J., Tairova Z., Danielsen J., Würzler Hansen J., Magnusson K., Naustvoll N-J, Sørensen T. K. 2015. Marine Litter in Nordic waters. Nordic Council of Ministers.
- Sundt P., Schulze P-E., Syversen F. 2014. Sources of microplastic pollution to the marine environment. Norwegian Environment Agency. Report no: M-321 | 2015. Mepex.
- Sundt P., Syversen F., Skogedal O., Schulze P-E. 2016. Primary microplastics pollution: Measures and reduction potential in Norway. Norwegian Environment Agency M-545 | 2016. Mepex.
- Talaue-McManus, L., Estevanez, M. 2016. Chapter 3: Socio-economics: Examining socio-economic dimensions of risk and vulnerability among coastal inhabitants of large marine ecosystems. In IOC-UNESCO and UNEP (2016). *Large Marine Ecosystems: Status and Trends*. Pp 21-61.
- Talvitie J., Heinonen M., Pääkkönen J.-P., Vahtera E., Mikola A., Setälä O., Vahala R. 2015. Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science & Technology* | 72(9): 1495-1504.
- Talvitie J., Mikola A., Setälä O., Heinonen M., Koistinen A. 2016. How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant (Submitted).
- Tanaka K., Takada H., Yamashita R., Mizukawa K., Fukuwaka M., Watanuki Y. 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine Pollution Bulletin* Volume 69, Issues 1-2, 15 April 2013, Pages 219-222.
- Teuten E. L., Saquing D., Dettler J. M., Knappe R. U., Barlaz M. A., Jonsson S., Björn A., Rowland S. J., Thompson R. C., Galloway T. S., Yamashita R., Ochi D., Watanuki Y., Moore C., Viet P. H., Tana T. S., Prudente M., Booyatumanond R., Zakaria M. P., Akkhangong K., Ogata Y., Hirai H., Iwasa S., Mizukawa K., Hagino Y., Imamura A., Saha M., Takada H. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364(1526): 2027-2045.
- Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W.G., McGonigle D and Russell A.E. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304(5672): 838-838.
- UNEP 2005. *Marine Litter an Analytical Overview*.
- UNEP/IOC 2009. *Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter, Regional Seas Reports and Studies No 186* IOC Technical Series No 83.
- UNEP 2009. *Marine Litter a Global Challenge*.
- Urho N. 2016. Analyysi UNEA2-kokouksen merten muovijätteitä ja mikromuoveja koskevasta resoluutiosta. Ympäristöministeriö, muistio.
- Van Cauwenbergh L., Janssen C. R. 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* 193: 65-70.

- Van Sebille E., England M. H., Froyland G. 2012. Origin dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environmental Research Letters* 7(4): 044040.
- Van der Wal M., Van deer Meulen M., Tweehuijsen G., Peterlin M., Palatinus A., Viršek M. K., Coscia L., Kršan A. 2015. SFRA0025: Identification and Assessment of Riverine Input of (Marine) Litter. Final Report for the European Commission DG Environment under Framework Contract No ENV.D.2/FRA/2012/0025.
- Von Moos N., Burkhardt-Holm P., Köhler A. 2012. Uptake and Effects of Microplastics on Cells and Tissue of the Blue Mussel *Mytilus edulis* L. after an Experimental Exposure. *Environmental Science & Technology* 46(20): 11327–11335.
- Watkins E., ten Brink P., Mutafoglu K., Eithana S., Schweitzer J-P., Russi D., Kettunen M., Gitti G. 2015. Marine Litter: Socio-Economic Study. Institute for European Environmental Policy.
- Wurpel G., Van den Akker J., Pors J., Ten Wolde A. 2011. Plastics do not belong in the ocean. Towards a roadmap for a clean North Sea. IMSA Amsterdam.
- Zarfl C, Matthies M. 2010. Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin* 60(10): 1810-1814.







ISBN 978-952-11-4646-6 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkokj.)