

Elina Isometsä

OXO-HAJOAVIEN MUOVIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Helmikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Elina Isometsä: Oxo-hajoavien muovien ympäristövaikutukset
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikka
Helmikuu 2020

Kuluttajalle on tärkeää saada selkeää ja totuudenmukaista tietoa siitä, miten oxo-hajoavasta muovista valmistetut tuotteet voidaan kierrättää tai hävittää. Oxo-hajoavaksi muoviksi määritellään öljypohjaisesta polymeeristä valmistetut tuotteet, jotka hajoavat lisäaineiden avulla hapettumisen kautta. Tällä hetkellä markkinoilla olevat tuotteet tarjoavat kuluttajalle harhaanjohtavaa tietoa oxo-hajoavien muovien ominaisuuksista, ja väärin sijoitettuna tuotteet voivat tehdä huomattavaa vahinkoa esimerkiksi kompostin tai kierrätysmateriaalin laatuun.

Oxo-hajoavia muoveja markkinoidaan biohajoavina sekä ratkaisuna muovijätteen määrään, jonka vuoksi on tärkeää tutkia väitteiden paikkansapitävyyttä. Tässä kandidaatintyössä tutustutaan oxo-hajoavien muovien ja muovien lisäaineiden lähteisiin, sekä muovin aiheuttamiin haittavaikutuksiin ympäristön ja jätteenkäsittelyn kannalta. Työssä pohditaan mihin tarkoituksiin oxo-hajoavaa muovia voitaisiin käyttää ja keskitytään selvittämään, hajoaako tai biohajoaako oxo-hajoavasta muovista valmistetut tuotteet.

Työssä selvitetään, mitä oxo-hajoavalle muoville tapahtuu sen elinkaaren loppuvaiheessa ja biohajoaako tuote maaperään tai meriolosuhteisiin joutuessaan. Työssä selvitetään myös, mitä vaikutuksia hajoamisella tai hajoamattomuudella on maaperään ja vesistöihin sekä niiden eliöstöön. Lisäksi selvitetään, miksi oxo-hajoavien muovien käyttöä on joissakin maissa, kuten Suomessa, lain mukaan rajoitettu.

Työssä havaittiin, että oxo-hajoava muovi tarvitsee vielä paljon tutkimista, mutta negatiiviset vaikutukset kompostointiin, kierrätykseen ja muovin hajoamiseen kaatopaikoilla ovat selkeitä. Työssä tultiin siihen tulokseen, ettei täyttä varmuutta oxo-hajoavan muovin biohajoamisesta voida saada ristiriitaisten tutkimustuloksien vuoksi, mutta oxo-hajoavat muovit eivät kuitenkaan täytä biohajoavuudelle määrättyjä standardeja. Metallisten lisäaineiden haitalliset vaikutukset maaperän ja vesistöjen eliöstöön ovat selvä huolenaihe ja niistä tulisi tehdä lisää tutkimusta, jotta haitallisten vaikutuksien laajuudet saataisiin selville.

Avainsanat: Oxo-hajoava muovi, Oxo-biohajoava muovi, biohajoaminen, oxo-hajoavat lisäaineet, ympäristövaikutukset, lainsäädäntö

SISÄLLYSLUETTELO

1.JOHDANTO.....	1
2.OXO-HAJOAVIEN MUOVIEN LÄHTEET	3
2.1 Historia	3
2.2 Valmistus ja käyttö	4
3.OXO-HAJOAVAN MUOVIN HAJOAMINEN	6
3.1 Hajoaminen	6
3.2 Biohajoaminen	7
3.3 Kompostointi.....	11
4.HAITTAVAIKUTUKSET	15
4.1 Muovien kierrätys ja loppusijoitus	15
4.2 Ympäristövaikutukset.....	17
4.2.1 Maaperä	17
4.2.2 Meriympäristö ja vesistöt	18
5.LAINSÄÄDÄNTÖ	21
6.YHTEENVETO	23
LÄHTEET	26

1. JOHDANTO

Muovien käyttö ja valmistus on kasvanut paljon etenkin 70-luvulta lähtien ja viime vuosien aikana huoli muovien ympäristövaikutuksista on kasvanut. Muoviin liittyvät ongelmat alkavat olla laajasti huolenaiheena, mutta erilaisten muovityyppien hajoamisesta eri ympäristöissä tiedetään vielä liian vähän. Elinkaaren lopussa osa muovista päätyy luontoon ja lisää tutkimusta tarvitaan esimerkiksi luonnossa hajoavan muovin vaikutuksista eliöihin, maaperään ja vesistöihin.

Oxo-hajoavaksi muoviksi määritellään muovit, jotka valmistetaan öljypohjaisesta polymeeristä. Ne sisältävät lisäaineita, jotka aiheuttavat muovin hajoamisen pienemmiksi osiksi hapettumisen kautta ja ellei biohajoamista tapahdu, muovit hajoavat lopulta mikromuoveiksi. Mikromuoviksi määritellään muovista hajonneet pienet muovihiukkaset, jotka ovat alle 5 mm:n kokoisia ja ne saattavat säilyä luonnossa pitkiä aikoja. Mikromuoveja on löydetty etenkin vesistöistä, maaperästä ja ilmasta. Oxo-hajoavia lisäaineita käytetään usein esimerkiksi muovikasseissa ja -kelmuissa, sekä jäte- ja kompostointisäkeissä. Oxo-hajoavien muovien hyödyistä sekä haitoista on kiistelty paljon, ja kuluttajan on ollut haastavaa ymmärtää tuovatko oxo-hajoavat muovit enemmän hyötyä vai haittaa ympäristölle. Suurena huolena on ollut myös oxo-hajoavien muovien vaikutus muovin kierrättämiselle, sillä nämä muovit eivät sovi kompostointiin eivätkä tavallisiin muovin kierrätysmenetelmiin niissä olevien hajoamista kiihdyttävien lisäaineiden takia. [1][27]

Tässä työssä kerätään kokoon ja pohditaan kansainvälisesti tutkittua tietoa oxo-hajoavien muovien lähteistä ja syntyperästä. Työssä tutkitaan oxo-hajoavien muovien ympäristövaikutuksia ja pohditaan sitä, mihin tarkoituksiin näitä muoveja voidaan käyttää. Työssä keskitytään siihen, hajoaako tai biohajoaako oxo-hajoava muovi. Työn tavoitteena on vastata kysymyksiin: mitä tapahtuu oxo-hajoavien muovien elinkaaren loppuvaiheissa ja mitä vaikutuksia sillä on ympäristöönsä? Työssä pohditaan myös, voiko oxo-hajoavia muoveja kierrättää ja miksi niiden käyttöä on EU:ssa lailla rajoitettu.

Työ alkaa käsittelemällä Oxo-hajoavien muovien syntymistä ja niiden eri lähteitä. Toisessa luvussa käsitellään myös muovien käyttöä ja valmistusta sekä hajoamista. Kolmas luku käsittelee oxo-hajoavan muovin hajoamisen mekaanisesti, sekä biotisesti. Tässä luvussa pohditaan hieman myös oxo-hajoavan muovin kompostoitumista.

Neljännessä luvussa keskitytään oxo-hajoavien muovien haittavaikutuksiin ympäristön ja muovien kierrättämisen kannalta. Lopuksi pohditaan lainsäädäntöä ja sen vaikutuksia oxo-hajoavien muovien käyttöön.

2. OXO-HAJOAVIEN MUOVIEN LÄHTEET

2.1 Historia

1900-luvun lopulla alettiin ensimmäisen kerran kehittämään muoveja, jotka voisivat hajota biologisesti lämmön ja valon vaikutuksesta. Ensimmäiset biohajoavat muovit sisälsivät hapettumista edistäviä aineita tai hajoamista edistäviä aineita, jotka olivat usein monitydyttymättömiä yhdisteitä, siirtymämetalleja tai metallikomplekseja, kuten ditiokarbamaatteja. Hapettumista tai hajoamista edistävien aineiden tarkoituksena oli edistää karbonyyliryhmien muodostumista tai karbonyyliryhmien liittymistä polymeeriin. Näiden ryhmien tarkoitus oli toimia hiilivetypolymeeriketjujen lämpö- ja valohapetusreaktioiden aloittajina ja näin avustaa materiaalin biologista hajoamista. Oxo-hajoavat muovit ovat olleet kaupallisessa käytössä 1970-luvulta lähtien. [14][25]

2000-luvulla pääpaino on keskittynyt oxo-hajoaviin muoveihin, jotka hajoavat lisä- ja stabilointiaineiden avulla ja biohajoaviin muoveihin. Oxo-hajoavien muovien tarkoitus on läpikäydä niin abiottinen (haurastuminen ja mekaaniset vauriot) kuin biottinen hajoaminen (biohajoaminen), mutta useiden tutkimusten mukaan oxo-hajoava muovi ei biohajoa. Kuvassa 1 on esitetty tärkeimmät erot biohajoavan kompostoituvan muovin, oxo-hajoavan muovin sekä tavanomaisen muovin välillä. [14]



Kuva 1. Ero kompostoituvan, oxo-hajoavan ja tavanomaisen muovin välillä. [28]

Kuten kuva 1 osoittaa, kompostoitava muovi ei jätä jälkeensä mikromuoveja, vaan biohajoaa täysin. Oxo-hajoava muovi taas ei hajoa täysin eikä tavanomainen muovi hajoa ollenkaan luonnossa, vaan muovit jättävät jälkeensä mikromuoveja. 2010-luvulla esimerkiksi mikromuoviongelmia alettiin aiempaa laajemmin tutkia, mikä johti siihen, että vuonna 2013 EU:n komissio julkaisi selvityksen muoveihin liittyvistä ongelmista. Julkaisu on nimeltään "Green Paper on a European Strategy on Plastic Waste in the Environment". Selvitys käsitteli esimerkiksi oxo-hajoavan muovin ongelmia kierrätyksen kannalta. Edellä mainitun selvityksen ja siitä johtuvien tutkimuksien perusteella vuonna 2014 Euroopan parlamentin jäsenet ehdottivat oxo-hajoavan muovin suoraa kieltämistä, jonka epäonnistumisen jälkeen vuonna 2015 komissio sitoutui tutkimaan vuoteen 2017 mennessä oxo-hajoavan muovin vaikutuksia ympäristöön ja esittämään lainsäädäntöehdotuksen muoveista. [14][15]

Vuonna 2019 säädettiin direktiivi, joka pohjautui edellä mainittuihin tutkimuksiin. Uudessa säädetyssä direktiivissä oxo-hajoavat muovit laitettiin markkinointikieltoon EU:n osavaltioissa yhdessä muiden ympäristölle epäedullisten muovituotteiden kanssa. [8]

2.2 Valmistus ja käyttö

Oxo-hajoavia muoveja valmistetaan usein tavanomaisista öljypohjaisista polymeereistä, kuten yleisimmin polyeteenistä (PE), sekä polypropeenista (PP), polystyreenistä (PS) ja polyeteenitereftalaattista (PET). Oxo-hajoavien muovien valmistus ei eroa tavallisten polymeerien tuotannosta muuten kuin lisäaineiden kannalta. Muoveihin lisätään lisäaineita, joiden tarkoituksena on saada muovi hajoamaan hapen avulla ja hajoaminen kiihtymään valon tai lämmön vaikutuksesta. Lisäaineet säätelevät tuotteen käyttöikää niin, että muovituote saadaan hajoamaan haluttuna aikana. Lisäaineina käytetään useimmiten karbonyylihapojen metallisuoloja tai ditiokarbamaatteja, kuten rautaa (Fe), nikkeliä (Ni) ja mangaania (Mn) ja kobolttia (Co), joista viimeisintä käytetään useimmiten pakkauksissa. Myös cerium (Ce) on voimakkaasti hapettumista lisäävä siirtymämetalli. Metallipitoisuutena suoloissa käytetään usein alle 10 %:a. Stabilointiaineina käytetään esimerkiksi lyijysuoloja, organotinaa, joka sisältää tinan ja hiilen välisen kovalenttisen sidoksen ja sinkki/kalsiumkomplekseja, joilla estetään esimerkiksi kaupallisten tuotteiden hajoaminen käytön aikana. [6][11][25]

Oxo-hajoavat järjestöt koostuvat globaalisti kahdesta elimestä, eli OPA:sta (Oxo-Biodegradable Plastic Association) ja OBPF:sta (Oxo-Biodegradable Plastics Federation). Suomeksi OPA vastaa oxo-hajoavan muovin yhdistystä, kun taas OBPF

vastaa oxo-hajoavan muovin liittoa. OPA koostuu 1602 jäsenestä, joihin kuuluu esimerkiksi valmistajia, jakelijoita, biohajoavien tuotteiden maahantuojia ja viejiä sekä kaupallisia loppukäyttäjiä. Taulukossa 1 käydään läpi suurimpia oxo-hajoavien lisäaineiden valmistajia ja kerrotaan mihin yritysten toiminta perustuu. [23][24]

Taulukko 1. *Oxo-hajoavia lisäaineita valmistavat yritykset ja yritysten toiminta. [14][16][17]*

Yritys	Sijainti	Oxo-hajoava lisäaine	Toiminta
Symphony Environmental Technologies PLC	Iso-Britannia	d2w	Lisäaineet ja seokset muovituotteille.
Environmental Technologies Inc. (EPI)	Kanada	TDPA (Totally Degradable Plastic Additives)	Oxo-hajoavat lisäaineet esimerkiksi oxo-hajoaviin muovipusseihin.
Add-X Biotech	Ruotsi	Addiflex	Biohajoavat tuotteet.
EKM Developments	Saksa	-	Eko-älykkäät ratkaisut erilaisille polymeeripohjaisille sovelluksille.
Well Plastics	Iso-Britannia	Reverte additives	Lisäaineet muovituotteille.
Willow Ridge Plastics (WRP)	Yhdysvallat	PDQ-M, PDQ-H, Oxo Terra, BDA	Oxo-hajoavat lisäaineet.

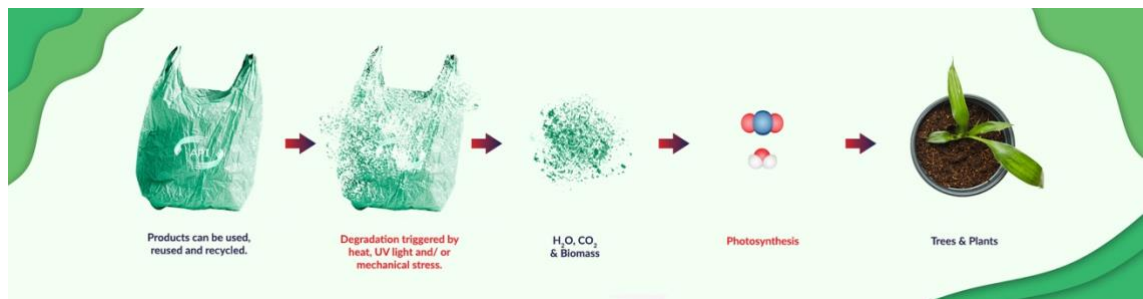
Euroopan sisällä oxo-hajoavia muoveja ja lisäaineita on käytetty lähinnä muovipusseissa ja aiemmin suuri osa oxo-hajoavista tuotteista on lähetetty Kiinaan. Oxo-hajoavia muoveja käytetään kertakäyttöisissä muovipusseissa, jäte- ja kompostipusseissa, elintarvike- ja vaatepakkauksissa sekä maatalouden kalvoissa. Muita mahdollisia käyttökohteita ovat esimerkiksi heinäpaalien kääröt, ruukkuastiat, kasvisäkit, kaatopaikkojen kannet sekä kertakäyttöiset lääketieteelliset tarvikkeet, kuten kertakäyttöhanskat. Näiden muovien käyttö on yleistä Lähi-idässä sekä joissakin Aasian maissa. Valtioissa, kuten Albaniassa, Saudi-Arabiassa ja Jemenissä oxo-hajoavaa teknologiaa sisältävät muovit ovat ainoita kertakäyttöisiä muoveja, mitä maahan on sallittu tuoda. Tarkkaa ja luotettavaa tietoa oxo-hajoavan muovin tuotannon määristä ei ole löydettävissä, mutta esimerkiksi Symphony Environmental myyntitulot olivat vuonna 2015 noin 8,2 miljoonaa euroa. Liikevaihdosta 15 % oli Euroopan sisällä. [6][23][24]

3. OXO-HAJOAVAN MUOVIN HAJOAMINEN

3.1 Hajoaminen

Oxo-hajoavat muovit hajoavat auringon valon tai lämmön vaikutuksesta haurastumalla ja hajoamalla palasiksi. Muovin hajoamisvauhti on riippuvainen useista ympäristötekijöistä, kuten auringon säteilyn määrästä ja lämpötilasta, paikallisesta ilmastosta ja leveysasteesta. Hajoaminen on riippuvaista myös muoviin lisättyjen lisäaineiden määrästä, sillä hajoamisen alkamisen hidastamiseksi muoviin lisätään metallisuoloja sekä antioksidantteja. Antioksidanttien tarkoitus on hidastaa hajoamisen alkamista, kunnes tuote on siinä ympäristössä, jossa hajoaminen voi alkaa. [1][14]

Ongelmana hajoamisessa on se, ettei tarkkaa ympäristöä, johon muovit päätyvät, voida kontrolloida, eikä muovin hajoamisajasta tai hajoamisen määrästä, voida olla varmoja. Kuvassa 2 on esitetty miten oxo-hajoavan muovipussin elinkaaren tulisi kulkea. Ehjän muovipussin tulisi hajota lämmön, UV-valon ja mekaanisen kulutuksen avulla vedeksi, hiilidioksidiksi ja biomassaksi. Tämän jälkeen fotosynteesin avulla muovipussin hajoamistuotteiden tarkoituksena on toimia puiden ja kasvien rakennusaineena. [1]



Kuva 2. Oxo-hajoavan muovipussin hajoaminen. [29]

Oxo-hajoavan polyeteenin hajoaminen tapahtuu muodostamalla hydroperoksidiryhmiä eri reaktioiden avulla, kuten seuraavissa kaavoissa on yksinkertaistettuna esitetty. Kaavoissa RH kuvaa polymeerimolekyyliä ja R mitä tahansa molekyyliä:



Kaavassa 1 polymeerimolekyyli muodostaa hydroperoksidiryhmän käyttäen lämpöä, happea ja mekaanista rasitusta katalyyttinä. Kaavassa 2 hydroperoksidiryhmästä irtoaa hydroksidi-ioni lämmön ja UV-valon avulla. Hydroperoksidiryhmien hajoamisen katalyyttinä toimivat myös muoviin lisätyt hajoavat lisäaineet, kuten rauta seuraavien kaavojen esittämällä tavalla:



Polymeeriketjun hajoaminen johtaa muovin mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen, jolloin siitä tulee hauras ja se hajoaa pienimmiksi osiksi. Lopulta muovi hajoaa niin pieneksi, ettei ihmissilmä pysty sitä havaitsemaan ympäristöstä, kuitenkin täysin poistumatta sieltä. Hajonneet oxo-hajoavat muoviosat saattavat esimerkiksi ristosilloittua, joka tarkoittaa pitkien muovimolekyylien järjestäytymistä verkoiksi. Silloittuneet muovikappaleet ovat huoli ympäristön kannalta, koska silloittumisen jälkeen muovi ei enää muuta muotoaan, eikä biohajoamista voi tällöin tapahtua. [1][11]

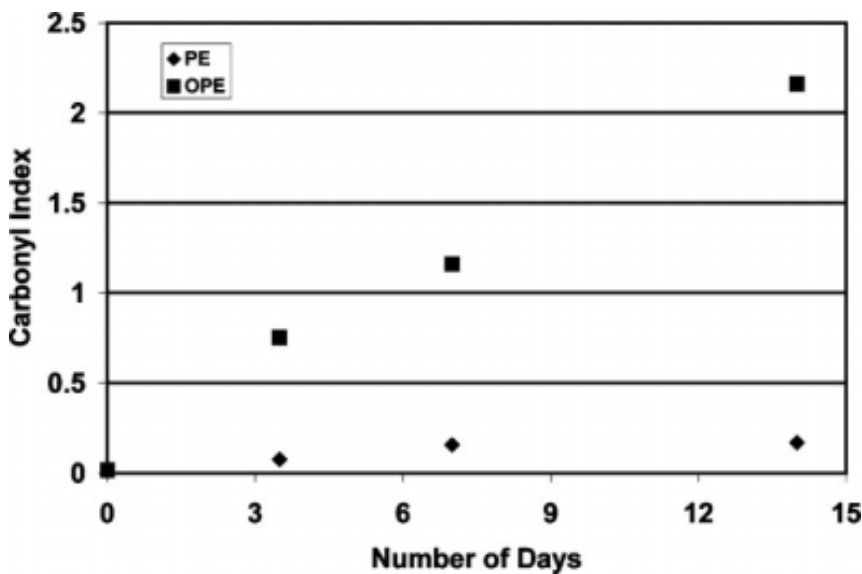
Abioottisen hajoamisen tarkoituksena on valmistaa oxo-hajoava polymeeri biohajoamiseen pienentämällä polymeerin molekyyllipainoa, kunnes tuote on hajonnut tarpeeksi, jotta biologiset organismit, kuten mikrobit, pystyvät kuluttamaan sitä biohajoamisessa. Biohajoaminen ei ala, ellei muovi ensin altistu UV-säteilylle ja lämmölle, jotka hajottavat antioksidantit ja nopeuttavat hajoamista. Jos muovi ei altistu UV-säteilylle ja lämmölle, ympäristöstä riippumatta se joko käyttäytyy kuin tavanomainen muovi tai biohajoaminen hidastuu merkittävästi. Ei ole kuitenkaan selvää, kuinka paljon muovin täytyy hajota, jotta biohajoaminen voisi alkaa. [16]

3.2 Biohajoaminen

Biohajoavuus määritetään standardissa EN13432 seuraavasti: ”orgaanisen kemiallisen yhdisteen hajoaminen mikro-organismien avulla hapen läsnä ollessa hiilidioksidiksi, vedeksi ja muiden läsnä olevien alkuaineiden kivennäissuoloiksi (mineralisaatio) ja uudeksi biomassaksi tai hapen puuttuessa hiilidioksidiksi, metaaniksi, kivennäissuoloiksi ja uudeksi biomassaksi.” Kyseisessä standardissa on myös todettu, että jos pakkaus esittää olevansa jollakin tavalla orgaanisesti hyödynnettävissä, täytyy sen olla luonteeltaan ja lopullisesti biohajoava. Tällaisen pakkauksen tulee hajota biologisessa jätteenkäsittelyprosessissa ilman, että hajoamisesta olisi haitallista vaikutusta prosessiin. Biohajoavan tuotteen tulisi myös biohajota luonnossa mikro-organismien, kosteuden ja lämmön avulla pienemmiksi osiksi hapen läsnä ollessa noin kolmessa kuukaudessa. [3]

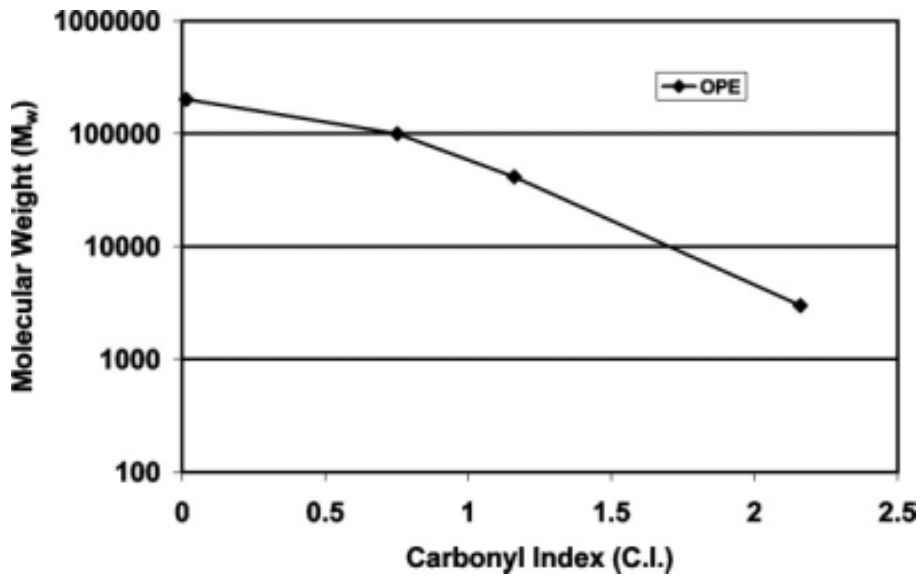
Australiassa vuonna 2008 tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin sekä polyeteenin, että oxo-hajoavan polyeteenin biohajoamista. Tutkimuksessa käytettiin kompostointia vastaavia olosuhteita ja tarkkailtiin esimerkiksi molekyyllipainoa ja karbonyyliyhdisteiden muodostumista abioottisen hapettumisen seurauksena. Havainnot tehtiin tutkimalla

konsentraation muutoksia karbonyyli-indeksin avulla, sillä karbonyyliryhmät muodostavat usein suurimman osan polyeteenin abiottisen hajoamisen tuotteista. Kuvasta 3 voidaan nähdä, että oxo-hajoavan polyeteenin karbonyyli-indeksi kasvaa hapettumisajan suhteen, kun taas polyeteenin karbonyyli-indeksi osoittaa vain vähäistä kasvua. Tämä osoittaa sen, että oxo-hajoavan polyeteenin hapettumisaste on huomattavasti korkeampi, kuin tavallisen polyeteenin, josta voidaan taas päätellä, että oxo-hajoavassa muovissa olevien lisäaineiden vaikutus hapettumiseen on suuri. [2]

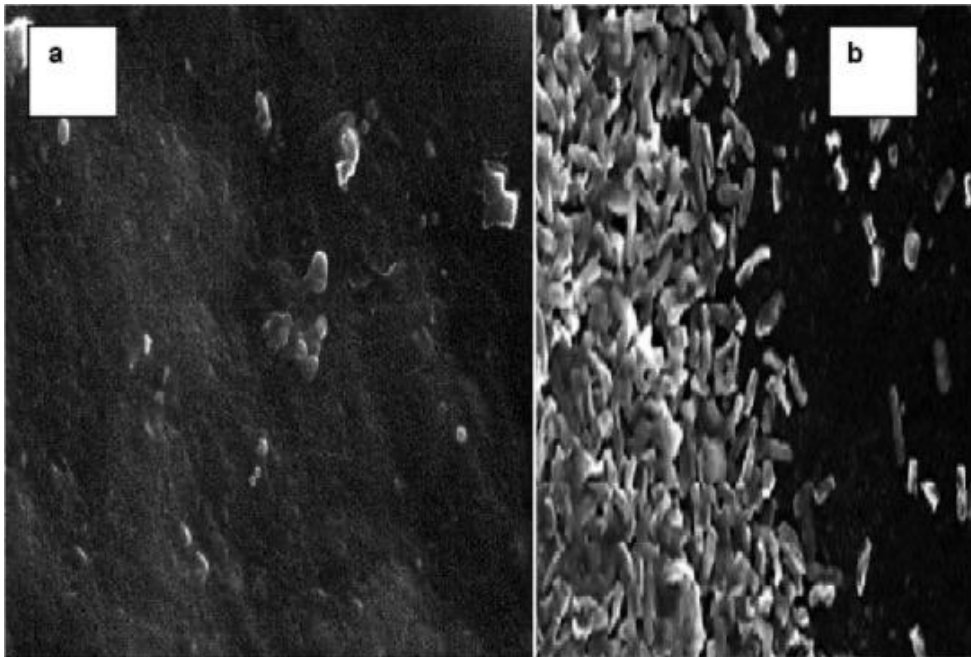


Kuva 3. Oxo-hajoavan polyeteenin (OPE) ja polyeteenin (PE) karbonyyli-indeksin suhde hapettumisaikaan [2].

Kuvasta 4 nähdään moolimassan ja karbonyyli-indeksin suhde oxo-hajoavassa polyeteenissä. Kuvasta nähdään moolimassan selvästi pienentyvän karbonyyli-indeksin kasvaessa, joka viittaa hajoamisen etenemiseen. Hajoamisen aikana mikrobit hyödyntävät suurimman osan abiottisista hapettumistuotteista ja mikro-organismien kasvu on hyvin merkittävä osa koko biohajoamisprosessia. Kuvasta 5 nähdäänkin, kuinka biofilmi, eli bakteereista, sienistä ja arkeoneista koostuva mikrobiyhteisö, on muodostunut oxo-hajoavan polyeteenin pinnalle. Biofilmi on muodostettu *Pseudomonas aeruginosa* avulla. *Pseudomonas aeruginosa* on gramnegatiivinen aerobinen sauvabakteeri. Kuvasta 5 voidaan todeta, että polyeteeni näyte osoittaa huomattavasti vähäisempää biofilmin kasvua, kuin oxo-hajoava polyeteeni näyte, joka viittaa oxo-hajoavan polyeteenin aloittavan biohajoamisen. [2][9]



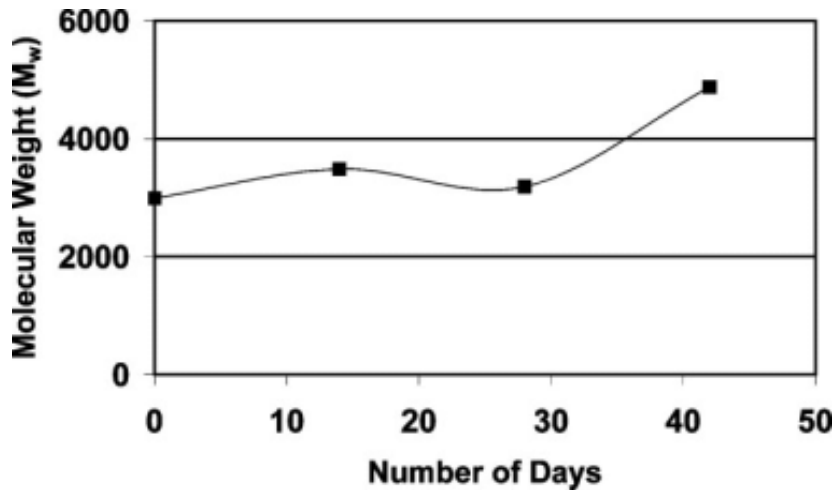
Kuva 4. Moolimassan ja C.I:n suhde oxo-hajoavassa polyeteenissä (OPE) [5]



Kuva 5. ESEM(ympäristöpöyhkäiselektronimikroskopia) kuva biofilmin muodostumisesta *Pseudomonas aeruginosa*n avulla abiottisesti hapetettuun a) polyeteeniin ja b) oxo-hajoavaan polyeteeniin [2].

Tutkimuksessa kuitenkin huomattiin, että kahden viikon jälkeen *P. aeruginosa* pystyi hyödyntämään enää vain pienen osan hapettumistuotteista. Tämä todennäköisesti tarkoittaa sitä, että *pseudomonas aeruginosa* kykenee hyödyntämään vain polymeeriketjun pienimolekyylipainoisia yhdisteitä, eikä kykene hyödyntämään suuren molekyylipainon omaavia osia, jolloin biohajoaminen loppuu kesken. Samalla voidaan myös todeta, että mikro-organismien toiminta rajoittuu vain polymeerin pinnalle. Edellä mainittu ilmiö voidaan myös havaita kuvasta 6, kun abiottisesti hapettuneen oxo-

hajoavan polyeteenin molekyyliaino saavuttaa huippunsa 42 päivän jälkeen. Kuvaajassa molekyyliainon pieni lasku 28 päivän jälkeen tutkimuksen mukaan kuvaa todennäköisesti *P. aeruginosa*n yrittästä päästä syvemmälle polymeeriin, mutta molekyyliainon nousu 42 päivän jälkeen kuitenkin osoittaa sen, ettei *P. aeruginosa* kykene liikkumaan polymeerissä pidemmälle. [2]



Kuva 6. Abioottisesti hapetetun oxo-hajoavan polyeteenin molekyyliainon muutos mikrobien hajoamisvaiheen aikana. [2]

Edellä mainitut tulokset osoittavat, että biohajoaminen on pääosin hapetustuotteiden kulutuksesta johtuvaa. Biohajoamisen aikana molekyyliainon kasvu osoittaa myös sen, että hapettumista edistävät tuotteet lopettavat toimintansa jossakin kohtaa hapettumista, eivätkä lopulta auta biohajoamista. Tulokset osoittavat siis sen, ettei oxo-hajoavista lisäaineista ole hyötyä biohajoamisessa. [2]

OPA vastaa väitteisiin siitä, ettei oxo-hajoava muovi biohajoa tarpeeksi nopeasti sillä, että oxo-hajoavia muoveja ei ole suunniteltu biohajoamaan nopeasti. Muovien käyttöikä on suunniteltu noin kuudeksi kuukaudeksi. Ensin muovin on kulutettava hapettumista hidastavat tuotteet ja vasta tämän jälkeen abioottinen hajoaminen ja myöhemmin biohajoaminen voi alkaa. Oxo-hajoavia muoveja ei myöskään ole suunniteltu kompostoitaviksi, vaan muovit on tarkoitettu vastaamaan ympäristöön joutuneiden muovien ongelmaan. [25]

OPA:n kommentteista huolimatta tutkimukset oxo-hajoavan muovin biohajoamisesta osoittavat selkeästi sen, ettei oxo-hajoava muovi täytä EN13432 määrittämiä vaatimuksia. Oxo-hajoava muovi ei hajoa mikro-organismien läsnä ollessa hapen avulla hiilidioksidiksi, vedeksi ja biomassaksi, vaan muovi hajoo pienemmiksi osiksi ja lopulta mikromuoveiksi. Oxo-hajoavista muoveista ei siis ole vastaamaan ympäristöön joutuneiden muovien ongelmaan, kuten OPA väittää, vaan muovit pahentavat ongelmaa entisestään.

3.3 Kompostointi

Oxo-hajoavan muovin kompostoitumisesta on tehty useita tutkimuksia, joiden lopputulokset ovat hyvin samankaltaisia. Esimerkiksi Kalifornian jätteenhallintalaitos toteutti tutkimuksen, jossa oxo-hajoavaa muovia testattiin kaupallisissa kompostointilaitoksissa kolmessa eri ympäristössä. Ensimmäinen tutkimusympäristö oli elintarvikejätteen reaktorikompostointi, jossa tutkittiin oxo-hajoavia muovipusseja, pienitiheyksistä polyeteenipusseja (LDPE), sekä UV-hajoavia muovipusseja. Toinen ympäristö oli avo- eli aumakompostointi, jossa tutkittiin Oxo- ja UV-hajoavia muoveja. Kolmas ympäristöistä oli yhdyskuntajätteen reaktorikompostointi, jossa tutkittiin oxo-hajoavia muovipusseja, LDPE muovipusseja, sekä UV-hajoavia muovipusseja. Kompostointiajanjaksot kestivät 120, 170 ja 180 päivää ja näiden ajanjaksojen aikana kaikki kompostoituvat muovit, kuten polylaktidi (PLA), olivat täysin hajonneet, mutta oxo-hajoavat muovipussit, LDPE muovipussit tai UV-hajoavat muovipussit eivät osoittaneet merkkejä hajoamisesta. [1][3][4]

Puolassa tehtiin tutkimus, jossa oxo-hajoavasta HDPE:sta, sekä TDPA lisäaineista valmistetun muovipussin (kuva 7) biohajoavuutta testattiin eri olosuhteissa kompostissa. Pussin väitettiin biohajoavan 100 % 12 kuukauden aikana. Komposti sisälsi lehtiä, oksia ja ruohoa. Ensimmäisessä tutkimuksessa näytettä haudutettiin tislatussa vedessä 70 °C:ssa 70 päivän ajan. Toisessa tutkimuksessa koko muovipussi jätettiin 365 päiväksi tislattuun veteen 70 °C. Materiaali ei päässyt altistumaan valolle tutkimuksen aikana, jotta valon muovia kuluttavat vaikutukset eivät päässeet häiritsemään tutkimustulosta. [16]



Kuva 7. Oxo-hajoava ECObag, kaupallinen muovipussi Puolalaisesta supermarketista. [16]

70 päivän aikana näytteiden massahäviö pysyi kaikissa tutkimusympäristöissä alle yhdessä massaprosentissa, eikä näytteissä ollut makro- tai mikroskooppisia pintamuutoksia. Näytteissä ei siis havaittu hajoamista kyseisessä ajassa. 365-päivän jälkeen havaittavissa oli jonkin verran visuaalisia muutoksia näytteen pinnassa. Numeropainotteisessa molekyylipainossa (M_n), joka heijastaa pienimolekyylisten osien muodostumista, tapahtui merkittäviä muutoksia. Jo 42 päivän aikana kompostoinnissa M_n laski 33 %. Tislatussa vedessä M_n laski 365-päivän aikana suurilla näytepaloilla 30 % ja pienillä 47 %. Tämä viittaa samaan tulokseen, johon Loughboroughin yliopiston tutkimus tuli, eli mikrobit pystyvät kuluttamaan polymeerin pienimolekyyllisiä osia. Kun tutkittiin yleisemmin käytettyä painokeskeistä molekyylipainoa (M_w), huomattiin, että vielä 365-päivänkin jälkeen molekyylipaino jäi huomattavan korkeaksi, eikä hajoamista ollut tapahtunut merkittävästi. Taulukossa 2 kuvataan analysoitujen näytteiden keskimääräiset molekyylipainot, sekä molekyylipainojen hajonta hajoamiskokeiden jälkeen. Taulukossa 3 kuvataan hajoamislämpötilan muutokset. [16]

Taulukko 2. Muutokset näytteiden (M_w/M_n) hajonnassa. Näyte CP kuvaa näytettä 42 päivän jälkeen kompostointipinossa, HL kuvaa suuria kappaleita hydrolyysin jälkeen 70 °C:ssa ja HS kuvaa pieniä kappaleita hydrolyysin jälkeen 70 °C:ssa. [16]

Aika [päivä]	Näyte	M_n [g/mol]	M_n [%]	M_w/M_n
0	-	30000	100	11.7
42	CP	20000	67.3	16.7
365	HL	21000	70.7	16.5
365	HS	16000	53.0	17.4

Taulukko 3. Hajoamislämpötilan muutokset (CP merkitsee kompostointiaikaa, H merkitsee hydrolyysia 70 °C:ssa, L suurta kappaletta ja S pientä kappaletta). [16]

Aika [päivä]	0	70 (CP)	70 (H)	365 (HL)	365 (HS)
T_d [°C]	204	325	216	416	304

Taulukosta 2 voidaan päätellä, että M_n kasvoi suuren molekyylipainon omaavilla tuotteilla ja pieneni pienen molekyylipainon omaavilla tuotteilla. Tästä voidaan päätellä, että PE hajosi helpommin pienempään molekyylipainoon, kun taas suuret kappaleet tuottivat helpommin kiteisempiä tuotteita eivätkä hajonneet pidemmälle. Kuten taulukosta 3 nähdään, hajoamislämpötila (T_d) kasvoi kompostiolosuhteissa ja tislattun veden olosuhteissa 365-päivän aikana 204 °C:sta 416 °C. Tulokset viittaavat siihen, että progressiivisen hajoamisen johdosta maksimihajoamislämpötila nousee. PE-HL tuotteilla oli pääasiassa korkeampi sulamispiste, kuin PE-HS tuotteilla. Tulokset osoittavat, että osa PE:stä todennäköisesti hajoamisen jäljiltä ristosilloittuu, eikä hajoa edelleen. [16]

Edellä kuvatusta kokeesta voidaan päätellä, että markkinoilla tarjottavat oxo-hajoavat tuotteet hajoavat todella hitaasti tai eivät hajoa ollenkaan kompostointiolosuhteissa. Tulokset näyttivät myös sen, että kaupallisille oxo-hajoaville polyeteenipusseille biohajoaminen ei ole mahdollista vuoden kompostoinnin aikana. [16]

EN13432 määrittää, että millään jätteenkäsittelyprosessiin menevällä orgaanisesti hyödynnettävällä pakkauksella tai sen osalla, ei saa olla negatiivista vaikutusta muodostuvan kompostin laatuun. Pakkauksen kaikkien osien tulisi olla myös biohajoavia ja lopullisessa muodossa kompostoituvia. Näin ollen oxo-hajoava muovi ei läpäise kompostoituvan materiaalin standardin asettamia vaatimuksia, eikä sitä voida kutsua kompostoituvaksi. Kuvassa 8 on esitelty 45 päivän kompostoinnin tulos oxo-hajoavaa

muovia kompostoidessa. Kuvasta voidaan päätellä, ettei oxo-hajoava muovi kompostoitunut lainkaan 45 päivän aikana. [1][3]



Oxodegradable plastic start



End (45 days)

Kuva 8. Oxo-hajoava muovi ennen ja jälkeen 45 päivän kompostoinnin. [14]

Ongelmana on kuitenkin se, että oxo-hajoavaa muovia kutsutaan biohajoavaksi, jolloin kuluttajat helposti laittavat muovin biojätteeseen. Tällöin oxo-hajoavat muovit usein seulotaan pois kompostointiprosessin lopussa muiden hylkyjen kanssa, joita ovat yleensä oksat ja muut paksut orgaaniset materiaalit, jotka eivät ole biohajonneet prosessin aikana. Normaalisti hylät kierrätetään takaisin prosessin alkuun, mutta oxo-hajoavien muovien joutuessa kompostoinnin sekaan, ei niitä voi enää sisäisesti kierrättää. Tällöin monissa maissa ainoa mahdollinen loppusijoitus on kaatopaikka, joka on kompostointiprosessia huomattavasti kalliimpi vaihtoehto. Suomessa ja pitkälti Euroopassa ainoa mahdollinen keino hävittää oxo-hajoava muovi on polttaa se energijätteenä. Oxo-hajoavan muovin kutsuminen biohajoavaksi on myös haaste muovien kierrätykselle, sillä epäpuhtauksien esiintyminen hajonneen muovin joukossa heikentää muovin laatua ja vaikuttaa siten myös myytävyyteen. [1][3][11]

4. HAITTAVAIKUTUKSET

4.1 Muovien kierrätys ja loppusijoitus

Kuten oxo-hajoavan muovin kompostointia pohtiessa todettiin, vaikuttaa muovin markkinointi biohajoavana negatiivisesti muovin kierrätykseen, sillä kuluttaja lajittelee tuotteen helposti kompostiin, vaikka tuotteet eivät kompostoidu. Muovin valmistajat markkinoivat tuotetta kierrätettävänä, mutta muovin kierrätyksen kannalta on tärkeää tietää, miten oxo-hajoavat aineet vaikuttavat kierrätysmateriaalista valmistettujen tuotteiden laatuun ja käytettävyyteen. Täysin todenmukaista oxo-hajoavan muovin kierrätettävyyttä on vain siten, että polyeteenin voi uudelleen sulattaa ja se voidaan käsitellä uudelleen muun kierrätysmateriaalin joukossa, vaikka polyeteenin hajoaminen olisi jo alkanut. Oxo-hajoava muovi olisi kuitenkin samalla tavalla kierrätettävissä, kuin mitkä tahansa kestumuovimateriaalit, jos siihen ei olisi lisätty pro-oksiantti lisäaineita. [1][25]

Yhtenä ongelmana muovin kierrätykselle on se, ettei lajittelulaitteet aina tunnista hajoavaa muovia muun muovin joukosta. Pahin ongelma on etenkin valon avulla hajoavissa muoveissa. Jo 10 % hajoavaa materiaalia, jossa on hapettumista edistäviä ainesosia vaikuttaa haitallisesti HDPE:n laatuun. Manuaalinen lajittelu taas olisi aikaa vievää, eikä se olisi ekonomisesti kannattavaa. [10][14]

Hajoamista edistävät lisäaineet edistävät kierrätysmuovin hajoamista, joka on huomattava haitta etenkin silloin, jos tästä materiaalista valmistetun tuotteen tulisi olla pitkäikäinen ja kestävä. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi rakentamiseen käytettävät kalvot ja muut muovituotteet. OPA:n mukaan oxo-hajoavaa muovia voidaan kierrättää, jos kierrätysmateriaalinkin halutaan olevan hajoavaa, kunhan tuote ei ole aloittanut hajoamista ennen kierrätykseen joutumista. Polymeerit menettävät stabilointiaineita jokaisella uudelleenkäsittelykerralla, joten lisäaineiden tuottajat ovat tarjonneet ratkaisuksi lisätä stabilointiaineita kompensoimaan oxo-hajoavien lisäaineiden vaikutuksia. Tämä kuitenkin synnyttää uuden ongelman tarvittavien stabilointiaineiden määrässä. Stabilointiaineet eivät luonnollisesti pysty myöskään kääntämään hajoamisprosessia takaisinpäin, jos oxo-hajoava muovi on kerennyt jo hajota. [1][25]

Stabilointiaineen sopiva määrä ja kemia on riippuvainen lähtöaineiden pitoisuudesta ja raaka-aineiden luonteesta. Tämä on ongelmallista, sillä oxo-hajoavan muovin pitoisuus kierrätysmateriaaleissa on tuntematon, eikä oikeita annoksia tällöin voida tarkasti tietää. Tuntematonta määrää oxo-hajoavaa muovia sisältävistä seoksista valmistettua

kierrätysmateriaalia ei tulisi siis käyttää ainakaan pitkäikäisiin tuotteisiin, sillä hapettuminen ja hajoaminen heikentää kierrätysmateriaalin laatua. Lyhyemmän käyttöiän tuotteille oxo-hajoavaa muovia sisältävän kierrätysmateriaalin käyttö voi olla mahdollista ilman, että tuotteen ominaisuudet ehtivät heikentyä. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi jätessäkit tai ostoskassit. [14][25]

Markkinoilla on huomattu, että oxo-hajoavat muovit tuovat mukanaan useita riskejä, sillä oxo-hajoavalla muovilla on kielteinen vaikutus kierrätyksestä tulleiden muovikalvojen markkinoitavuuteen. Tästä syystä muoviteollisuus haluaisi poistaa kyseiset muovit, jotta materiaalin laadusta ja myyntikelpoisuudesta johtuviin hintoihin ei tulisi muutoksia. [14]

Oxo-hajoavan muovin mahdolliset loppusijoituskohteet ovat kierrätys, maaperä roskaamisen kautta, vesistöt sekä poltto energijätteenä. Lisäksi ulkomailta yksi mahdollinen loppusijoituskohde on kaatopaikat. Siitä, mitä oxo-hajoavalle muoville tapahtuu sen jouduttua kaatopaikalle, ei löydy juurikaan tietoa. Asiasta on kuitenkin löydettävissä ainakin kaksi eri tutkimusta, joista Rojas and Greenin vuonna 2007 tehty tutkimus tulee siihen lopputulokseen, että oxo-hajoava polyeteeni ei biohajoa hapettomissa olosuhteissa tutkimuksen 43 päivän aikana. M. J. Carter Associates tuli toisenlaiseen lopputulokseen vuonna 2002 tutkiessaan oxo-hajoavan polyeteenin käyttäytymistä kaatopaikalla, jossa happea on saatavilla pinnan lähettyvillä. Tutkimuksessa käytettiin vertailukohteena viskositeettia, sillä viskositeetti pienenee, kun molekyylipaino pienenee, joka taas kuvaa tuotteen hajoamista. Kyseisessä tutkimuksessa oxo-hajoava polyeteeni jatkoi hajoamista ensimmäiset 10 kuukautta viskositeetin pienentyessä, mutta seuraavan kolmen kuukauden aikana viskositeetti yhtäkkiä kasvoi, ilman löydettyä selitystä. Tämä viittaa aiemmin todettuihin tuloksiin siitä, että pienen molekyylipainon omaavat osat hajoavat, mutta hajoaminen ei yllä suuren molekyylipainon omaaviin osiin. [1][4][5][11]

OPA:n mukaan oxo-hajoavaa muovia ei ole suunniteltu hajoamaan syvällä kaatopaikassa, vaan sen päätyessä kaatopaikalle muovi hajoaa kaatopaikan pintakerroksissa niin kauan kuin happea on saatavilla. OPA:n mukaan kaatopaikalla hajotessa oxo-hajoava muovi päästää hiilidioksidipäästöjä ilmakehään hitaasti, mutta ilman happea, muovi ei tuota metaanipäästöjä ympäristöön. Hapen puuttuessa oxo-hajoava muovi on kuitenkin kasvihuonepäästöjen kannalta huonompi ratkaisu kuin tavallinen muovi, sillä jos biohajoamista pääsee edes hieman tapahtumaan, aiheuttaa se fossiilisia hiilidioksidipäästöjä huomattavasti tavanomaista muovia enemmän. [12][13][25]

Oxo-hajoavia muoveja on markkinoitu ratkaisuna muoviroskan määrään, sillä muovin on tarkoitus hajota ja biohajota, eikä lopulta jättää roskaa jälkeensä. Tämä voi kuitenkin johtaa siihen, ettei esimerkiksi kyseisiä muovipusseja uudelleen käytetä ja roskaaminen lisääntyy. Kuluttaja voi helposti ajatella, että jättäessä muoviroskan maahan, se biohajoaa itsestään luonnossa hapen ja mikro-organismien avulla. Tällöin muovien roskaaminen entisestään lisääntyy. Siitä miten kuluttaja lopulta hävittää muovipussinsa, ei kuitenkaan ole näyttöä. Olisi kuitenkin tärkeää merkitä oxo-hajoaviin pakkauksiin enemmän tietoa hajoamisesta, jotta kuluttajan olisi helpompi ymmärtää, mihin muovin voi sijoittaa. Kuluttajille on helpompi myydä vahvoja ja kestäviä muovipusseja, jotka kestävät käyttöä, kuin oxo-hajoavasta polyeteenistä tehtyjä pusseja, joiden käyttöikä ei välttämättä ole yhtä pitkä. Näkyvän roskan määrä voi vähentyä oxo-hajoavan muovin myötä, jos muovi haurastuu ja hajoaa. Oxo-hajoavan muovin hajoamien ihmissilmältä näkymättömäksi mikromuoviksi on kuitenkin ympäristön kannalta entistä huonompi vaihtoehto. [1][10][16]

4.2 Ympäristövaikutukset

4.2.1 Maaperä

Yksi oxo-hajoavaan muoviin liittyvistä huolista on se, mitä muoviin lisättävät lisäaineet aiheuttavat maaperälle. Todisteita sille, ettei maaperälle olisi lisäaineista mitään haittaa ei ole, mutta pääasiassa oxo-hajoavan muovin ja lisäaineiden valmistajat ovat pystyneet pitämään myrkylliset vaikutukset kasvistoon ja eläimistöön pienenä. Oxo-hajoavan muovin testistandardit vaativat tuotteisiin myrkyllisyystestit vakiintuneita menetelmiä, kuten itävyyden ja kastematojen eloonjäämiskokeita käyttäen. Täysin ongelmattomia testimenetelmäkään ei ole, sillä esimerkiksi akkreditointi ei ole pakollista EU:n markkinoilla oleville tuotteille. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotteilla ei ole pakko olla puolueettoman kolmannen osapuolen hyväksyntää. [14]

Oxo-hajoavien tuotteiden valmistajien mukaan oxo-hajoavat tuotteet lisäävät maaperän humuspitoisuutta ja ovat näin hyödyllisiä maaperälle. Oxo-hajoavan muoviosasten hyödyistä maaperään ei kuitenkaan ole todisteita, ja niiden vaikutuksista on noussut huomattavan paljon huolia. Muoviosat saattavat esimerkiksi päätyä lieromatojen, hyönteisten, eläinten tai lintujen syömiksi, eikä tutkimuksia ole tehty tarpeeksi siitä, miten muoviosat vaikuttavat eliöstöön. Hajoamattomat tai osaksi hajonneet muovikappaleet voivat myös esimerkiksi tarttua eläimiin kiinni aiheuttaen huomattavia haittoja. [1]

4.2.2 Meriympäristö ja vesistöt

Oxo-hajoavan muovin hajoamista tai biohajoamista meriympäristöissä ei ole vielä tarpeeksi tutkittu. Meriympäristössä biohajoamiselle ei myöskään ole vielä luotu EU:ssa toimivia standardeja, joita voitaisiin käyttää tutkimuksissa. Biohajoamisen, sekä hajoamisen oletetaan kuitenkin olevan huomattavasti hitaampaa vedessä maaympäristöihin verrattuna, jolloin on olemassa riski siitä, että pienemmäksi hajonneet muoviosat jäävät vesistöihin aiheuttaen merkittäviä ympäristövahinkoja. Todennäköisesti lisäaineet, sekä hajonneet muovifragmentit aiheuttavat juuri eniten haittaa meriympäristöissä. Vesistöt ovat se ympäristö, josta muovin talteenotto myöhemmin on kaikista haastavinta, sillä muovin hajotessa mikromuoveiksi kerääminen voi olla mahdotonta. [14]

Oxo-hajoava muovi voisi vähentää muovien, kuten muovihihnojen, -renkaiden tai verkkojen takertumista eläimiin, jos muovi hajoaisi vesistössä tai ennekuin se päätyy vesistöön. Maalla tapahtuva täydellinen biohajoaminen vähentäisi muovimäärän vesistöihin joutumista, mutta kuten aiemmin todettiin, oxo-hajoava muovi ei biohajo ympäristöön joutuessaan. Muovilla voi olla eliöstölle muita negatiivisia vaikutuksia, kuten mikromuovien fyysinen nauttiminen, jonka vaikutuksista meren eläimiin ei ole tehty tarpeeksi tutkimuksia. Koska oxo-hajoava muovi kuitenkin hajoaa todennäköisesti tavallista muovia nopeammin meriympäristöissä, pääsevät mikromuovien vaikutukset keskittymään eliöstöön huomattavasti lyhyemmässä ajassa. Lopulta nopea hajoaminen voi olla haitallisempaa verrattuna pidemmän ajanjakson hajoamiseen, sillä tällöin yksilöihin, lajeihin ja lajien käyttäytymiseen päästään vaikuttamaan huomattavasti nopeammin. [10][14]

Polymeeriketjujen pilkkoontuminen on mahdollista meriolosuhteissa silloin, kun polymeeri altistuu UVB-säteilylle auringonvalossa ja ilmakehän ja meriveden hapettavat ja hydrolyyttiset ominaisuudet onnistuvat muodostamaan hydroperoksiedeja, jotka pilkkovat ketjua. Tämä ei vielä kuitenkaan riitä polymeerin biohajoamiseen, vaan polymeerin pitäisi hajota ensin pidemmälle. Muovi likaantuu joutuessaan meriveteen, kuten muutkin pinnasta kovat materiaalit. Tämä on tärkeä havainto, sillä likaantuneet organismit absorboivat valoa ja kun valo, joka saavuttaa muovin pinnan vähentyy, myös hajoamisnopeus pienenee. [17]

Vuonna 2010 kahden erilaisen TDPA lisäainetta sisältävän oxo-hajoavan muovipussin hajoamista vertailtiin GM-vapaasta maissista, kasviöljystä, sekä kompostoituvasta polyesteristä valmistetun biohajoavan muovipussin, sekä perinteisen 33 % kierrätetystä materiaalista valmistetun polyeteenimuovipussin hajoamiseen meriolosuhteissa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri muovipussien hajoamisnopeuksien eroja 40 viikon aikana, sekä selvittää onko meren eliöiden aiheuttama likaantuminen vähentänyt muovinäytteen pinnalle pääsevän UV-valon määrää. [17]

Tutkimusaikana oli 4, 8, 16, 24 ja 40 viikkoa. 4 viikon jäljiltä biofilmejä oli läsnä kaikissa näytteissä ja biofilmien paksuus kasvoi asteittain ajan ja likaantumisen myötä 8 viikon jälkeen. Jokaisen näytteen vetolujuus heikkeni tarkastelujakson aikana eri nopeuksilla ja 24 viikon jälkeen huomattiin, että biohajoavasta polyesteristä tuotetusta näytteestä ei ollut mitään jäljellä. Koko 40 viikon tutkimusaikana TDPA:ta sisältävät oxo-hajoavat näytteet, sekä tavallinen polyeteeni menettivät vain alle 2 % pinta-alastaan. UV-valon läpäisykyky huononi selvästi altistumisajan edetessä TDPA näytteissä, sekä tavallisessa PE näytteessä. Tutkimuksissa huomattiin, että näiden muovien pinta sai UV-valoa osakseen 90 % vähemmän, kuin näytteet, joita ei laitettu veteen, kun taas polyesterin kohdalla vastaava luku oli vain 5 %. Tutkimuksesta voidaan siis päätellä, että biohajoavaan polyesteriin verrattuna oxo-hajoavat näytteet eivät meriolosuhteissa biohajonneet yhtään tavallista polyeteeniä enempää. Voidaan todeta myös, että meriolosuhteissa tuotteiden likaantuminen hidastaa hajoamista entisestään, sillä valo ei pääse läpäisemään tuotetta. [17]

TDPA:n valmistajat ovat ilmoittaneet hajoamisajaksi 3 vuoden täydellisen altistumisen, joten tutkimusaikana täydellistä hajoamista ei oletettu saavutettavan. Hajoamisen olisi kuitenkin pitänyt tapahtua nopeammin, jotta täydelliseen hajoamiseen päästäisiin 3 vuoden kuluessa. Tutkimus piti kyseenalaisena tällaisten materiaalien tehokkuutta vähentää merien roskaantumista, joissa hajoaminen vaatii pitkiä altistumisaikoja. TDPA ja PE näytteiden huomattiin likaantuvan yhä enemmän tutkimuksen aikana, mikä vaikeutti UV-valon kulkemista näytteisiin. Tämän lisäksi meriolosuhteissa alentuneen lämpötilan on osoitettu jo aiemmin vähentävän valohajoavien muovien hajoamista verrattuna ilmassa hajoamiseen. On myös pohdittu sitä, olisiko meren paineella vaikutusta hajoamiseen, sillä suuremmalla paineella hajoamisessa syntyy pienempiä muovipaloja. Tällöin syvemmältä löydetyt muovijätteet voivat hajota nopeammin, vaikka niiden elinympäristöt ovat kylmiä ja pimeitä pintaan verrattuna. Hajoamiseen meriympäristöissä vaikuttavat näiden lisäksi esimerkiksi aaltojen mekaaninen vaikutus veden pintaan. [17][19][20]

Vuonna 2019 tutkittiin oxo-hajoavan muovin haitallisia vaikutuksia makean veden ympäristöihin. Tutkimuksessa vertailtiin erilaisten lisäaineita sisältävien polymeerien (PE, PP, PS) myrkyllisyyttä eri testiorganismeihin, kuten kasveihin, äyriäisiin ja luminoiviin bakteereihin. Tutkittavina kasveina käytettiin durraa, vihanneskrassia, keltasinappia, sekä härkäpapua. Äyriäisenä käytettiin makeassa vedessä elävää

Daphnia magna, joka on herkkä monille myrkyllisille aineille. Tutkittavana bakteerina käytettiin taas Vibrio fischeriä, joka on usein meriympäristöissä esiintyvä erilaisten merieläinten kanssa symbioosiin pyrkivä gramnegatiivinen sauvabakteeri. [6][18]

Tutkimuksessa huomattiin, että Daphnia magnan selviytymiseen vaikutti eniten polystyreeni ja polypropeeni. Polystyreeni myös selvästi heikensi Daphnia magnan lisääntymiskykyä. Kasveille negatiivisia vaikutuksia aiheutti pääasiassa polystyreeni. Polyeteenin lisäaineissa oli selvästi korkein metallipitoisuus, jolloin se vapautti eniten metalleja tutkimusorganismeihin. Kokonaisuudessaan tärkein löytö oli se, että kaikki tutkittavat polymeerit aiheuttivat jonkinlaisia negatiivisia vaikutuksia tutkimusorganismeihin. Tutkimustuloksia analysoitaessa tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että oxo-hajoavien lisäaineiden läsnäoloa ei voitu pitää pääsyyntä myrkyllisiin vaikutuksiin, sillä jos näin olisi, tulisi kaikkien polymeerien käyttäytyä tutkimuksessa samalla tavalla. Tutkimuksessa kuitenkin todettiin, että oxo-hajoavilla lisäaineilla voidaan olettaa olevan vaikutuksia muovien myrkyllisyyteen. Testin lopuksi polymeerit järjestettiin myrkyllisyyden perusteella TBI(Toxicity Test Battery) indeksin mukaan, joka on Italian kansallisen ympäristösuojelu- ja tutkimuslaitoksen määrittämä indeksi ekotoksikologisille riskeille, seuraavasti: PE > PS > PP. [6]

Tuorein Ranskassa vuonna 2020 tehty tutkimus tuli siihen tulokseen, että merivedessä oxo-hajoavassa polyeteenissä bakteerit olivat huomattavasti aktiivisempia, kuin tavanomaisessa polyeteenissä, joka tutkimuksen mukaan viittaa biohajoamiseen. Tutkimuksessa ei havaittu lisäaineisiin, kuten mangaaniin tai rautaan perustuvaa myrkyllisyyttä, mutta toksisuutta havaittiin kobolttia sisältävissä yhdisteissä. Tutkimuksessa korostettiin sitä, että oxo-hajoava ja oxo-biohajoava muovi ovat kaksi eri asiaa, sillä oxo-hajoava muovi tuottaa mikromuoveja, mutta oxo-biohajoava muovi biohajoaa. Tutkimustulokselle ei ole kuitenkaan muita todisteita, ja vaikka oxo-hajoavassa polyeteenissä bakteerit olisivatkin aktiivisempia kuin tavanomaisessa polyeteenissä, ei tämä vielä kerro suoraan biohajoamisesta. [22]

Oxo-hajoavien muovien hajoamiskäyttäytyminen herättää huomattavan määrän lisää kysymyksiä ja huolia liittyen mikromuoveihin ja niiden vaikutuksiin vesistöihin.

5. LAINSÄÄDÄNTÖ

Kuten jo aiemmin mainittiin, vuonna 2013 annetun EU:n komission tekemän selvityksen "Green Paper on a European Strategy on Plastic Waste in the Environment" perusteella oxo-hajoavat muovit joutuivat tarkastelun alaiseksi. Vuonna 2017 Ellen MacArthus säätiö julkaisi lausunnon, jossa 150 eri organisaatiota vaativat oxo-hajoavien muovipakkausten kieltämistä maailmanlaajuisesti niiden tuottamien ympäristövaikutusten vuoksi. Lausunnossa huomioitiin erityisesti muovien hajoamiskäyttäytyminen, joka johtaa mikromuovien syntymiseen, sekä kiertotalousajattelu, jonka mukaan tuotteet ja materiaalit tulisi suunnitella. Organisaatiot, jotka lausunnon allekirjoittivat, koostuivat muun muassa yrityksistä, teollisuuden järjestöistä, kansalaisjärjestöistä, tutkijoista sekä virkamiehistä. [7][8][15]

Edellä mainittujen seikkojen perusteella Euroopan komissio sitoutui vuonna 2018 ottamaan huomioon kasvavan huolen oxo-hajoavan muovin käytöstä, sekä muoveihin liittyvistä vääristä ja niin sanotuista vihreistä väitteistä. Euroopan komission mukaan oxo-hajoavat muovit eivät biologisesti hajoa avoimessa ympäristössä, eikä mikro-organismit hajota tuotteita vaarattomiksi luonnosta löytyviksi elementeiksi, kuten hiilidioksidiksi, vedeksi tai biomassaksi. Muoveja ei voi tällöin hyödyntää kompostoimalla. Oxo-hajoavien muovien katsotaan hajoavan pieniksi paloiksi, mikä pahentaa mikromuovien kertymistä maaperään. Euroopan komission mukaan ei ole myöskään todisteita oxo-hajoavien muovien biohajoamisesta meriympäristöissä, vaan käytettävät lisäaineet vain jäljittelevät biohajoamista. Tämän seurauksena hajoamisprosessista tulee nopeampaa ja helpompaa, ilman biohajoamista. [26]

Euroopan komissio ei ole löytänyt todisteita lisäaineiden myrkyllisyydestä maaperään, mutta kehottaa aiheelle lisää tutkimusta. Komission mielestä oxo-hajoavat muovit käyttävät harhaanjohtavaa mainontaa vihreillä väittämillä siitä, että tuotteet hajoavat ja kuluttajilla tulisi olla saatavilla selkeää ja luotettavaa tietoa siitä, miten tehdä kestäviä valintoja. Oxo-hajoavat muovit voivat komission mukaan vaikuttaa negatiivisesti muovijätevirtojen puhtauteen, sillä niitä ei voi erottaa tai lajitella prosessista, ja ne heikentävät merkittävästi kierrätetyn tuotteen fyysisiä ominaisuuksia ja käyttöikä. Näiden yllä mainittujen syiden vuoksi Euroopan komissio jäsenvaltioineen aloitti työn oxo-hajoavien muovien rajoittamiseksi Euroopan unionissa. [26]

Vuonna 2019 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi päättyi antamaan lakialoituksen tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutuksien vähentämisestä. Kyseistä

direktiiviä sovellettiin erinäisiin kertakäyttöisiin muovituotteeseen, oxo-hajoavasta muovista valmistettuihin tuotteisiin sekä muovia sisältäviin kalastusvälineisiin. Direktiivissä edellä mainitut tuotteet asetettiin EU:n sisällä markkinointikieltoon. [8][15]

OBPF, eli Oxo-hajoavan muovin liitto, osoitti tyytymättömyytensä Euroopan parlamentin tuottamaan lainsäädäntöön ja kutsui lainsäädäntöä poliittiseksi liikkeeksi, jolla ei ole tieteellistä perustusta. OBPF:n mukaan kiellon taustalla oli halu estää oxo-hajoavan muovin viemästä markkinoita biohajoavilta muoveilta. OBPF:n mukaan parlamentin jäsenet, jotka äänestivät oxo-hajoavia muoveja vastaan, eivät tienneet juuri mitään oxo-hajoavista muoveista. OBPF:n mukaan käsittelyssä ei myöskään noudatettu asianmukaisia menettelyjä, sillä sen mukaan oxo-hajoavien tuotteiden tutkimiselle ei annettu tarpeeksi aikaa. [21]

6. YHTEENVETO

Muovien valmistus ja käyttö on kasvanut viime vuosikymmenien aikana ja huoli muovijätteen määrästä on lisääntynyt. Oxo-hajoavat muovit on kehitetty vastaukseksi muovijätteeseen liittyviin ongelmiin, mutta tutkimusten myötä on huomattu niistä olevan ympäristölle ja jätteenkäsittelylle haittaa. Tässä työssä tutkittiin oxo-hajoavien muovien hajoamista ja pohdittiin minne oxo-hajoavan muovin voi sijoittaa elinkaarensa lopussa. Työssä kiinnitettiin erityistä huomiota siihen, millaisia haittavaikutuksia oxo-hajoavilla muoveilla on kierrätykseen tai ympäristöön ja miten lainsäädäntö rajoittaa kyseisten muovien käyttöä.

Oxo-hajoavat muovit valmistetaan tavallisista öljypohjaisista polymeereistä ja niihin lisätään erilaisista metalleista valmistettuja lisäaineita. Lisäaineiden tehtävä on hajoamisen edistämisen lisäksi säädellä hajoamisen alkamista haluttuun ajankohtaan. Työtä tehdessä tuli kuitenkin selväksi, että oxo-hajoavista lisäaineista ei ole lopulta mitään hyötyä. Vaikka lisäaineet saattavat avustaa hajoamista, loppuu hajoaminen kesken ja kokeellisissa testeissä nähtävä molekyylipainon pieneneminen liittyy lisäaineiden kuluttamiseen, eivätkä oikeaan hajoamiseen. [1]

Oxo-hajoavan muovin on tarkoitus ensin hajota abiottisesti, joka molekyylipainoa pienentämällä valmistaa tuotteen mikrobien kulutukseen biohajoamisessa. Oxo-hajoavan muovin valmistajat markkinoivat tuotetta biohajoavana ratkaisuna ympäristöön joutuvan muoviroskan määrään, mutta muovi hajoaa ympäristössä mikromuoveiksi ja näin ennestään pahentaa muoviroskan määrää. Jotta muovi voitaisiin määritellä biohajoavaksi, täytyisi biohajoamisen tapahtua hapen läsnä ollessa noin kolmessa kuukaudessa. Oxo-hajoavan muovin abiottiseen hajoamiseen kuluu useampi vuosi, ennekuin biohajoamien voisi edes alkaa, eikä biohajoamista useiden tutkimusten mukaan koskaan lopullisesti tapahdu. [14]

Biohajoavalla tuotteella ei saisi olla negatiivisia vaikutuksia jätteenkäsittelyprosesseihin. Oxo-hajoavaa muovia ei ole suunniteltu kompostiin mutta kuluttajat usein sijoittavat tuotteen biojätteeseen, jolloin se hankaloittaa ja hidastaa kompostointiprosessia ja saattaa jopa estää muiden tuotteiden kompostoitumisen. Kierrätettynä oxo-hajoava muovi heikentää hauraan hajoamiskäyttötymisensä vuoksi kierrätysmateriaalin laatua ja kestävyyttä. Kaatopaikkaan joutuessaan muovi ei taas hajoa syvällä kaatopaikassa, eikä pinnalla hajoaminen ole todennäköistä. Energiajätteenä polttaminen on paras ratkaisu oxo-hajoavan muovin loppukäsittelyyn, sillä polttamisessa oxo-hajoavasta

muovijätteestä on vähiten haittaa. Biohajoavia tuotteita ei suositella poltettavaksi, sillä ne sisältävät niin paljon vettä, että se hidastaa poltto prosessia. Oxo-hajoavat muovit eivät biohajoa, mutta jos hajoamisen aikana muovin pinnalle on kerääntynyt biofilmiä, saattaa se hidastaa polttoa. Tästä ei ole kuitenkaan tehty tutkimuksia oxo-hajoavan muovin kohdalla. Oxo-hajoavista muoveista on siis jätteenkäsittelyprosesseissa enemmän haittaa, kuin tavanomaisista muoveista, joihin ei ole lisätty oxo-hajoavia lisäaineita. [3][14][25]

Meriolosuhteissa oxo-hajoavan muovin hajoamista tai biohajoamista ei olla vielä paljoa tutkittu, mutta on selkeää, ettei oxo-hajoava muovi ainakaan biohajoa, sillä hajoaminen ja biohajoaminen ovat meressä vielä hitaampia, kuin maalla. Oxo-hajoavat muovit voivat abioottisen hajoamisen seurauksena hajota mikromuoveiksi, jolloin muovit ennestään vain pahentavat maaperän ja merien mikromuoviongelmaa. Oxo-hajoavan muovin tai siitä hajonneen mikromuovin joutuessa ruokaketjuun, voi sillä olla tuntemattomia negatiivisia vaikutuksia. Lisäaineiden vaikutuksista eliöstöön ei ole tehty tarpeeksi tutkimuksia, mutta on todisteita siitä, että metalliset lisäaineet heikentävät esimerkiksi joidenkin kasvien ja alkueliöiden lisääntymis- ja selviytymiskykyä. Tässäkin tapauksessa oxo-hajoavat lisäaineet näyttävät tuottavan tavanomaisiin muoveihin lisättyinä enemmän haitallisia vaikutuksia, kuin muoveissa olisi ilman lisäaineita. [1][6][14][17]

Vuonna 2019 oxo-hajoavat muovit määrättiin markkinointikieltoon EU:n sisällä niiden monien ongelmien vuoksi. Kuitenkin Aasiassa ja etenkin Lähi-idässä oxo-hajoavilla muoveilla on edelleen suurta kysyntää ja oxo-hajoavat muovit ovat vielä käytössä suuressa osassa maailmaa. Muoveihin liittyviä ongelmia on alettu tutkia maailmanlaajuisesti viime vuosikymmen aikana, joten olisi odotettavissa, että oxo-hajoavien muovien käyttöä rajoitettaisiin myös globaalisti lähitulevaisuudessa. Oxo-hajoavan muovin valmistajat pitkälti kiistävät negatiiviset tutkimustulokset ja pitävät niitä poliittisena keinona estää oxo-hajoavia muoveja viemästä markkinaosuutta biohajoavilta muoveilta. Ristiriitaisten tutkimustuloksien riippumattomuudesta ei voida olla varmoja, sillä oxo-hajoavan muovin biohajoamisen, kierrätettävyyden ja hyötyjen puolesta puhuvat vain valmistajien tekemät tai rahoittamat tutkimukset. Oxo-hajoavat muovit tarvitsisivat lisää tutkimusta kolmannesta puolueettomasta lähteestä, sillä on haastavaa saada selvyyttä siitä, mitkä oxo-hajoavien muovien tutkimustulokset ovat puolueettomia. [21][26]

Oxo-hajoavat lisäaineet vaatisivat vielä paljon tutkimusta ja kehitystä, jotta hajoaminen voisi viedä biohajoamiseen, eikä ole varmaa onnistuisiko se silloinkaan. Ratkaisuna oxo-hajoavien muovien käsitelyihin ympäristöongelmiin olisi tällä hetkellä kyseisten muovien markkinoinnin kieltäminen globaalisti ja käytössä olevien tuotteiden sijoittaminen

energiäjätteeseen käytön jälkeen. Oxo-hajoavan muovin tilalla tulisi käyttää biohajoavia tuotteita, jos tuote pystytään tekemään biohajoavasta vaihtoehdosta. Muissa tapauksissa tavanomainen muovi on tämänhetkisten tutkimustuloksien perusteella oxo-hajoavaa muovia jopa parempi vaihtoehto. Myös uusia biohajoavia menetelmiä kehitetään jatkuvasti, eikä tutkimus ja kehitystyötä oxo-hajoavien muovienkaan kohdalla voida vielä lopettaa.

LÄHTEET

- [1] T. L. Noreen, J. Clarke, A. R. McLauchlin & S.G. Patrick, Oxo-degradable plastics: degradation, environmental impact and recycling, Loughborough University, 2012. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/270465953_Oxo-degradable_plastics_Degradation_environmental_impact_and_recycling
- [2] M. M. Reddy, M. Deighton, R. K. Gupta, S. N. Bhattacharya & R. Parthasarathy, Biodegradation of Oxo-Biodegradable Polyethylene, Melbourne University, 2008. Saatavissa: https://www.academia.edu/32981328/Biodegradation_of_oxo_biodegradable_polyethylene
- [3] CEN (European Committee for Standardization (2000) EN 13432:2000 Packaging – requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging. CEN, Brussels.
- [4] E. Rojas & J. Greene, Performance Evaluation of Environmentally Degradable Plastic Packaging and Disposable Food Service Ware, Integrated Waste Management Board, California, USA, 2007. Saatavissa: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwio1I2Aw-jrAhVwAxAIHUAPCIQQFjADegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww2.calrecycle.ca.gov%2FPublications%2FDownload%2F863%3Fopt%3Ddl&usg=AOvVaw2zWuCxZDI7qZbQnMQdDekS>
- [5] M. J. Carter Associates (2002) Assessment of the Physical Degradation in a Landfill Environment of Plastics Manufactured with TDPA. M. J. Carter Associates, Atherstone, UK, Report No. EPI/RES/JHP/2209/01a, pp. 1–13.
- [6] S. Schiavo, M. Oliviero, S. Chiavarini & S. Manzo, Adverse effects of oxo-degradable plastic leachates in freshwater environment, Environmental Science and Pollution Research, 2020. Saatavissa: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11356-019-07466-z.pdf>
- [7] Over 150 organisations back call to ban oxo-degradable plastic packaging, The Ellen MacArthur Foundation, 2017. Saatavilla: <https://newplasticseconomy.org/news/over-150-organisations-back-call-to-ban-oxo-degradable-plastic-packaging>
- [8] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2019/904/EU tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutuksen vähentämisestä, Euroopan unionin virallinen lehti, L155/1, 2019. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1581081814797&uri=CELEX:32019L0904>
- [9] M. Wu, X. Li, Klebsiella pneumoniae and Pseudomonas aeruginosa, Molecular Medical Microbiology, 2015. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123971692000871>

- [10] A. L. Andrady, *Plastics and Environmental sustainability*, John Wiley & Sons, 2015. Saatavissa:
https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=YHamBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP13&dq=Andrady+A.+Plastics+and+Environmental+Sustainability.+Hoboken,+New+Jersey,+USA:+John+Wiley+%26+Sons%3B+2015.&ots=rvVKIBYExz&sig=iLXHjvRUe37zz5Z9LKpx1PsNXjl&redir_esc=y#v=onepage&q=oxo&f=false
- [11] S. Deconinck & B. De Wilde, *Final Report: Benefits and challenges of bio- and oxo-degradable plastics*, OWS N.V., 2013. Saatavissa: https://www.ows.be/wp-content/uploads/2013/10/Final-Report-DSL-1_Rev02.pdf
- [12] N. Thomas, J. Clarke, A. McLauchlin & S. Patrick, *EV0422 Assessing the Environmental Impacts of Oxo-degradable Plastics Across Their Life Cycle*, Loughborough University, 2010. Saatavissa:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjCt9LRsfXrAhXvslsKHZQVBrkQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Frandd.defra.gov.uk%2FDocument.aspx%3FDocument%3DEV0422_8858_FRP.pdf&usq=AOvVaw3jxL3L6MfpM2SradrJZL5r
- [13] G. Scott, *Oxobiodegradable Plastics*, *Bioplastics Magazine* [06/09], vol. (4), 2009 pp. 28-30. Saatavissa:
https://issuu.com/bioplastics/docs/bioplasticsmagazine_0906
- [14] S. Hann, S. Ettliger, A. Gibbs & D. Hogg, *The Impact of the Use of "Oxo-degradable" Plastic on the Environment*, Final report for the European Commission DG Environment, 2016. Saatavissa:
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bb3ec82e-9a9f-11e6-9bca-01aa75ed71a1>
- [15] GREEN PAPER On a European Strategy on Plastic Waste in the Environment, 2013/0123, EUR-Lex 2013. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0123>
- [16] M. Musiol, J. Rydz, H. Janeczek, I. Redecka, G. Jiang & M. Kowalczyk, *Forensic engineering of advanced polymeric materials Part IV: Case study of oxo-biodegradable polyethylene commercial bag – Aging in biotic and abiotic environment*, *Waste Management* 64 (2017), pp. 20-27, 2017, Saatavissa:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0956053X17301915?token=1BB174FCFDC494F085CE45D3553347B4C828C6FBCC9C27A5924960F4AA32D174B5227DF96E794C3A937676DA089AC84C>
- [17] T. O'Brine & R. C. Thompson, *Degradation of plastic carrier bags in the marine environment*, Marine and Ecology Research Centre, University of Plymouth, 2010. Saatavissa:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0025326X10003553?token=6223D5D5448CD48E0111482F967B954B42D5BB80ECD2ECA43499C8A3C7A15569DF23F09CA8E9F9E9BFE4ACDA7ED7302E>
- [18] A. K. Dunn, *Advances in Microbial Physiology*, Chapter Two – *Vibrio fischeri*, *Metabolism: Symbiosis and Beyond*, 2012. Saatavissa:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123944238000020>
- [19] K. Murata, K. Sato & Y. Sakata, *Effect of pressure on thermal degradation of polyethylene*, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 71, Issue 2, pp. 569-589, 2004. Saatavissa:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0165237003001505?token=AAEBC93085598A6F08142AE1860C10DC19109CC3DE7504A86F9AC34CD45DF28836FF9650676744695B9786EF641A86FF>

- [20] D. Cooper & P. Corcoran, Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii, University of Western Ontario London, 2010. Saatavissa: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0025326X09005426?token=CC8D4D10E527C1713FA50E74FCC3D8110B3B6DB7018364E918846E2CA3003791FF04B4C5D58AA7A1DC47AD30632A4A3D>
- [21] OBPF, European parliament ban on oxo-degradable plastics is a non-science based political move, 2019 Saatavilla: <http://www.obpf.org/european-parliament-ban-oxo-degradable-plastics-non-science-based-political-move/>, lainattu 16.11.2020
- [22] J. F. Ghiglione, Abiotic and biotic degradation and toxicity of oxo-biodegradable plastics in marine waters – OXOMAR, ANR, 2020. Saatavilla: <https://anr.fr/Project-ANR-16-CE34-0007>
- [23] OPA, Members of the Association. Saatavilla: <https://www.biodeg.org/about/members/>, lainattu 18.11.2020
- [24] <https://www.symphonyenvironmental.com>, lainattu 18.11.2020
- [25] OPA, 2010 , OPA Responses to Loughborough report. Saatavilla: <https://www.biodeg.org/wp-content/uploads/2020/05/opa-response-to-loughborough-report-.pdf>
- [26] European commission, A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions, Commission staff working document, 2018. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0016&from=EN>
- [27] C. B. Crawford & B. Guinn, Microplastic pollutants, Amsterdam: Elsevier, 2017. Saatavilla: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=4747929&pg=122>
- [28] Southern African Polymer Technology, Biodegradable vs compostable vs oxo-degradable plastics. Saatavilla: <https://sapt.co.za/biodegradable-vs-compostable-vs-oxo-degradable-plastics/>
- [29] Award Packaging Industries SDN BHD, Oxo Biodegradable. Saatavilla: <https://www.awardpack.com/oxo-biodegradable-api>