

Merten muovijätteen fysiologiset vaikutukset eläimiin

Vilma Sauros
LuK-tutkielma
Biologian tutkinto-ohjelma,
biotiede
Oulun yliopisto
2021

Sisällysluettelo

1. Tiivistelmä	2
1. Johdanto	3
2. Muovijätteen alkuperä.....	4
3. Muovia päätyy useiden eläinlajien elimistöön.....	5
4. Suorat fysiologiset vaikutukset	7
4.1 Mikromuovia suurempien kappaleiden vaikutuksia	7
4.2 Mikromuovien vaikutuksia	9
5. Epäsuorat fysiologiset vaikutukset	12
5.1 Ftalaatit.....	13
5.2 POP-yhdisteet	14
6. Johtopäätökset.....	16
7. Lähdeluettelo.....	19

Tiivistelmä

Muovijätteen määrä merissä kasvaa vuosittain ja niiden mahdollisia haittavaikutuksia tutkitaan yhä enemmän. Luonnossa muovit eivät hajoa, mutta ne usein haurastuvat pienemmiksi partikkeleiksi. Mikromuoveja muodostuu suurempien muovikappaleiden hajotessa, kun auringon ultraviolettisäteily haurastuttaa muovien rakenteita. Hajoamista edesauttaa vesien virtaukset, aallot ja tuuli. Mikromuoveiksi määritellään alle 5 millimetrin mittaiset muovikappaleet ja alle 100 nanometrin mittaiset muovihiukkaset luokitellaan nanomuoveiksi.

Melkein jokaisen eläinlajin elimistöstä on löytynyt muovikappaleita. Muovia voi päätyä elimistöön ravinnon kylkiäisenä, suoraan nieltynä, tai veden mukana kidusten kautta. Isommat muoviroskat, kuten ajoverkot ja kalastussiimat, voivat takertua merinisäkkäiden, merikilpikonnien ja merilintujen ympärille. Pahimmillaan takertuminen voi johtaa eläimen hukkumiseen tai vammautumiseen, kuten raajojen amputaatioon, jos verkot tai siimat puristuvat raajojen ympärille aiheuttaen verenkiertohäiriöitä tai syviä haavoja, jotka voivat aiheuttaa tulehduksia. Muoviroska voi tukkia eläinten mahalaukun tai suoliston, jolloin ravinnon saanti vaikeutuu tai estyy. Myös pienemmät muovikappaleet voivat aiheuttaa tukkeutumisen, sillä pienet partikkelit eivät välttämättä poistu suolistosta vaan kerääntyvät sinne hiljalleen. Tästä voi seurata nälkiintymistä tai kuolema. Suolistossa muovikappaleet voivat myös aiheuttaa perforaatioita eli reikiä suolien seinämiin. Nanomuovit voivat kokonsa puolesta läpäistä epiteelikudoksen ja kulkeutua verenkierron mukana kudoksiin ja elimiin.

Muovien mukana voi mahdollisesti kulkeutua ftalaatteja ja pysyviä orgaanisia yhdisteitä eli POP-yhdisteitä. Ftalaatteja käytetään muoviteollisuudessa pehmittiminä ja mahdollisten terveyshaittojen takia yhdisteiden käyttöä on säädelty EU-tasolla. Altistumisen epäillään voivan häiritsevät hormonitoimintaa. POP-yhdisteistä tunnetuimpia ovat diklooridifenyyylitrikloorietaani eli DDT ja polyklooratut bifenyylit eli PCB-yhdisteet, jotka voivat akkumuloitua kudoksissa ja rikastua myös ravintoketjussa. Sekä ftalaatteja että POP-yhdisteitä on löydetty eläinten kudoksista, ja joidenkin lajien kohdalla nielty muovi korreloi kudoksista havaittujen yhdisteiden pitoisuuden kanssa.

Muovien ja niiden kuljettamien yhdisteiden vaikutukset saattavat olla lajikohtaisia. Isot merieläimet, kuten valaat, hylkeet, merikilpikonnat ja merilinnut, voivat olla alttiimpia isompien muoviroskien haitoille, mutta selviävät mikromuoveista pienien kappaleiden poistuessa luonnollisesti elimistöstä. Pienemmät lajit sen sijaan voivat kärsiä herkemmin mikromuovien kertymisestä elimistöön. Jotkin lajit saattavat olla toisia herkempiä myrkyllisille yhdisteille, joita muovit saattavat kuljettaa. Muovien ja niiden mukana mahdollisesti kulkeutuvien yhdisteiden vaikutukset tunnetaan vielä huonosti.

Muovien mahdollisista haitoista ilmestyy uusia tutkimuksia joka vuosi ja myös tutkimusmenetelmiä kehitetään, jotta mikromuovien ja mahdollisten yhdisteiden vaikutuksista tiedettäisiin paremmin.

1. Johdanto

Viimeisten vuosikymmenien aikana muovijätettä joutuu yhä enemmän meriin ja muihin vesistöihin (Tanaka *ym.*, 2013; Yamashita *ym.*, 2011) ja muovijätteen kasvava määrä on globaali uhka ympäristölle. Maailmanlaajuisesti muovin tuotanto on kasvanut jatkuvasti 1950-luvulta lähtien (Geyer *ym.*, 2017; PlasticsEurope, 2020) ja tuotanto oli arviolta yli 368 miljoonaa tonnia vuonna 2019 (PlasticsEurope, 2020). Muovien käyttö on yleistynyt niiden kestävyden, keveyden, sekä helpon muokattavuuden ja valmistuksen johdosta (Ma *ym.*, 2019) ja muovia onkin pidetty lähes korvaamattomana materiaalina. Muovien kysyntä ja valmistus kasvavat edelleen. On mahdollista, että vuonna 2050 jopa 20 % maailman öljyntuotannosta kuluisi muovintuotantoteollisuuteen (TheNewPlasticsEconomy, 2016). Tällöin muovintuotanto olisi vieläkin suuri fossiilisten polttoaineresurssien käyttäjä, jos sille ei löydetä korvaavia materiaaleja.

Muovien tuotannon ja käytön aiheuttamat ympäristöhaitat ovat suoraa seurausta niiden suurista tuotantomääristä, pitkäikäisyydestä ja hajoamattomuudesta, mutta myös valtioiden heikosta jätteidenkäsittelystä (Tanaka *ym.*, 2013; Thompson *ym.*, 2004). On vaikea nähdä muovien suosion hiipuvan lähitulevaisuudessa, kun ottaa huomioon niiden monipuoliset käyttökohteet. Niiden suosio voi paradoksaalisesti olla myös luontoa säästävää, esimerkiksi elintarvikepakkausten materiaalina se pidentää ruokatuotteiden säilyvyyttä ja vähentää päästöjä aiheuttavaa ruokahävikkiä.

Vuonna 2010 arveltiin vuosittaisen meriin joutuvan muovijätteen määrän olevan 4,8–12,7 miljoonaa tonnia (Wilcox *ym.*, 2018). Erityistä kiinnostusta on herännyt mikromuovien mahdollisista vaikutuksista terveyteen. Terveysvaikutuksista ei ole kuitenkaan vielä saatu merkittävän paljon näyttöä niin, että asiasta pystyttäisiin tekemään ehdotonta johtopäätöstä. On epäilty, että mikromuoveista voi liueta tai niiden mukana saattaa kulkeutua haitallisia aineita (Thompson *ym.*, 2004), mutta tutkimukset siitä, että kulkeutuuko myrkyllisiä kemikaaleja muovien mukana eliöihin ovat lukumäärällisesti vähäisiä. Joka tapauksessa viimeisen vuosikymmenen aikana useat tutkimusryhmät ovat keskittyneet muovijätteen oletettuihin vaikutuksiin, jotka kohdistuvat erityisesti meribiomin eliöihin. Tutkimuksissa on havaittu, että muoville altistuvia lajeja ovat ainakin useat

merilintulajit, eläim planktonit, kalat ja äyriäiset, merikilpikonnat, siimajalkaiset, ja merinisäkkäät (Gugliandolo *ym.*, 2020; Roman *ym.*, 2021). Useat tutkimukset neljän vuosikymmenen ajalta osoittavat, että pienempien muovikappaleiden määrä suhteessa isompiin kappaleisiin on jatkuvasti kasvanut niin, että pienempiä mikromuoveja havaitaan nykyään määrällisesti enemmän eläinten suolistoissa ja kudoksissa (Yamashita *ym.*, 2011).

2. Muovijätteen alkuperä

Muovi on yleistermi ryhmälle, johon kuuluu useita synteettisiä polymeerejä, ja jotka useimmiten valmistetaan fossiilisista hiilivedyistä (Geyer *ym.*, 2017). Muoveja voidaan luokitella käyttötarkoitustensa perusteella eri tavoin. Yleisimmin käytettyjä ovat muun muassa polyeteeni (PE), polystyreeni (PS), polyuretaani (PUR), ja polyetylenitereftalaatti (PET). Mikromuoviksi on yleisesti määritelty sellaiset muovin palaset, jotka ovat läpimitaltaan alle 5 millimetriä (Fjäder, 2016; Thompson *ym.*, 2004). Alle 100 nanometrin partikkelit on luokiteltu nanomuoveiksi (Setälä *ym.*, 2018). Mikro- ja nanomuovit muodostuvat yleensä isompien kappaleiden hajoamisen seurauksena ja hajoamiseen vaikuttaa erityisesti auringon UV-säteily, joka haurastuttaa muovia (Thompson *ym.*, 2004). Haurastumisen jälkeen hajoamista edesauttavat muut ympäristötekijät, kuten tuuli ja merien virtaus sekä aaltojen aiheuttama mekaaninen rasitus. Muovit ovat muodoltaan harvoin symmetrisiä ja tämä vaikuttaa siihen, miten partikkelit kulkeutuvat vedessä ja ravintoketjussa, ja millaisen riskin ne muodostavat ympäröivälle elämälle (Setälä *ym.*, 2018). Rakenteensa takia ne eivät siis varsinaisesti hajoa tai maadu, vaan vain pirstoutuvat pienemmiksi osiksi ja jäävät kiertämään vesistöihin, maahan ja eläinten elimistöihin. Kun muovijätettä ei hävitetä oikeaoppisesti, ne kertyvät hiljalleen luontoon ja muualle ympäristöön tai maa-alueille, kuten kaatopaikoille (Geyer *ym.*, 2017).

Mikromuovien haitallisuuden tutkiminen keskittyy nykyään huomattavan paljon vain merissä esiintyvän mikromuovien eläimiin kohdistamiin vaikutuksiin. Samalla ne tavat, joiden kautta muovia päätyy meriin, on ollut ensisijaisen huomion ja tarkastelun alla. Mikromuoveja on kuitenkin löydetty paljon myös kaikkialta maailmasta kaikista makean veden vesistöistä ja niitä esiintyy jopa yhtä tiiviisti kuin merissä (Ma *ym.*, 2019). On todennäköistä, että mikromuoveja kulkeutuu meriin maaperästä ajautumalla makean veden mukana (Ma *ym.*, 2019), eli merien mikromuovit eivät olisi pelkästään lähtöisin mereen heitetyn isomman kappaleen hajoamisesta pienemmäksi. Tämä on merkittävä havainto; tutkimusten keskittyessä enimmäkseen merten eläimiin kohdistuviin vaikutuksiin ovat tutkimukset vaikutuksista makeiden vesien eliöihin jääneet ja tulevat varmaan myös

jäämään vähäisiksi, mutta tieto merien ja makeiden vesistöjen mikromuovijätteen välisestä yhteydestä voi mahdollisesti hyödyttää suunniteltaessa tulevia tutkimuksia. Tämä voi hyödyttää myös ympäristönsuojelun lainsäädännön soveltamisessa.

3. Muovia päätyy useiden eläinlajien elimistöön

Lukuisien tutkimusten perustella tiedetään, että eri kokoisia muovipartikkeleita kulkeutuu merieläinten ruoansulatuselimistöön joko suoraan nielemisen kautta, sattumalta ravinnon mukana, tai kidusten läpi kulkeutumalla (Tanaka *ym.*, 2013; Lehtiniemi *ym.*, 2018). Mikromuoveja voi mahdollisesti välittyä ja kerääntyä ravintoketjussa jopa eläinplanktonien välillä (Setälä *ym.*, 2014). Tieto niiden haittavaikutuksista on vielä puutteellista, mutta mahdollisia havaittuja vaikutuksia ovat erilaiset fyysiset vammat ja vauriot, sekä tukokset ruoansulatuselimistössä ja tukehtuminen (Tanaka *ym.*, 2013; Thompson *ym.*, 2004; Lehtiniemi *ym.*, 2018; Setälä *ym.*, 2018; Wilcox *ym.*, 2018; Roman *ym.*, 2021). Muovin nieleminen onkin varmistetusti aiheuttanut merinisäkkäiden, merilintujen ja merikilpikonnien kuolemia (Roman *ym.*, 2021). Jotkin havainnot viittaisivat myös siihen, että vaikutukset merien ja makeiden vesien eliöihin ovat samanlaisia ja verrattavissa (Ma *ym.*, 2019), vaikka nykyiset tutkimukset keskittyvät enimmäkseen merten eläimiin kohdistuviin vaikutuksiin.

Vuonna 2015 julkaistiin artikkeli (Wilcox *ym.*, 2015), jossa esitettiin aikaisempien tulosten perusteella arvio, että ainakin 186 lintulajin kohdalla 90 % olisi niellyt muovia artikkelin julkaisuvuoteen mennessä, ja määrä oli kasvanut vuosikymmenien kuluessa. Pohjana raportissa oli käytetty eri lähteitä vuosien 1962 ja 2012 väliltä, joissa ilmoitettiin muovilöydökset kuolleina löytyneistä linnuista (Wilcox *ym.*, 2015). Myös merikilpikonnien kohdalla on arvioitu, että keskimäärin 50 % kaikista merikilpikonnanyksilöistä olisi niellyt muovia; tarkemmat määrät vaihtelevat merialueittain (Wilcox *ym.*, 2018). Merialueiden välisen vaihtelun arveltiin johtuvan siitä, että erityisesti rannikoilla ja kaupunkien lähellä muovikuorma on suurempi kuin avomerellä, joten myös altistuminen on todennäköisempää. Vaikka pienemmät ja kevyemmät muovipartikkelit kulkeutuvat usein helpommin suoliston läpi, yksittäisiä partikkeleita tarkasteltaessa tietyt ominaisuudet vaikuttavat selkeästi kulkeutumisen nopeuteen. Näitä ovat esimerkiksi kappaleiden muoto, koko ja tiheys (Wilcox *ym.*, 2018). On mahdollista, että erityisesti pehmeämmät hiukkaset eivät poistu yksittäin suolistosta ajassa, joka vastaa normaalia suolen toimintaa, vaan ne kerääntyvät ja pakkautuvat yhdeksi tiiviimmäksi kappaleeksi. Tämä pakkautuminen voi kestää useita kuukausia ja lisätä suolistotukoksen riskiä, jos kappale ei pääse poistumaan (Wilcox *ym.*, 2018).

Tanaka *ym.* (2013) löysivät jokaisen tutkitun lyhytpystöliitäjän (*Puffinus tenuirostris*) suolistosta muovijätettä, jonka määrä vaihteli välillä 0,04–0,59 grammaa lintua kohden. Lajin aikuiset linnut painavat noin 503 grammaa ja niiden on eräissä toisessakin tutkimuksessa havaittu nielevän usein muovia, jolloin sitä löytyi 96 % tutkittujen lintujen suolistoista (Cousin *ym.*, 2015). Muovimäärä painoi tällöin keskiäärin noin 148 mikrogrammaa lintua kohden (Cousin *ym.*, 2015).

Pienikokoisia partikkeleita on löydetty ainakin siimajalkaisten (*Cirripedia*), katkojen (*Amphipoda*) ja hietamatojen (*Arenicola marina*) sisältä, sillä nämä lajit syövät pienikokoista ravintoa muun muassa pohjasedimentistä, jonka kylkiäisenä mikroskooppisia kappaleita voi kulkeutua elimistöön (Thompson *ym.*, 2004). Koeasettelussa mikromuoveja sisältävässä keinotekoisessa ympäristössä saattaa kulua vain muutama päivä, että ympäristön kaikki selkärangattomat lajit ovat syöneet muovia (Thompson *ym.*, 2004).

Mikromuovialtistumisen seurauksista ja partikkelien kulkeutumisesta elimistöön on pyritty saamaan tietoa myös koejärjestelyillä. Luonnossa esiintyvien mikromuovien koon ja muodon variaatiot vaikuttavat siihen, miten herkästi eläimet altistuvat partikkeleille. Maiju Lehtiniemen ryhmän (2018) tutkimuksessa pyrittiin ottamaan huomioon mikromuovien vaihteleva koko ja muoto. Ryhmä esitti, että laboratorioissa suoritettuja koetilanteita käsitellessä tulisi ottaa huomioon, että saatuja tuloksia ei tulisi suoraan soveltaa luonnollisen ympäristön olosuhteisiin; useissa kontrolloiduissa koejärjestelyissä käytetään niin suuria mikromuovikonsentraatioita, joita ei usein esiinny säännöllisesti lajien luonnollisessa ympäristössä eikä muovipartikkelien muotojen variaatiota ole useinkaan huomioitu (Lehtiniemi *ym.*, 2018). Koejärjestelyissä käytettävät muovipartikkelit ovat usein säännöllisiä kooltaan ja symmetrisiä, mikä ei vastaisi niitä partikkeleita, mitä yleensä esiintyy vapaina hiukkasina ympäristössä (Lehtiniemi *ym.*, 2018). Sama koskee myös käytettäviä muovilaatuja, eli kokeissa ei esiinny niin monipuolisesti muovilaatuja kuin luontaisessa elinympäristössä. Tässä kyseisessä tutkimuksessa koejärjestelyitä valmisteltaessa pyrittiin saamaan tilanteet vastaamaan mahdollisimman paljon tutkimuskohteiden autentista ympäristöä. Tutkimuksessa keskityttiin Itämeressä tavattaviin lajeihin: kolmipiikki (*Gasterosteus aculeatus*), sekä mysidiin eli äyriäisiin (*Praunus* sp.) kuuluva jäännemassainen (*Mysis relicta*). Eläimet altistettiin veden välityksellä yleisille PET- ja PS- muoveille, sekä akrylinitriilibutadienistyreenille (ABS), jota käytetään muun muassa lelujen valmistamisessa. Nämä materiaalit oli jauhettu 200-500µm kokoisiksi partikkeleiksi. Tarkoituksena oli selvittää, miten usein lajit todennäköisesti nielevät muovia luonnossa. Tutkituista kolmipiikeistä 22 % oli niellyt mikromuovia. Samansuuntaisia

tuloksia tuli myös Sainio *ym.* (2021) ryhmän tutkimuksessa, jossa havaittiin, että Itämeren alueen tutkituista kolmipiikeistä noin 12,5 %:lta löydetään mikromuovipartikkeleita elimistöstä.

Niellyn mikromuovin määrä yksilöä kohtaan pysyi joissakin tapauksissa hyvin vähäisenä. Tästä voitaisiin päätellä, että yksilön altistuminen ympäristön suurelle määrälle mikromuovia ei välttämättä tarkoita, että niellyn mikromuovin määrä olisi samassa suhteessa yhtä suuri (Lehtiniemi *ym.*, 2018).

4. Suorat fysiologiset vaikutukset

Muovien aiheuttamat haitat on jaoteltu isompien muovikappaleiden ja pienempien mikromuovien vaikutuksiin. Isot muovikappaleet voivat olla esimerkiksi valtavia kalastusverkkoja, muovipusseja tai -pulloja ja -kanistereita. Näin isojen kappaleiden aiheuttamat tapaturmat ovat myös silmämääräisesti helposti havaittavissa. Kaikki havaitut oireet eivät kuitenkaan ole väistämättömiä roskien aiheuttamia seurauksia, sillä erityisesti pienikokoiset muovit voivat myös kulkeutua suoliston läpi aiheuttamatta minkäänlaisia vaurioita (Roman *ym.*, 2021). Tämän takia on tärkeää osoittaa, että tietyt oireet tai vauriot johtuvat nimenomaan muoviroskista eivätkä jostain muusta syystä. On myös tärkeää selvittää muovien levinneisyys eli se, miten monien lajien kohdalla niitä havaitaan, miltä merialueilta ja millaisista syvyyksistä. Viime vuosina on toistuvien tutkimushavaintojen perusteella pystytty todistamaan, että muovia ja mikromuovia todellakin kulkeutuu lukuisien eri lajien suolistoon ja kudoksiin, ja ne voivat myös aiheuttaa niissä ongelmia. Nanomuovi voi pienen kokonsa ansiosta läpäistä epiteelikudoksen, joten se pääsee myös muihin kudoksiin ja verenkiertoon ja se voi jopa kulkeutua dendriittisolujen mukana (Setälä *ym.*, 2018). Tutkittujen lajien perusteella voidaan arvioida, että muovia löytyy jokaisesta maailman merestä, sekä läheltä pintaa että useiden kilometrien syvyyksistä ja pohjasedimentistä. Luonnosta poimittujen näytteiden perusteella ja laboratorioissa suoritetuilla koejärjestelyillä on pyritty saamaan selvyttä siihen, että miten todennäköisesti eläimet nielevät ympäristönsä muovikappaleita ja miten todennäköisesti kappaleet aiheuttavat vaurioita.

4.1 Mikromuovia suurempien kappaleiden vaikutuksia

Suurikokoisilla muovikappaleilla on useita haittavaikutuksia, kuten takertuminen ja vammautuminen, näiden tekijöiden aiheuttama stressi, tukehtuminen sekä hukkuminen (Setälä *ym.*, 2018; Thompson *ym.*, 2004; Wilcox *ym.*, 2018). Kalastusverkkojen ja -siimojen aiheuttamista vaurioista, kuten puristuksen aiheuttamista verenkiertohäiriöistä tai haavoista, voi seurata vakavia tulehduksia tai jopa

amputaatio. Muita haittoja ilmenee isompien kappaleiden tai kuitujen takertuessa eviin tai uimasiimoihin, jolloin roskat haittaavat uimista (Setälä ym., 2018). Mahalaukussa tai suolistossa muovi voi hidastaa tai estää kokonaan ravinnon imeytymistä (Tanaka ym., 2013), tai aiheuttaa fyysisiä vaurioita, jotka johtavat nääntymiseen ja lopulta kuolemaan (Yamashita ym., 2011). Pitkä kalastussiima voi aiheuttaa muutoksia suoliston poimuisessa rakenteessa, jos se ei kulkeudu tiiviinä pallona vaan takertuu pitkän suolen pituutta (Wilcox ym., 2018). Mahalaukun ja ruoansulatuselimistön tukkeutuminen voi olla seurausta liian isojen kappaleiden nielemisestä, ja se voi johtaa esimerkiksi nälkiintymiseen. Näitä seurauksia on havaittu niin linnuilla, kaloilla kuin nisäkkäillä (Tanaka ym., 2013; Setälä ym., 2018).

Wilcox ym. (2018) tutkivat 246 merikilpikonnin jäänteitä, jotka kerättiin Australian itärannikolta. Lajeja oli viisi: liemikilpikonna (*Chelonia mydas*), karettikilpikonna (*Eretmochelys imbricata*), valekarettikilpikonna (*Caretta caretta*), litteäselkäkilpikonna (*Natator depressus*), etelänbastardikilpikonna (*Lepidochelys olivacea*). Tutkituista ruhoista 23,6 %:n sisältä löytyi muovia. Löydetyn muovin määrä vaihteli jonkin verran iän mukaan; vanhempien eli sukukypsien yksilöiden sisältä löytyi vähemmän muovikappaleita kuin nuorempien, mikä voi tarkoittaa sitä, että muovia myös poistuu kehosta eikä akkumuloituminen ole väistämätöntä. Tutkimuksessa tehtiin seuraava havainto: jätteitä löydettiin selvästi vähemmän niiden yksilöiden mahalaukusta ja suolistosta, joiden kuoleman tiedettiin olevan jonkin muun syyn kuin muovin aiheuttama. Jos muovijätteiden todettiin aiheuttaneen kuoleman, myös löydetyn muovin määrä oli suuri. Artikkelissa todettiin, että tulosten perusteella näyttää vahvasti siltä, että mahalaukun ja suoliston suurempi muovimäärä lisää kuolleisuuden todennäköisyyttä. Muovit olivat aiheuttaneet suolistovaurioita tai takertumisia. Kahden merikilpikonnin kuoleman todistetusti aiheutti yksittäinen muovipartikkeli: yhdellä tällainen kappale oli tehnyt suolistoon reiän, toisella sellainen oli muodostanut suolistotukoksen. Wilcox ym. (2018) toivoivat tutkimuksen tuloksista olevan hyötyä arvioitaessa todennäköisyyksiä erilaisiin kuolinsyihin merikilpikonnien kohdalla.

Cousin ym. (2015) tutkimuksessa, jossa havainnoitiin lyhytprystöliitäjien elimistöistä löytyneiden muovien määrää, etsittiin myös sellaisia muutoksia kudoksissa, jotka voisivat olla seurausta muovien aiheuttamasta rasituksesta. Tällaisten havaintojen merkitsevyyttä ja korrelaatiota voidaan tarkastella tilastollisten menetelmien avulla. Vähäistä korrelaatiota suolistosta löytyneiden muovin palasien määrällä ja viskeraalirasvan eli sisäelinten ympärille kertyneen rasvan määrällä, mutta tämän korrelaation ei katsottu olevan tilastollisesti merkitsevä (Cousin ym., 2015). Samassa tutkimuksessa ei havaittu muovimäärän aiheuttaneen muutoksia painossa, untuvissa tai lihasmassassa.

Eräs kokoomajulkaisu (Roman *ym.*, 2021) luetteli tutkimuksissa raportoituja haittoja, joita olivat tässäkin tutkielmassa usein mainittu suolistotukos, repeämä tai perforaatio eli suoliston seinämään puhkeava reikä. Myös suoliston toimintahäiriöt, kuten vakava ummetus ja imeytymishäiriöt sekä nälkään nääntyminen oli mainittu julkaisun läpikäymissä artikkeleissa usein. Mainittuina oli myös verenmyrkytys ja peritoniitti eli vakava vatsakalvon tulehdustila, joka voi olla seurausta suolistovauriosta. Merikilpikonnia tutkittaessa on havaittu useamminkin muovin aiheuttamia suolistotukoksia niin mahalaukussa kuin suolistossa. Tukosten on myös arveltu aiheuttavan pitkäaikaista ummetusta, josta voi myös seurata muita haitallisia oireita. Julkaisussa tuotiin esille, että syöty muovi voi vaikeuttaa merikilpikonnien kykyä sukeltaa. On havaittu, että merilintujen kohdalla kuolemat usein johtuvat kappaleiden takerruttua tiettyihin mahalaukun ja suoliston kohtiin. Yleisimmät paikat ovat mahalaukun kapeampi kohta eli *isthmus*, lihasmaha eli kivipiira, mahalaukun ja pohjukaissuolen yhdistävä *pylorus*, ja pohjukaissuoli.

Sopivia artikkeleita etsiessä vastaan tuli useampikin tutkimus, joissa tutkitut eläinnytteet oli saatu kalastuksen sivusaaliina (Cousin *ym.*, 2015; Clukey *ym.*, 2018), eli todennäköisesti nämä yksilöt olivat kuolleet joko verkkoihin tai siimoihin takertumisen seurauksena. Tällaiset kuolemat voidaan jo itsessään laskea kuuluvan suurikokoisten muoviroskien aiheuttamiin fysiologisiin haittoihin, sillä muovista valmistetut verkot ja siimat estävät eläinten aineenvaihduntaa toimimasta normaalisti.

4.2 Mikromuovien vaikutuksia

Pedà *ym.* (2016) tutkivat saastumattoman polyvinyylidikloridin eli PVC-mikromuovin (MPV) ja saastuneeksi luokitellulla Milazzon satamavedellä käsitellyn PVC-mikromuovin (MPI) vaikutusta meribassin (*Dicentrarchus labrax*) ohutsuolen epiteelikudokseen. Saastuneeksi luokiteltuja mikromuoveja oli käsitelty kolme kuukautta Milazzon satama-altaassa, joka on määritelty Italiassa valtioneidon kannalta saastuneeksi alueeksi eli ”Contaminated Site of National Interest (SIN)”, sillä alueen sedimentistä on löydetty huomattavia määriä ympäristölle myrkyllisiä yhdisteitä, kuten diklooridifenyyli-*trikloori*etanaania (DDT) heksaklorosykloheksaania (HCH), polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH), ja polykloorattuja bifenyylejä (PCB) (Pedà *ym.*, 2016). Näin muovipelletit saatiin kontaminoitua niin, että ne vastaavat vesialueella esiintyvää muovijätettä. Kaloille syötettiin enintään 90 päivän ajan päivittäin kahden ruoka-aterian mukana joko saastuneita tai saastumattomia mikromuovipellettejä, jotka vastasivat yhteispainoltaan 1,4 % kalan elopainosta. Kalanäytteet

tutkittiin 30, 60 ja 90 päivän välein. Tutkimuksessa havaittiin, että kalojen keskipaino oli suurempi jokaisessa mikromuovilla käsittelyssä ryhmässä verrattuna kontrolliryhmiin, ja samalla keskihajonta oli suurempaa käsittelyissä näytteissä kuin kontroleissa. 30 päivän jälkeen histopatologisissa kuvauksissa havaittiin 67 %:lla MPV-käsitellyissä näytteissä kohtalaisia muutoksia ohutsuolen loppuosassa, joihin lukeutui limakalvon sidekudoskerroksen (*lamina propria*) leveneminen ja nukkalisäkkeiden (villi) turvonneisuus, sekä hyperplasia, muutokset verenkierrossa ja enterosyyttien vakuolaatio. Pedà ym. (2016) havaitsivat MPI-käsitellyissä kaloissa 83 %:lla selviä morfologisia muutoksia ohutsuolen loppuosassa, kuten *lamina propria*-sidekudoksen eriytymistä epiteelikudoksesta, nukkalisäkkeiden katkeilua ja irtoamista kudoksesta, sekä hyperplasiaa, muutoksia verenkierrossa ja enterosyyttien vakuolaatiota. Lisäksi tutkimusryhmä havaitsi edeemaa eli tietynlaista turvotusta tutkituissa kudoksissa. Muutosten määrä ja vakavuus kasvoivat sitä mukaa mitä kauemmin kalat altistui käsittelyille. 90 päivän jälkeen kuvatuissa näytteissä havaittiin puolilla sekä MPV että MPI yksilöillä vakavaksi luokiteltuja muutoksia, ja lopuilla selviä muutoksia edellä mainituissa kudoksissa, mutta kalojen kuolleisuuden ei havaittu kasvaneen missään käsittelyssä ryhmässä (Pedà ym., 2016).

Pedà ym., (2016) huomauttavat tutkimuksestaan, että se keskittyi vaikutuksiin meribassin ohutsuolessa, sillä tämä osa on varsinaisilla luukaloilla (*Teleostei*) tärkein alue ravinteiden imeytymisessä, ja erityisesti ohutsuolen loppuosassa on proteiinien endosytoosin pääalue, mutta samalla tämä on yksi tie myrkyllisten yhdisteiden imeytymiseen. Mikromuovit aiheuttivat rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia koko ohutsuolen alueella ja erityisesti sen loppuosassa, ja poikkeamat voivat vaikuttaa alentavasti suoliston toimintaan. Muutosten vakavuus oli verrannollinen altistumispäivien määrään. Tutkimukset viittaavat siihen, että muovit akkumuloituvat kalalajin suolistossa, ja ne voivat välittää mukanaan myrkyllisiä kemikaaleja joko suoraan muovin erilaisina lisäaineina tai epäsuoraan kulkeutumalla. Nämä kemikaalit voivat olla osallisena vaikuttamassa havaittuihin kudosten muutoksiin (Pedà ym., 2019).

Yin ym. (2018) tutkivat mikromuovien mahdollisia vaikutuksia korusimppujen (*Sebastinae*) heimoon kuuluvan *Sebastes schlegelii* -kalalajin käyttäytymiseen. Yhteensä 21 päivää kestäneessä tutkimuksessa vertailtiin 50 mikromuoville altistuneen kalan käyttäytymistä 50 kalan kontrolliryhmään, jotka jaettiin kymmenen kalan tankkeihin. Käytöksessä huomioitiin ravinnon hakuun ja syömiseen käytetty aika, sekä uintinopeutta ja yksilöiden pitämää etäisyyttä toisiin kaloihin. Kalojen välinen etäisyys mitattiin valokuvien pikseleinä, jotka oli otettu ravinnon haun ja syömiseen aikana. Etäisyydellä voidaan havainnoida kalalajin parvikäyttäytymistä. Yin ym. (2018)

havaittivat mikromuoveille altistettujen kalojen käyttävän jopa kaksinkertaisesti aikaa ravinnon syömiseen, mutta ravinnon hakuun kalat käyttivät vähemmän aikaa. Altistuneiden kalojen uintinopeuden havaittiin myös heikentyneen. Altistuneet kalat pysyivät huomattavasti enemmän toistensa lähellä, eli ne eivät ottaneet missään vaiheessa etäisyyttä lajitovereihinsa. Mikromuovien havaittiin myös kerääntyneen suolistoon ja kiduksiin. Artikkelissa pohdittiin, että mikromuovit voivat kerääntyessään suolistoon aiheuttaa valheellisen kylläisyyden tunteen häiritsemällä suoliston normaalia toimintaa. Yin *ym.* (2018) pohtivat myös, että mikromuovit voivat vaikuttaa aivojen rakenteeseen ja näin heikentää yksilöiden innokkuutta ravinnon hakuun, ja uintinopeuden heikentyminen voi puolestaan ajaa kalat pysymään tiiviimmässä parvessa suojautuakseen saalistajilta. Tämä voi pitkällä tähtäimellä vaikuttaa negatiivisesti kalojen kasvuun. Tutkimuksessa havaittiin mikromuoveille altistuneilla kaloilla myös joitakin histopatologisia muutoksia, kuten maksan verenkierron häiriöitä ja sappirakon selvästi tummentunut väri, mutta ei pystytty osoittamaan, että näillä muutoksilla olisi ollut vaikutusta kaloihin. Huomionarvoista tässä tutkimuksessa on se, että kalat altistettiin pelkästään 15 mikrometrin kokoisille, polystyreenistä valmistetuille pallomaisille partikkeleille.

Mikromuovit voivat vaikuttaa ventilaation estämällä veden normaalia virtaamista kiduksiin, eli haittaamalla kidusten toimintaa. Tämä vaikeuttaisi hapen kulkeutumista elimistöön. Mikromuovien on havaittu kerääntyvän rantataskurapujen (*Carcinus maenas*) kidusten pinnalle, ja samanlaista akkumulaatiota on havaittu tapahtuvan myös sinisimpukan (*Mytilus trossulus*) ja liejusimpukan (*Macoma balthica*) kiduksiin (Setälä *ym.*, 2018). Rantataskuravuiilla (*Carcinus maenas*) on havaittu ruoansulatukseen kuluvan ajan pitkittyneen PS-hiukkasten takertuessa ruoansulatuselimistön mikrovillusten väleihin (Setälä *ym.*, 2018). Samassa artikkelissa tuotiin esille, että hankajalkaisiin (*Copepoda*) kuuluvalla *Calanus helgolandicus*-lajilla nälkiintymisen on havaittu pidentävän ruoansulatukseen kuluvaan aikaa, ja pienet 10 mikrometrin kokoiset muovihiukkaset pysyivät suolistossa useita päiviä samalla heikentäen ravinnon imeytymistä. Mikromuovit viipyivät jopa seitsemän päivää suolistossa, kun normaalisti ravinto kulkeutuu kahdessa tunnissa suoliston läpi. Toisessa tutkimuksessa havaittiin hankajalkaisiin kuuluvan *Centropages typicus*-lajin käyttävän huomattavasti vähemmän aikaa normaaliin ravinnon syömiseen koejärjestelyssä suoritetun mikromuovialtistuksen jälkeen (Cole *ym.*, 2013).

Suurien muovipartikkelien aiheuttamat välittömät haitat ovat tiedossa, kuten aikaisemmin on esitelty, mutta avoimena on pienempien ja erityisesti mikro- ja nanomuovien haittavaikutukset. Muoveista irtoavien aineiden terveyshaitoista ihmisten terveydelle on saatu näyttöä (Campanale, 2020;

Ruokavirasto, 2021; Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, 2021), joten olemassa olevaa tutkimustietoa on pyritty soveltamaan myös pieniin partikkeleihin vesiympäristössä. Tutkimuksia aiheesta on vielä vähän ja varsinaisen näytön saamiseen kuluu vuosia. Näistä meneillään olevista tutkimuksista toivotaan kuitenkin saatavan näyttöä sille pohdinnalle, ovatko mikromuovit tai niistä liukenevat kemikaalit merkittävä terveyshaitta eliöille. Vesistöissä muovit voivat olla vapaina partikkeleina hyvin pitkään ennen niiden joutumista eliöiden kudoksiin tai suolistoon. Pitkäaikainen vaikutus ympäristötekijöille voi vaikuttaa siihen, miten paljon muoveista liukenee ympäristöön kerta-annoksena kemikaaleja.

Ei tiedetä, miten suuri merkitys muovien aiheuttamilla kuolemilla on tietyille lajeille tai yksittäisille populaatioille, mutta jätteiden kasvavan määrän tunnustetaan olevan merkittävä riski monille, erityisesti suurille eläimille kuten valaille (Roman *ym.*, 2021). Valaisiin kuuluu useita harvalukuisia lajeja, joiden kohdalla yhdenkin yksilön kuolema voi olla tuntuva ja kauaskantoinen menetys. Toisin kuin voisi luulla, on mikromuovien aiheuttamaan ongelmaan suhtauduttu jo muutaman vuoden ajan vakavasti, eli ennen kuin varsinaisia, tilastollisesti merkittäviä tai suuntaa antavia tutkimustuloksia aiheesta oli saatu. Tämä voi olla pitkällä tähtäimellä positiivinen asia, sillä muovijäteongelmaan on jo etukäteen alettu etsimään ratkaisuja esimerkiksi kertakäyttömuovien ja muovipussien rajoituksilla tai myyntikiellolla (Roman *ym.*, 2021; UNEP, 2018).

5. Epäsuorat fysiologiset vaikutukset

Yksi keskeinen kysymys käsittelemälläni aihealueella on, että voiko muovien mukana kulkeutua myrkkyjä tai muita haitallisia yhdisteitä, sekä siirtykö näitä kemikaaleja muoveista ympäristöön tai eläimiin. Tämä kysymys on jäänyt tutkimuksissa vähemmälle huomiolle, sillä yleisesti mielenkiinto on keskittynyt löytämään kaikki ne alueet, joissa voisi olla muovijätettä ja erityisesti mikromuovia. Etupäässä on keskitytty merien ja muiden vesistöjen pinta- ja pohjavesiin, valuma-alueisiin ja pohjasedimenttiin, mutta esimerkiksi maaperän mikromuoviin on kiinnitetty vähemmän huomiota. Epäsuoriin fysiologisiin vaikutuksiin voitaisiinkin lukea ne muutokset, joita muovien mukana kulkeutuvat tai niistä liukenevat kemikaalit mahdollisesti saavat aikaiseksi kohde-eläimessä, jos aineita joutuu muovin mukana elimistöön.

5.1 Ftalaatit

Muovien pehmittiminä yleisesti käytettyjen ftalaattien eli ftaalihapon estereiden on epäilty häiritsevän hormonitoimintaa (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2021). Ftalaatteja käytetään pehmentämään laajalti käytettyjä muoveja, kuten PVC:tä, jolloin niistä tulee kestävämpiä ja helpommin muokattavia. Tällaisia muoveja esiintyy esimerkiksi rakennusmateriaaleissa, leluissa, kodin muoviastioissa ja elektroniikassa, sekä myös lääkkeiden, geelien ja ravintolisien säilytyksessä ja valmistuksessa (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2021). Nykyinen elämämme olisikin hyvin erilaista ilman ftalaattien tarjoamia mahdollisuuksia.

Muoveihin ftalaatit eivät ole sitoutuneet erityisen vahvasti, joten niitä irtoaa muoveista ympäristöön helposti (Gugliandolo *ym.*, 2020; Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2021), jossa ne myös hajoavat herkästi (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2021). Nopean hajoamisen takia ftalaattien ei ole juurikaan havaittu kertyvän ympäristöön tai elimistöön. Niille voi kuitenkin altistua erityisesti ravinnon välityksellä esimerkiksi elintarvikepakkausten kautta. Altistumisella epäillään voivan olla vaikutusta myös lisääntymisjärjestelmän häiriöihin, astmaan, lihavuuteen, insuliiniresistenssiin tai muutoksiin hermoston kehityksessä (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2021). Olemassa olevat tutkimukset ftalaattien mahdollisista haittavaikutuksista hormonitoiminnalle eivät kuitenkaan yksiselitteisesti vahvista altistumisen ja haittavaikutusten syy-seuraussuhdetta.

On havaittu, että meriympäristössä muovijätteistä tai jopa mikromuoveista voi irrota epäpuhtauksia, kuten erilaisia ftaalihapon estereitä, hyönteismyrkkyinä käytettäviä organofosfaatteja, PAH-yhdisteitä ja PCB-yhdisteitä (Zhang *ym.*, 2018). Samassa tutkimuksessa myös havaittiin, että ftalaattien konsentraatio oli suurempi meren pinnalla ja pohjasedimentissä, ja alhaisempi näiden kahden välisessä vesimassassa. Alueet, joista mitattiin suuria pitoisuuksia, sijaitsevat jäte- ja valumavesien läheisyydessä. Pitoisuuseroja oli myös tutkittujen vesistöjen välillä. Ftalaatteja löydettiin jokaisesta sedimentinäytteestä ja pitoisuudet olivat korkeimmillaan huomattavia. Tutkimuksessa käytettiin mittayksikkönä $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, joka on toinen tapa ilmoittaa mg/kg eli milligrammaa kilogrammassa. Sedimentissä ftalaattien pitoisuudet vaihtelivat välillä $1,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ja $15,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Merivedessä pitoisuudet olivat pienempiä, alhaisin mitattu määrä oli $0,45 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ja suurin oli $5,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Eri yhdisteiden konsentraatioissa oli eroja; esimerkiksi pitoisuudeltaan merkittävin oli bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti eli DEHP, joka on yleisimmin käytetty ftalaatti. Artikkelissa pohdittiin, että

ftalaattien kertyminen kiinteään ainekseen eli tässä tapauksessa sedimenttiin johtuisi ftalaattien fysiokemiallisista ominaisuuksista, kuten poolittomuudesta, lipofiilisyydestä tai hydrofobisuudesta.

Zhang *ym.* (2018) ja Gugliandolo *ym.* (2020) toteavat, että joidenkin ftalaattien korkeampi pitoisuus tutkittujen vesistöjen faaseissa on mahdollinen uhka kaloille ja muille vesieläimille, kun otetaan huomioon, että yhdisteiden terveysriskit ovat tiedossa. Saman toteavat myös Takdastan *ym.*, (2021) tutkimuksessaan, että pelkästään se määrä muovijätettä ja mikromuovia, mitä joutuu vesistöihin päivittäin, tuo mukanaan myös huomattava määrän DEHP-yhdistettä. Tämä voi olla uhka sekä useille vesieläimille että myös paikalliselle väestölle.

Koska tiedetään, että ftalaateilla on potentiaalisia terveydelle vaarallisia vaikutuksia, on pohdittu, että myös mikromuoveista voi liueta haitallisia aineita. Eräs tutkimus (Deng *ym.*, 2020) antaa viitteitä siitä, että mikromuoveista erityisesti ftalihapon estereitä hiirten (*Mus musculus*) suolistossa, jossa niillä myös on epäsuotuisa vaikutus. Tutkimus tuki hypoteesia, että haitallisia aineita voi kulkeutua mikromuovien mukana elimistöön, jossa ne voivat altistaa terveyshaitoille.

Ftalaattien haitat on huomioitu EU-tasolla ja käyttöä on pyritty sääntelemään eri asetuksin. Näillä asetuksilla (muun muassa kosmetiikka-asetus 1223/2009; RoHS-direktiivi 2011/65/EU; lehdirektiivi 2009/48/EY; muoviasetus 10/2011) on pyritty rajoittamaan tai kieltämään kyseisten pehmittimien käyttöä teollisuudessa.

5.2 POP-yhdisteet

Suomen ympäristöhallinto toteaa verkkopalvelussaan (Ympäristöhallinto, 2017), että pysyvät orgaaniset yhdisteet eli POP-yhdisteet ovat yleisesti esiintyviä ja pysyviä ympäristömyrkköjä, jotka kertyvät eliöihin ja rikastuvat helposti ravintoketjussa. Ne säilyvät ympäristössä pitkään ja osa yhdisteistä voi joidenkin eläimien kohdalla aiheuttaa kehitys- ja lisääntymishäiriöitä. Yhdisteiden ominaisuuksiin kuuluu myös kaukokulkeutuminen, joten ne voivat levitä hyvin etäälle päästölähteestä. Tunnetuimpia tällaisia yhdisteitä ovat dioksiini, DDT ja PCB, sillä nämä ovat aiheuttaneet erilaisia ongelmia jo pitkään ja niiden käyttöä on myös pyritty säännöstelemään maailmanlaajuisesti.

Catharine E. Clukeyn ryhmä (2018) tutki POP-yhdisteiden esiintyvyyttä ja muoviroskien kautta tapahtuvaa kulkeutumista merikilpikonnien kudoksiin. Tutkimushypoteesi oli, että jos muovikappaleiden mukana kulkeutuu POP-yhdisteitä rasvakudokseen, niin suolistosta löytynyt muovimäärä korreloisi kudoksesta havaitun POP-konsentraation kanssa. POP-yhdisteet puolestaan rikastuvat ajan saatossa eläinten rasvakerroksessa. Jos ravinnon mukana kulkeutuu merkittävästi muovia merikilpikonnien elimistöön, niin muoviroska voisi olla huomattava POP-altistumiselle vaikuttava tekijä. Tutkimuksessa vertailtiin rasvakudosten POP-konsentraatiota suoliston muovien määriin. Havaittuja yhdisteitä mitattiin massafraktionana; nanogramminä yhtä märkäpainogrammaa kohden. Muoveissa huomioitiin yksittäisten kappaleiden lukumäärä ja niiden syrjäyttämä tilavuus, niiden massa, kuinka paljon suolistosta löytyneestä ravinnosta koostui muovista, sekä muovin kokonaispainon osuus eläimen elopainosta. Tutkittavina oli 25 kalastuksen sivusaaliina kuollutta merikilpikonnaa, ja eri lajeja oli kolme: liemikilpikonna, etelänbastardikilpikonna ja valekarettikilpikonna. Tutkimuksen löydökset eivät korreloineet keskenään, mikä tarkoittaisi sitä, että POP-yhdisteitä ei kerääntyisi kudoksiin niellyn muovin kautta vaan ravinnon mukana. Vaikka tutkituista merikilpikonnista löytyi merkittäviäkin määriä yhdisteitä, kuten DDT:tä ja PCB:tä, määrät olivat riippumattomia muovipartikkeleiden määrästä tai massasta. Enemmän korrelaatiota löytyi yhdisteiden ja merikilpikonnien iän tai rasvakerrosten välillä, mikä Clukeyn ryhmän (2018) mukaan viittäisi kertymiseen syödyn ravinnon kautta, sillä myrkyt eivät poistu normaalin aineenvaihdunnan kautta vaan konsentraatio kasvaa iän myötä. Eläinten rasvakerroksissa on myös lajien välisiä eroja. Todennäköistä on, että ainakaan merikilpikonnien kohdalla POP-yhdisteitä ei kerääntynyt merkittävästi muoviroskan välityksellä, mutta tutkimusryhmä totesi, että tämä on kuitenkin mahdollista joidenkin muiden lajien kohdalla aikaisempien tutkimusten perusteella (Clukey *ym.*, 2018). Samassa tutkimuksessa pohdittiin seuraavaa: onko lajien välillä eroja siinä, miten ne sietävät muoveista liukenevia kemikaalimääriä, eli ovatko toiset lajit herkempiä kemikaalien aiheuttamille terveyshaitoille. Samaa voisi pohtia myös ftalaattien kohdalla.

Yamashita *ym.* (2011) havaitsivat, että ulappaliitäjien (*Procellariidae*) heimoon kuuluvan lyhytprstöliitäjän suolistosta löytyi korkeampia PCB-pitoisuuksia samanaikaisesti suurempien muovimäärien kanssa, tosin pitoisuuksien korreloivuus muovimäärien kanssa vaihteli PCB-kongeneerien välillä. Korkeamman kloorausasteen kongeneerit rikastuvat huonomman vesiliukoisuutensa takia eläinten rasvakudoksessa. Tutkimuksessa syödyn muovin massa korreloi positiivisesti kudoksista löytyneiden PCB-kongeneerien kanssa, joiden kloorausaste oli pieni (Yamashita *ym.*, 2011). Tulokset voisivat viitata siihen, että korkeamman klooriasteen PCB:t kertyvät ravinnon kautta, mutta pienen klooriasteen kongeneerit joutuvat elimistöön mahdollisesti syödyn

muovin välityksellä (Yamashita *ym.*, 2011). Tutkimuksessa korostettiin lisätutkimusten tarvetta, jotta ymmärrettäisiin paremmin muovin välityksellä kulkeutuvien kemikaalien haitallisuutta.

PCB-yhdisteitä etsittiin myös tutkimuksessa, jossa tutkittavana oli 12 kalastuksen sivusaaliina kuollutta lyhytpyrstöliitäjää, joiden rasvakudoksesta löydettiin erityisesti polybromattuja difenyyliettereitä (PBDE) (Tanaka *ym.*, 2013). PBDE:t muistuttavat rakenteeltaan hyvin paljon PCB:itä. Myös PBDE-yhdisteissä vaarana on näiden kerääntyminen ja rikastuminen elimistössä ja ravintoketjussa (Setälä *ym.*, 2018; Tanaka *ym.*, 2013). On täysin mahdollista, että altistuminen on hyvin lajinkohtaista, eli toiset lajit ovat herkempiä ja todennäköisempiä kärsimään altistumisen aiheuttamista vaikutuksista toisten lajien sietäessä sitä paremmin.

POP-yhdisteitä ja muita kemikaaleja on pyritty säätelemään EU:ssa vuonna 2007 voimaanastuneella asetuksella kemikaalirekisteröinnistä, kemikaalien arvioinnista, lupamenettelyistä sekä rajoituksista. Asetus, lyhyemmin REACH, säätelee kemikaalien valmistusta ja käyttöä. Siinä käsitellään myös todennäköisiä terveys- ja ympäristöhaittoja. Myös korvaavia, vähemmän haitallisia yhdisteitä on alettu käyttämään valmistamisessa. Näitä ovat useat ftalaattomat muovin pehmittimet, kuten dioktyylitereftalaatti (DOTP), joka on yleisimmän pehmittimen eli DEHP-yhdisteen isomeeri (Gugliandolo *ym.*, 2020).

6. Johtopäätökset

Useimmissa käsitellyissä tutkimusartikkeleissa huomautettiin, että tämänhetkinen tieto siitä miten haitallisia mikromuovit lopulta ovat on puutteellista ja aihe tarvitsee lisätutkimusta. Huomattava osa nykyisistä tutkimusartikkeleista käsittelee muovien ilmenemistä vesistöissä ja pohjan sedimenteissä, löydettyjen muovikappaleiden koostumusta, tai muovien löytymistä eläinten kudoksista ja suolistosta. Lisäksi pitkäaikaisia tutkimuksia on vähän. On yleisesti tiedossa, että muovia löytyy lukuisien eri eläinlajien elimistä, kudoksista tai kehoista, sekä kaikista maailman vesistöistä (Thompson *ym.*, 2004), joten tulevaisuudessa tutkimusten tulisi painottua yhä enemmän muovien tai mikromuovien aiheuttamiin fysiologisiin vaikutuksiin ja niiden potentiaaliseen rooliin ympäristömyrkköjen välittäjinä, näiden ympäristömyrkköjen mahdolliseen terveysuhkaan, sekä muovien ja myrkköjen mahdolliseen kertymiseen trofiatasolla (Lehtiniemi *ym.*, 2018; Pedà *ym.*, 2016; Thompson *ym.*, 2004). Näihin mainittuihin aiheisiin keskitytäänkin uusissa tutkimuksissa yhä enemmän.

Huomionarvoista on myös se, että luonnollista ympäristöä vastaavaa tutkimusaluetta on haastavaa järjestää laboratorio-olosuhteissa (Lehtiniemi *ym.*, 2018; Wilcox *ym.*, 2018). Esimerkiksi Pedà *ym.* (2016) tutkimuksessa on otettava huomioon koejärjestely, jossa meribasseja ruokittiin systemaattisesti tietyllä määrällä PVC-muovipellettejä, eikä tämä näin välttämättä vastaa täysin luonnossa esiintyvää altistusmäärää tai altistustiheyttä. Sen sijaan Lehtiniemi *ym.* (2018) tutkimukset pyrittiin laatimaan niin, että niiden ympäristöt vastaisivat mahdollisimman hyvin tutkimuskohteiden luonnollista ympäristöä. Monissa tutkimuksissa on havaittavissa tietynlainen tilastoharha, kun keinotekoiset koetilanteet eivät vastaa eliöiden luonnollista ympäristöä. Tämän lisäksi ainemääriä saatetaan kasvattaa huomattavasti, jotta saataisiin näyttöä terveydelle haitallisista pitoisuuksista. Nämä voivat kuitenkin vastata ainoastaan pahinta skenaariota luonnossa, eikä keskimääräistä tai yleisintä tilannetta.

Mikromuovien terveysvaikutuksista ei ole vielä niin merkittävän paljon tutkimustuloksia olemassa, ja tieto niiden haitoista onkin vielä epäselvää. Joissakin tutkimuksissa on havaittu muutoksia eläinten rakenteessa tai käytöksessä (Yin *ym.*, 2018) muovipartikkeleille altistumisen jälkeen. Nanomuovit voivat aiheuttaa haittaa, sillä ne saattavat takertua pienikokoisiin rakenteisiin ja ne mahtuvat kulkemaan verenkierrossa ja voivat kulkeutua kudoksiin (Setälä *ym.*, 2018), mutta tällaisten tapahtumien todennäköisyys ei ole vielä tiedossa.

Mikromuovit eivät näytä suoraan haittaavan isompia merieläimiä, kuten merinisäkkäitä tai isompia merilintuja ja merikilpikonnia, mutta ne voivat aiheuttaa tukoksia ja perforaatioita pienemmille merilinnuille ja merikilpikonnille (Roman *ym.*, 2021). On kuitenkin mahdollista, että suurin osa eläinlajeista ei kärsi mikromuovien akkumulaatiosta ja haitoista, vaan mikrohiukkaset poistuvat normaalisti suolistosta (Setälä *ym.*, 2018). Joskus löydetyn muovimäärän ei havaittu vaikuttaneen mitenkään tutkittujen yksilöiden elopainoon (Cousin *ym.*, 2015; Yamashita *ym.*, 2011), eikä moniin muihinkaan ominaisuuksiin, kuten lihasmassaan tai poikasten untuvien määrään (Cousin *ym.*, 2015). Pedà *ym.* (2016) toisaalta huomauttivat, että monet tutkimukset antavat viitteitä siitä, että jatkuva altistuminen mikromuovijätteelle voi aiheuttaa huomattavia muutoksia morfologiassa ja kudoksissa. Muovipartikkeleita löytyi lähes kaikkien tutkittujen eläimien sisältä, mutta määrät vaihtelivat paljon: pienimmillään muovien yhteispaino oli tuhannesosia yksilön elopainosta.

Muovirokien kasvava määrä mahalaukussa ja suolistossa kasvattaa myös jätteiden aiheuttaman kuoleman riskiä (Roman *ym.*, 2021; Wilcox *ym.*, 2018). Joka tapauksessa on huomioitava, että vaikka

kuolleen eläimen sisältä löytyisi muovia huomattava määrä, ei voida olettaa, että kuolema on johtunut muovista (Roman *ym.*, 2021).

Tässä tutkielmassa käsitellyt tutkimukset ovat olleet merkittäviä askelia aiheen parempaan tuntemiseen ja uusia tutkimuksia aiheesta julkaistaan joka vuosi, sillä muovijäte nähdään ajankohtaisena ja maailmanlaajuisena ongelmana. Kehitteillä on myös uusia menetelmiä muovien kulkeutumisen, kertymisen ja vaikutusten tutkimiseen.

7. Lähdeluettelo

- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International journal of environmental research and public health*, 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Clukey, K. E., Lepczyk, C. A., Balazs, G. H., Work, T. M., Li, Q. X., Bachman, M. J., & Lynch, J. M. (2018). Persistent organic pollutants in fat of three species of Pacific pelagic longline caught sea turtles: Accumulation in relation to ingested plastic marine debris. *The Science of the total environment*, 610-611, 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.242>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental science & technology*, 47(12), 6646-6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- Cousin, H. R., Auman, H. J., Alderman, R., & Virtue, P. (2015). The frequency of ingested plastic debris and its effects on body condition of Short-tailed Shearwater (*Puffinus tenuirostris*) pre-fledging chicks in Tasmania, Australia. *Emu*, 115(1), 6-11. <https://doi.org/10.1071/MU13086>
- Deng, Y., Yan, Z., Shen, R., Wang, M., Huang, Y., Ren, H., Zhang, Y., & Lemos, B. (2020). Microplastics release phthalate esters and cause aggravated adverse effects in the mouse gut. *Environment international*, 143, 105916. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105916>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gugliandolo, E., Licata, P., Crupi, R., Albergamo, A., Jebara, A., Lo Turco, V., & Potortà, A. G. (2020). Plasticizers as Microplastics Tracers in Tunisian Marine Environment. *Frontiers in Marine Science*, NA. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.589398>
- Lehtiniemi, M., Hartikainen, S., Nähkö, P., Engström-Öst, J., Koistinen, A., & Setälä, O. (2018). Size matters more than shape: Ingestion of primary and secondary microplastics by small predators. *Food Webs*, 17, e00097. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2018.e00097>
- Ma, P., Wei Wang, M., Liu, H., Feng Chen, Y., & Xia, J. (2019). Research on ecotoxicology of microplastics on freshwater aquatic organisms. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 31(1), 131-137. <https://doi.org/10.1080/26395940.2019.1580151>
- Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M. C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., ... & Maricchiolo, G. (2016). Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to

- microplastics: preliminary results. *Environmental pollution*, 212, 251-256. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.083>
- Roman, L., Schuyler, Q., Wilcox, C., & Hardesty, B. D. (2021). Plastic pollution is killing marine megafauna, but how do we prioritize policies to reduce mortality?. *Conservation Letters*, 14(2), e12781. <https://doi.org/10.1111/conl.12781>
 - Sainio, E., Lehtiniemi, M., & Setälä, O. (2021). Microplastic ingestion by small coastal fish in the northern Baltic Sea, Finland. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112814. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112814>
 - Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental pollution*, 185, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>
 - Setälä, O., Lehtiniemi, M., Coppock, R., & Cole, M. (2018). Microplastics in marine food webs. In *Microplastic contamination in aquatic environments* (pp. 339-363). Elsevier. 10.1016/B978-0-12-813747-5.00011-4. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00011-4>
 - Takdastan, A., Niari, M. H., Babaei, A., Dobaradaran, S., Jorfi, S., & Ahmadi, M. (2021). Occurrence and distribution of microplastic particles and the concentration of Di 2-ethyl hexyl phthalate (DEHP) in microplastics and wastewater in the wastewater treatment plant. *Journal of environmental management*, 280, 111851. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111851>
 - Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. A., & Watanuki, Y. (2013). Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine pollution bulletin*, 69(1-2), 219-222. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.010>
 - Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
 - Wilcox, C., Puckridge, M., Schuyler, Q. A., Townsend, K., & Hardesty, B. D. (2018). A quantitative analysis linking sea turtle mortality and plastic debris ingestion. *Scientific reports*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30038-z>
 - Wilcox, C., Van Sebille, E., & Hardesty, B. D. (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proceedings of the national academy of sciences*, 112(38), 11899-11904. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112>
 - Yamashita, R., Takada, H., Fukuwaka, M. A., & Watanuki, Y. (2011). Physical and chemical effects of ingested plastic debris on short-tailed shearwaters, *Puffinus tenuirostris*, in the North Pacific

Ocean. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2845-2849.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.008>

- Yin, L., Chen, B., Xia, B., Shi, X., & Qu, K. (2018). Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacobever (Sebastes schlegelii). *Journal of hazardous materials*, 360, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.110>
- Zhang, Z. M., Zhang, H. H., Zou, Y. W., & Yang, G. P. (2018). Distribution and ecotoxicological state of phthalate esters in the sea-surface microlayer, seawater and sediment of the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 240, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.056>
- Fjäder, P. (2016). *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2016, Merten roskaantumien, muovien, mikromuovien ja haitallisten aineiden*. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/167421>, https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/167421/SYKEera_37_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- PlasticsEurope. (2020). *Plastics - the Facts 2020*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- Ellen MacArthur Foundation. (19.1.2016). *The new plastics economy. Rethinking the future of plastics*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>
- United Nations Environment Programme. (5.12.2018). *Legal limits on single-use plastics and microplastics: A global review of national laws and regulations*. World Resources Institute. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27113>
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. (12.11.2021). *Ftalaatit*. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/ftalaatit>
- Suomen ympäristökeskus. (2017). *Mikromuovien riski myös Suomen vesistöille*. [http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovien_riski_myos_Suomen_vesistoill\(42492\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovien_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492))
- Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. (19.12.2019). *Pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP)*. <https://www.ymparisto.fi/POP>
- Ruokavirasto. (11.6.2021). *Kontaktimateriaalien käyttö*. <https://www.ruokavirasto.fi/yrietykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kysyttya-kontaktimateriaaleista/kontaktimateriaalien-kaytto/>