



arvi

Material Value Chains

RAPORTTI
NRO D4.1-3
HELSINKI 2016

Hanna Eskelinen, Teija Haavisto, Hanna Salmenperä,
Helena Dahlbo

Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet



Solution Architect for Global
Bioeconomy & Cleantech Opportunities



arvi
Material Value Chains

Muovien kierrätyksen
tilanne ja haasteet
Hanna Eskelinen ym.

11.4.2016
2(58)



CLIC INNOVATION OY
ETELÄRANTA 10
P.O. BOX 10
FI-00131 HELSINKI,
FINLAND
CLICINNOVATION.FI

ISBN 978-952-5947-90-8



**CLIC Innovation
Raportti nro D4.1-3**

Hanna Eskelinen
Teija Haavisto
Hanna Salmenperä
Helena Dahlbo

Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet





Raportin nimi: Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet

Avainsanat: muovi, muovijäte, kierrätys, lainsäädäntö

Tiivistelmä

Muovia käytetään yhteiskunnassamme yhä enenevässä määrin, mikä heijastuu myös muovijätelmäärän kasvamiseen. Kiristynyt lainsäädäntö ja pyrkimys kiertotalouden toteutukseen edellyttävät entistä tehokkaampaa kierrätystä jätteille, myös muovijätteelle. Kierrätyksellä voidaan säästää luonnonvaroja ja vähentää muitakin muovijätteestä aiheutuvia ympäristövaikutuksia, kuten roskaantumista sekä maa- että meriympäristössä. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että kierrätysmateriaaleilla ja -tuotteilla korvataan neitseellisiin raaka-aineisiin pohjautuvaa tuotantoa ja samanaikaisesti minimoidaan kierrätysprosesseista syntyvä ympäristökuormitus.

Muovien kestävän ja turvallisen kierrätyksen edistämistä tutkitaan Materiaalien arvovirrat ARVI –tutkimusohjelmassa. Tämä selvitys on tehty ARVI-tutkimusohjelman puitteissa, osana muovijätteen kierrätyksen edistämiseen keskittyvää Muovi-teemaa. Selvitykseen on koottu taustatietoa muovijätteen kierrätyksen tilanteesta Suomessa sekä mahdollisuuksista sen edistämiseen.

Muovien kierrätyksen suuria ongelmia ovat muovilaatujen suuri määrä ja kuluttajaperäisten muovien likaisuus. Muovien lajittelu ja puhdistus ovat edellytyksiä laadukkaaseen kierrätysmuovin aikaansaamiseksi. Pakkaukset ovat merkittävän muovin käyttökohde, ja siten myös merkittävin muovijätteen lähde. Vuonna 2012 Euroopassa kierrätettiin 6,6 miljoonaa tonnia muovijätettä, mistä suurin osa (82 %) oli pakkausmuovia. Seuraavaksi eniten kierrätettiin maatalouden muovijätettä ja kolmanneksi eniten rakennusten muovijätettä. Suomessa muovien kierrätyksen tilanne on samankaltainen kuin EU-maissa yleensä. Eniten kierrätetään pakkausmuovijätettä, minkä jälkeen tulevat maatalouden ja rakennusten muovijäte. Kierrätysmuovien käyttökohteita Suomessa tällä hetkellä ovat pakkaukset, maatalous ja maanrakennus, muu rakentaminen ja teollisuus ja muut kohteet (ämpärit, henkarit, kompostorit ym.).

Tulevaisuudessa muovien käyttökohteet laajenevat ja sitä myötä myös syntyvät muovijätteen määrät kasvavat. Tässä selvityksessä kartoitettiin kierrätysmuovien uusia käyttökohteita sellaisilta sovellusalueilta, missä käyttömäärät voisivat olla suuria ja joissa mahdollisista haju- tai värivirheistä ei ole haittaa. Potentiaalisimpina kohteina identifioitiin maarakentaminen, jätevedenpuhdistus ja muut ympäristötuotteet. Sovelluskohteiden tutkimusta jatketaan ARVI-tutkimusohjelmassa.

Lainsäädäntö luo paineita muovien kierrätyksen edistämiseksi, mutta toisaalta myös rajoittaa mm. haitallisia aineita sisältävien muovien kierrätystä. Tulevaisuudessa muoviteollisuuden sekä muiden muovien tuotteen käyttävien tuo-





tannonalojen tulisikin jo tuotteiden suunnitteluvaiheessa kiinnittää huomiota tuotteen koko elinkaareen ja siten myös tuotteen kierrätettävyyteen käytöstä poiston jälkeen. Materiaalien valinnassa tulisi ottaa huomioon niiden kierrätettävyys tuotteen elinkaaren loppupäässä. Tuotteen sisältämien muovilaatujen määrää tulisi vähentää ja suosia yhtä muovilaatua sisältäviä tuotteita tai keskenään yhteensopivia muovilaatuja, jotka voitaisiin kierrättää yhdessä. Lisäaineiden käyttöä tulisi harkita samoilla periaatteilla. Tuotteen suunnittelussa voitaisiin lähtökohtana pitää valmistusta kierrätysmuovista.

Suomalaisissa yrityksissä ollaan kiinnostuneita ja yritysten olisi mahdollista lisätä uusiomuovien käyttöä tuotannossaan, kunhan materiaalien valmistaja-kohtaiset laatuvaatimukset täyttyvät. Uusiomuovin tulee olla puhdasta ja tasalaatuista. Taloudelliset kannustimet voisivat nopeuttaa kierrätysteollisuuden kehitystä. Lisäksi markkinoille tarvitaan kierrätystuotteiden kysynnän kasvua, esimerkiksi julkisten hankintojen vetämänä.





SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	MUOVIER TUOTANTO JA KULUTUS	8
2.1	MUOVIER KÄYTTÖ.....	8
2.2	MUOVIJÄTTEEN LÄHTEITÄ JA MÄÄRÄARVIOITA.....	11
2.3	MUOVIJÄTEMÄÄRIEN KEHITYSNÄKYMÄ.....	14
2.3.1	<i>Arvioita muovijätteen maailmanlaajuisesta kehityksestä</i>	14
2.3.2	<i>Arvioita muovijätteen määrien kehityksestä Suomessa</i>	16
3	MUOVIER KIERRÄTYSKETJU	19
3.1	YLEISTÄ KIERRÄTYSMENETELMISTÄ JA -VAIHEISTA.....	19
3.2	PESUMENETELMÄ.....	21
3.3	LAJITTELUKÄNNIKKOITA.....	22
3.4	MUOVIER LISÄÄINEET JA NIIDEN POISTO	28
4	NYKYISIÄ KIERRÄTYSMUOVIER KÄYTTÖKOHTEITA	28
5	POTENTIALISIA UUSIA KIERRÄTYSMUOVIER KÄYTTÖKOHTEITA	
	31	
5.1	LÄHTÖKOHDAT KÄYTTÖKOHTEIDEN SELVITYKSELLE	31
5.2	MAARAKENTAMINEN	32
5.3	JÄTEVEDENPUHDISTUS.....	33
5.4	MUUT YMPÄRISTÖTUOTTEET	34
5.5	MUUT ULKOKOHTEET	34
5.6	PAKKAUSTEOLLISUUS.....	35
5.7	AUTOTEOLLISUUS	36
5.8	3D-TULOSTUS.....	36
6	MUOVIER KIERRÄTYSKSEN YMPÄRISTÖHYÖDYISTÄ	37
6.1	KIERRÄTYSMUOVIER UDELLEENKIERRÄTETTÄVYYS.....	37
6.2	KIERRÄTYSKSEN POTENTIALISET YMPÄRISTÖSÄÄSTÖT.....	38
7	MUOVIER KIERRÄTYSKSEN HAASTEITA	39
7.1	LAINSÄÄDÄNTÖÖN PERUSTUVAT RAJOITUKSET	39
7.1.1	<i>Pakkausjätedirektiivi, VNA pakkausista ja pakkausjätteistä</i>	39
7.1.2	<i>EY:n jätteensiiroasetus</i>	40
7.1.3	<i>Jätelain mukainen sivutuotemäärittely</i>	41
7.1.4	<i>WEEE-direktiivi ja VNA sähkö- ja elektroniikkaromusta</i>	42
7.1.5	<i>Romuaudirektiivi ja VNA romuajoneuvoista</i>	43
7.1.6	<i>RoHS-direktiivi</i>	43
7.1.7	<i>REACH ja CLP säädökset</i>	44
7.1.8	<i>Säädökset elintarvikekosketuksessa olevista muoveista</i>	46
7.1.9	<i>Säädökset pysyvistä orgaanisista yhdisteistä (POP)</i>	47
7.2	MUITA RAJOITUKSIA.....	48
7.3	HAASTEITA MUOVIER TUOTANTO- JA KIERRÄTYSKETJULLE.....	48
8	LÄHTEET	50
	LIITE 1 JOITAKIN TIETOJA MUOVIER VALMISTUKSEN JA	
	KIERRÄTYSKSEN YMPÄRISTÖKUORMITTEISTA	57





1 Johdanto

Muovia käytetään yhteiskunnassamme yhä enenevässä määrin. Maailmalla muovintuotanto on kasvanut vuosittain. Vuodesta 2002 vuoteen 2013 mennessä muovituotannon määrä koko maailmassa on noussut 204 miljoonasta tonnista 299 miljoonaan tonniin (Plastics Europe 2015). Tällä hetkellä noin 4 % kaikesta tuotetusta öljystä menee neitseellisen muovin valmistukseen (Kreiger 2014).

Yhdyskuntajätteestä kierrätettiin Suomessa vuonna 2013 noin kolmannes (Suomen virallinen tilasto 2015). Lainsäädäntö vaatii kuitenkin jätteiden kierrätyksen lisäämistä. EU:n jätedirektiivin (2008/98/EC) mukaan yhdyskuntajätteestä tulisi kierrättää 50 % vuoteen 2020 mennessä. Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa tavoitetta on aikaistettu vuoteen 2016 (Ympäristöministeriö 2008). Rakennus- ja purkujätteestä 70 % tulee kierrättää tai hyödyntää materiaalina vuoteen 2020 mennessä (Jätelaki 646/2011). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin mukaan viimeistään 1 päivänä tammikuuta 2015 kaikkien romuajoneuvojen uudelleenkäyttöä ja hyödyntämistä lisätään vähintään 95 prosenttiin keskimääräisestä painosta ajoneuvoa ja vuotta kohti. Samassa määräajassa uudelleenkäyttöä ja kierrätystä lisätään vähintään 85 prosenttiin keskimääräisestä painosta ajoneuvoa ja vuotta kohti. (2000/53/EY). EU komission joulukuussa 2015 julkistamassa ehdotuksessa Kiertotalouspaketiksi esitetään edelleen tiukennuksia kierrätystavoitteisiin.

Yksi muovijätteiden näkyvimmistä ympäristöhaitoista globaalisti ajateltuna on roskaantuminen. Mikäli kierrätystä saadaan tehostettua, voidaan roskaantumista sekä maa- että meriympäristössä vähentää. Kierrätyksellä voidaan pääsääntöisesti säästää luonnonvaroja ja vähentää muitakin ympäristövaikutuksia, mikäli kierrätysmateriaaleilla ja -tuotteilla korvataan neitseellisiin raaka-aineisiin pohjautuvaa tuotantoa. Lisäksi on minimoitava kierrätysprosesseista syntyvä ympäristökuormitus (aineiden ja mikromuovien päästöt veteen ja ilmaan, jätteet).

Muovien kestävä ja turvallisen kierrätyksen edistämistä tutkitaan Materiaalien arvovirrat ARVI –tutkimusohjelmassa. Tämä selvitys on tehty ARVI-tutkimusohjelman puitteissa, osana muovijätteen kierrätyksen edistämiseen keskittyvää Muovi-teemaa. Selvitykseen on koottu taustatietoa muovijätteen kierrätyksen tilanteesta Suomessa sekä mahdollisuuksista sen edistämiseen. Lukuun 2 on koottu tietoa muovien käytöstä ja muovijätteen määrästä, laadusta ja kehitystrendeistä. Muovijätteen määriä ja laatua selvitetään ARVI:ssä käynnissä olevissa tutkimuksissa lisää. Luvussa 3 esitetään muovin kierrätysketjussa tarvittavia prosesseja, luvussa 4 nykyisiä kierrätysmuovien käyttökohteita ja luvussa 5 ehdotuksia uusiksi kierrätysmuovien sovelluskohteiksi. Luvussa 6 luodaan lyhyt katsaus muovin kierrätyksen potentiaalisiin ympäristöhyötyihin. Luku 7 esittää lainsäädännön rajoituksia kierrätykselle sekä haasteita muovin tuotanto- ja kierrätysketjulle.



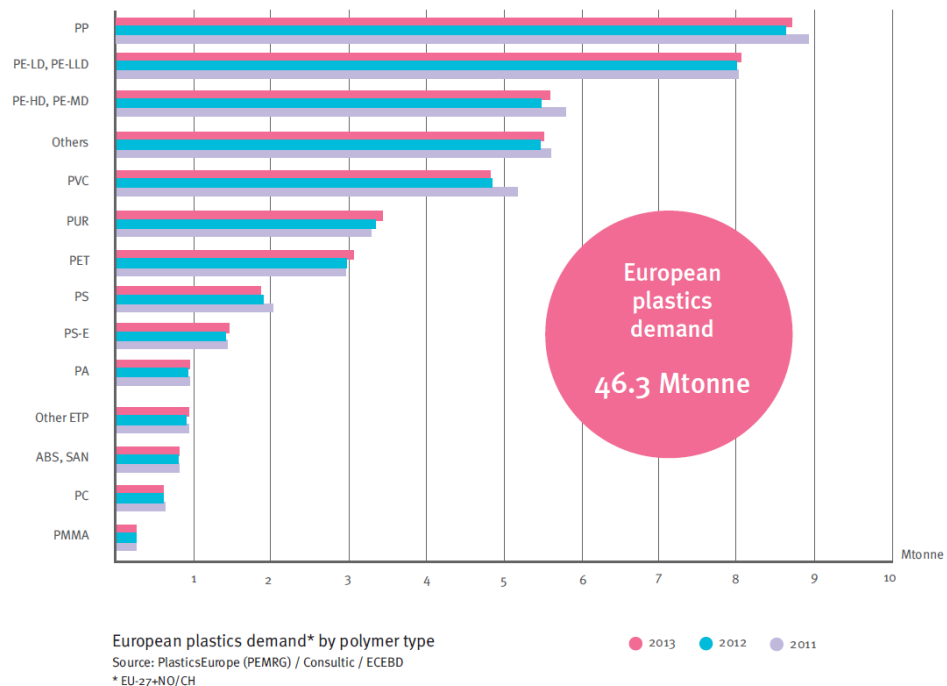


2 Muovien tuotanto ja kulutus

2.1 Muovien käyttö

Vuonna 2013 muovintuotannon määrä oli 299 miljoonaa tonnia maailmanlaajuisesti ja 57 miljoonaa tonnia Euroopassa. Kuvassa 1 on esitetty eri muovilajien kysyntä Euroopassa vuosina 2011-2013. Kysytyimpiä muovilajeja olivat polypropyleeni (PP) ja erilaiset polyetyleenit (PE-LD, PE-LLD, PE-HD ja PE-MD). Muovin kokonaiskysyntä oli Euroopassa 46,3 miljoonaa tonnia vuonna 2013 (kasvua 1 %). Muovin tuotanto kasvoi vuonna 2013 2,6 %, vuonna 2014 kasvun arvioidaan olleen 1,4% ja vuonna 2015 olevan 1%. (Plastics Europe 2015).

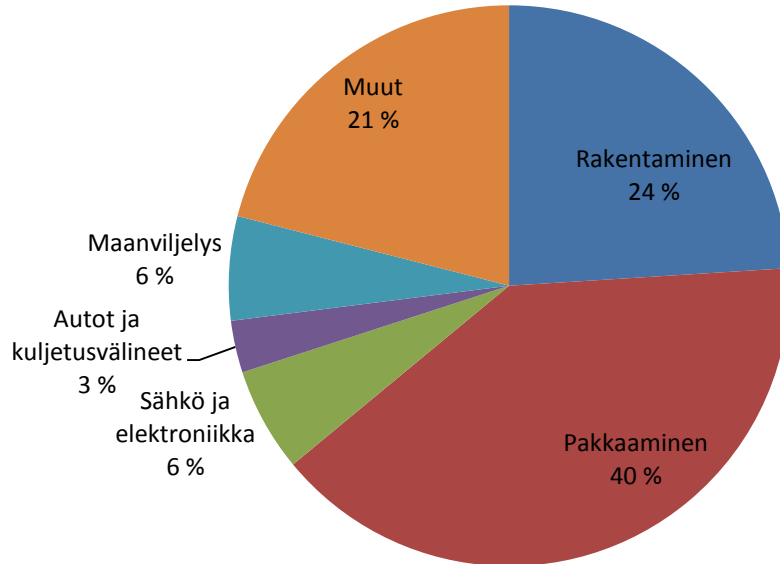
European plastics demand increased by 1% in 2013



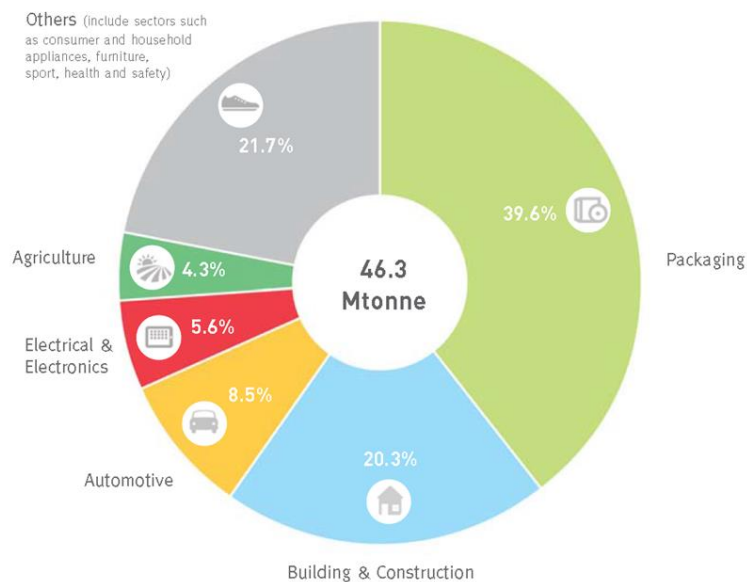
Kuva 1. Eri muovilajien kysyntä Euroopassa vuosina 2011 – 2013 (Plastics Europe 2015).

Suurimmat muoveja käyttävät toimialat Suomessa samoin kuin Euroopassa ovat pakkaus- ja rakennusteollisuus (Kuvat 2 ja 3). Suurin ero Euroopan ja Suomen välillä on autoteollisuuden käyttämässä muovissa. Suomessa muovia käytetään autoteollisuudessa vain 3 % kokonaiskäyttömäärästä, kun vastaava osuus koko Euroopassa on jopa 8,5 %. Eroavaisuus on selitettävissä maiden autoteollisuuden laajuudella. Saksassa tuotettiin vuonna 2013 moottoriajoneuvoja 5,7 miljoonaa kappaletta, kun vastaava määrä Suomessa oli 8000 kappaletta (Kuva 4).





Kuva 2. Muovien käyttökohteet Suomessa, jaoteltuna tuoteryhmittäin (Teppola 2005).



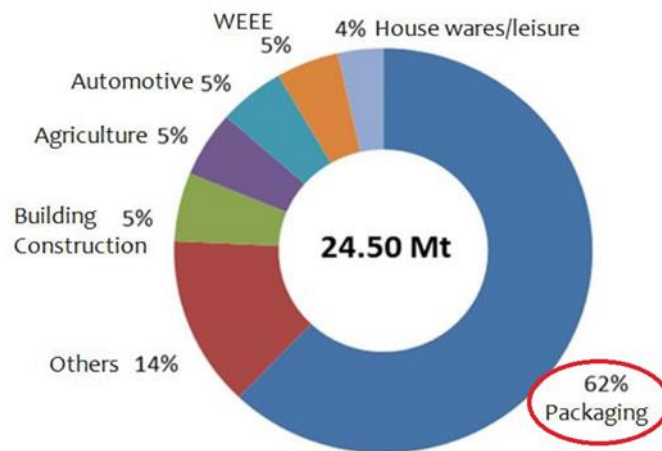
Kuva 3. Euroopan muovien käyttökohteet sektoreittain 2013 (Plastics Europe 2015).





			+	TOTAL
AUSTRIA	146,566		19,862	166,428
BELGIUM	449,600		30,564	480,164
CZECH REPUBLIC	1,128,473		4,458	1,132,931
FINLAND	8,000			8,000
FRANCE ²	1,460,000	280,000	n.a.	1,740,000
GERMANY ²	5,439,904	278,318	n.a.	5,718,222
HUNGARY	220,000		2,400	222,400
ITALY	388,465	236,040	33,702	658,207
NETHERLANDS ²	0	0	0	0
POLAND	475,000	104,055	4,203	583,258
PORTUGAL	109,698	40,918	3,400	154,016
ROMANIA	410,959		38	410,997
SLOVAKIA	975,000			975,000
SLOVENIA	89,395	4,339		93,734
SPAIN	1,719,700	419,954	23,684	2,163,338
SWEDEN ²	161,080		n.a.	161,080
UNITED KINGDOM	1,509,762	68,823	18,848	1,597,433
EU ¹	14,616,202	1,429,748	137,774	16,183,724

Kuva 4. Moottoriajoneuvojen tuotanto EU-maissa 2013 (ACEA 2013).



Kuva 5. Muovijätteen määrä toimialoittain, EU27 (Littner ja Frerejean 2015).

Muovituotteista arviolta noin 50 % on lyhytikäisiä, ns. kerran käytettäviä tuotteita, kuten elintarvikepakkaukset tai maatalouden muovikalvot (Hopewell ym. 2009). Tällaiset muovit päätyvät nopeasti valmistuksen jälkeen jätteeksi. Pakkausmuovin osuus on jopa 62 % muovijätteen kokonaismäärästä EU:ssa (Kuva 5).

Muovipakkausten käytön on arvioitu lisääntyvän elintarvike-, lääke- ja elektroniikkamarkkinoilla (Kettunen ja Meristö 2007). Hammond (2007) ja Johansson (2007) arvioivat taloudellisen kasvun aiheuttaman kulutuksen kasvun sekä perheeseen pienenemisen ja pakattujen kerta-annosruokien yleistymisen myös

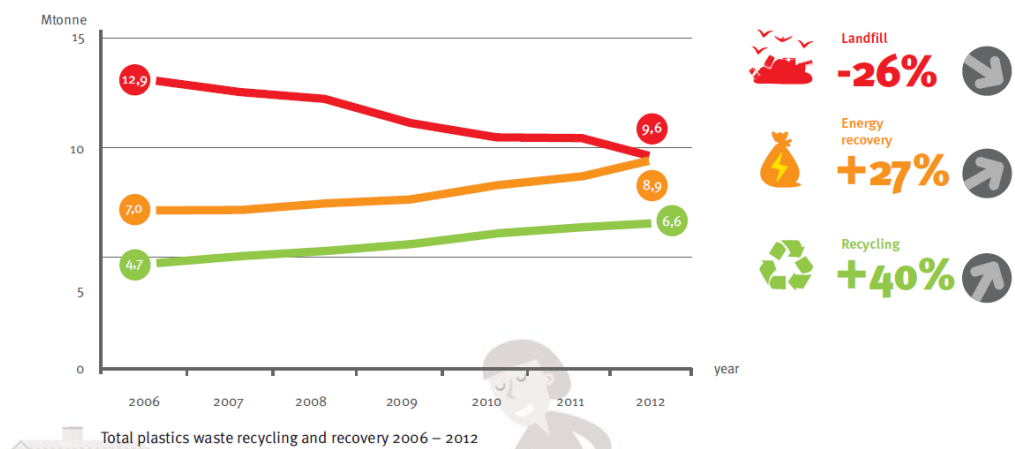




kasvattavan osaltaan muovipakkausten käyttöä ja niistä syntyvän muovijätteen määrää tulevaisuudessa.

2.2 Muovijätteen lähteitä ja määräärvioita

Vuonna 2012 muovijätettä syntyi Euroopassa (EU27+Norja+Sveitsi) 25,2 miljoonaa tonnia, josta 26 % kierrätettiin, 36 % hyödynnettiin energiana ja 38 % sijoitettiin kaatopaikalle. Muovijätteen määrä Euroopassa on ollut keskimäärin samalla tasolla vuosina 2006 – 2012. Kuvassa 6 on esitetty kierrätetyn, energiana hyödynnetyn ja kaatopaikalle sijoitetun muovijätteen määrien kehitys vuosina 2006 – 2012. (Plastics Europe 2015).



Kuva 6. Kierrätetyn, energiana hyödynnetyn ja kaatopaikalle sijoitetun muovijätteen osuuden kehittyminen vuosina 2006 – 2012 (Plastics Europe 2015).

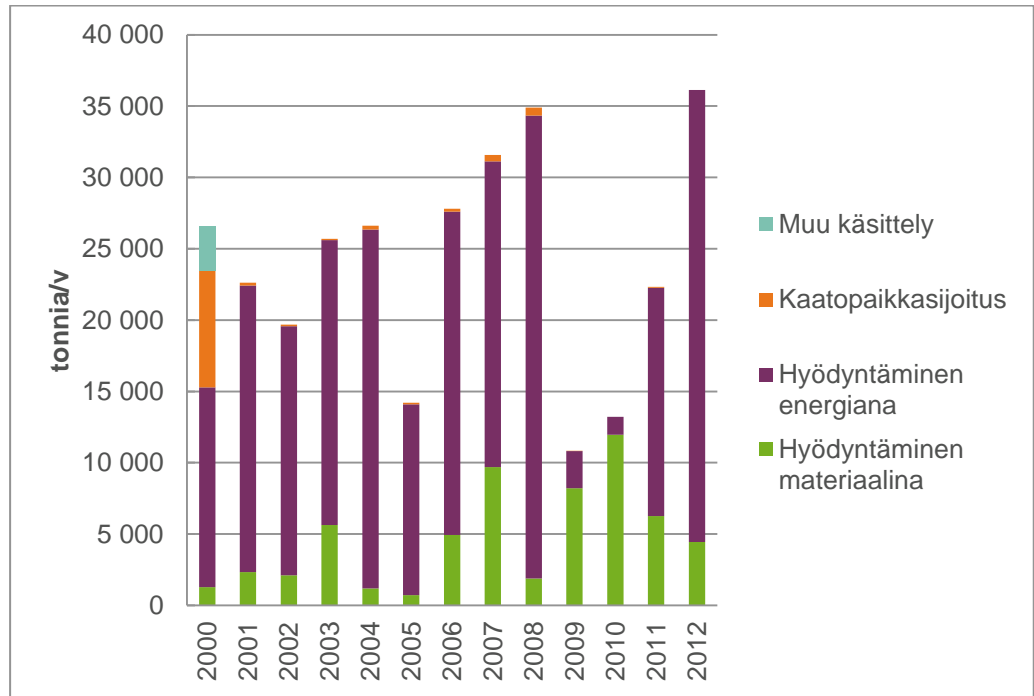
Suomessa erilliskerättyä yhdyskuntajäteperäistä muovia on vuoden 2000 jälkeen pääasiassa kierrätetty tai hyödynnetty energiana. Kierrätysmäärät ovat toistaiseksi sangen vähäisiä. Yhdyskuntajätteenä kerättävästä kokonaisuuvimäärästä kierrätettiin vuosien 2000–2012 aikana keskimäärin 19,4 %, vuonna 2012 4 451 tonnia (Kuva 7). Noin 82 % tästä muovista on peräisin pakkauksista (Tilastokeskus ja SYKE 2015). Vuosittaista vaihtelua on paljon (Kuva 7) ja siihen on voinut vaikuttaa esimerkiksi yksittäiset yritysten tai muiden tahojen järjestämät kierrätyskampanjat, jolloin kierrätysmäärä on saatu aikaisempia vuosia suuremmaksi. Erilliskerätyn muovijätteen lisäksi sekajätteessä on edelleen lähes 20 % muovia, josta ainakin osa voitaisiin kierrättää (Kotitalouksien sekajätteen koostumus 2016).

Suomessa syntyvien muovijätteiden määrää haarukoitiin erilaisissa kirjallisissa lähteissä esitettyjen arvioiden perusteella (mm. Salmenperä ym. 2015, Pakkausjätetilastot 2015, Resource efficient recycling... 2013, Merta ym. 2012, Fråne ym. 2012, Hiipakka 2011). Kuvassa 8 esitetään muovijätteen määräärviot (min, max) jätteen alkuperän mukaan. Merkittävimmät erot ovat yhdyskuntaperäisessä ja rakentamisesta ja purkamisesta syntyvän muovijätteen mää-

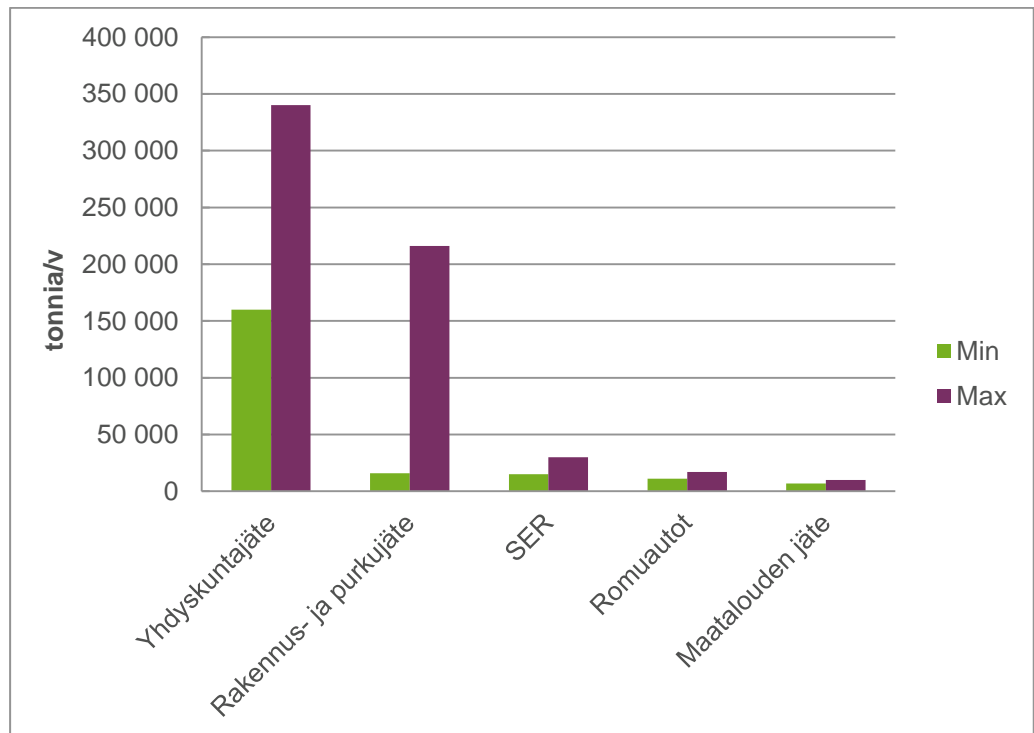




räarvioissa. Määrät tarkentunevat ARVI-tutkimusohjelman tulosten perusteella vuoden 2016 aikana.



Kuva 7. Erilliskerätyn yhdyskuntajätteen muovimäärät ja käsittely Suomessa v. 2000-2012 (Tilastokeskus ja SYKE 2015).



Kuva 8. Kirjallisuudessa esitettyjä arvioita muovijätteen määristä (tonnia/v) jätteen alkuperän mukaan Suomessa vuonna 2010. Yhdyskuntajätteen max-arvo pohjautuu v. 2012 tietoihin (Salmenperä ym. 2015).





Eri lähteistä syntyvien muovijätteen koostumus vaihtelee huomattavasti. Delgado ym. (2007) ovat esittäneet arvion siitä, miten muovijätteet jakautuvat eri muovilaatujen kesken Euroopan tasolla vuonna 2005 ja 2017 (Taulukko 1). Pakkausjäteluokka on osittain päällekkäinen muiden luokkien, etenkin yhdyskuntajätteen, kanssa. Yhdyskuntajätteen sisältämästä muovista Delgado ym. (2007) arvioivat 60-80 % olevan pakkausjätettä. HDPE- ja PET-muovien käytön arvioitiin lisääntyvän pakkauksissa. PET-muovin osuuden arvioitiin hieman nousevan yhdyskuntajätteessä. Rakentamisen jätteissä arvioitiin PS-muovin osuuden hieman kasvavan. SER:in ja etenkin romuautojen arvioitiin sisältävän enemmän PP-muovia vuonna 2017 vuoteen 2005 nähden. Lisäksi romuautojen PA-muovipitoisuuden arvioitiin kasvavan hieman. Näitäkin tietoja tarkennetaan ARVI-tutkimusohjelmassa käynnissä olevissa töissä.

Taulukko 1. Arviot yleisimpien muovien osuuksista (%) vuosina 2005 ja 2017 syntyvästä muovijätteestä jätteen alkuperän mukaan jaoteltuna.

2005 skenaario, muovilaatujen osuudet (%) syntyvästä muovijätteestä									
	HDPE	LDPE	PET	PP	PS	PU	ABS	PVC	PA
Pakkausjäte	17-22	30-35	12-17	17-20	10			4	
Yhdyskuntajäte	15-20	38-43	7-12	5-10	12-17				
Rakennus- ja purkujäte	4-9				14-19	3-8		50-55	
SER				7-12	26-31	13-18	27-30		
Romuautot	3-8			28-33		8-13	12-17	5-10	4-9
Maatalouden jäte		60-65		2-5				18-23	
2017 skenaario, muovilaatujen osuudet (%) syntyvästä muovijätteestä									
	HDPE	LDPE	PET	PP	PS	PU	ABS	PVC	PA
Pakkausjäte	22-27	30-35	20-25	15-20	9			2	
Yhdyskuntajäte	15-20	38-43	12-17	5-10	12-17				
Rakennus- ja purkujäte	4-9				18-23	7-12		45-50	
SER				17-22	20-25	6-11	18-23		
Romuautot	7-12			38-43		8-13	5-10	5-10	6-11
Maatalouden jäte		60-65		2-5				18-23	





2.3 Muovijättemäärien kehitysnäkymiä

2.3.1 Arvioita muovijätteen maailmanlaajuisesta kehityksestä

Euroopan komissio julkaisi vuonna 2013 vihreän kirjan ympäristössä olevaa muovijätettä koskevasta eurooppalaisesta strategiasta. Siinä todettiin muovin käytön moninkertaistuneen 1900-luvun aikana ja kehityssuunnan arvioitiin jatkuvan. Hyvin kestäväenä materiaalina muovin elinkaari on siitä valmistettuja tuotteita pidempi, mikä johtaa muovijätteen määrän kasvuun maailmanlaajuisesti. (Euroopan komissio 2013).

Vuonna 2011 tehdyn arvion mukaan EU:n markkinoille saatetaan muovia 66,5 miljoonaa tonnia vuonna 2020, jolloin kasvua olisi vuoden 2013 tuotantomäärään verrattuna 16,7 % (European Commission 2011). Tuotetusta muovista arvioitiin biopohjaisia olevan markkinoilla 2020 6,5 miljoonaa tonnia ja kierrätettyä muovia 9,25 miljoonaa tonnia, jolloin ne korvaisivat 15,75 miljoonaa tonnia petrokemiapohjaisia muoveja ja niihin tarvittavia raaka-aineita. Muovijätettä arvioitiin syntyvän 34,6 miljoonaa tonnia vuonna 2020. Wurple ym. (2011) arvioivat, että vuoteen 2050 mennessä maailmanlaajuinen muovintuotanto voi kolminkertaistua.

Muovituotannon kasvuun vaikuttavia tekijöitä on arvioitu mm. Plastics Europe (2007) toimesta. Muovin arvioitiin jatkossakin olevan tärkeä materiaali ja sen käyttökohteiden lisääntyvän ja monipuolistuvan. Sähköjohtaviin polymeereihin perustuvia pieniä siruja voidaan painaa muovikalvoihin esim. seuraamaan pakkauksessa olevan tuotteen tilaa. Muovit ja niitä sisältävät komposiittimateriaalit keventävät kulkuvälineiden runkoja ja parantavat niiden energiatehokkuutta. Lääketieteessä muovia käytetään erilaisissa sairaanhoidon laitteissa, leikkausroboteissa, proteeseissa, keinoelimissä ja keinoveressä. Nanoteknologian avulla voidaan lääkkeitä viedä suoraan vahingoittuneeseen soluun tai rakentaa kevyitä, kestäviä, taipuisia kaapeleita, jotka ovat sähköjohtavuudeltaan vähintään kuparin luokkaa. Tietotekniikan ja viestintälaitteiden pienentyessä ja keventyessä yhä isompi osuus niistä on muovia. On mahdollista, että tulevaisuudessa ihminen voidaan yhdistää tietoverkkoihin esim. hyvin pienten muovisten implanttien avulla, joita voidaan sijoittaa ihon alle. (Plastics Europe 2007).

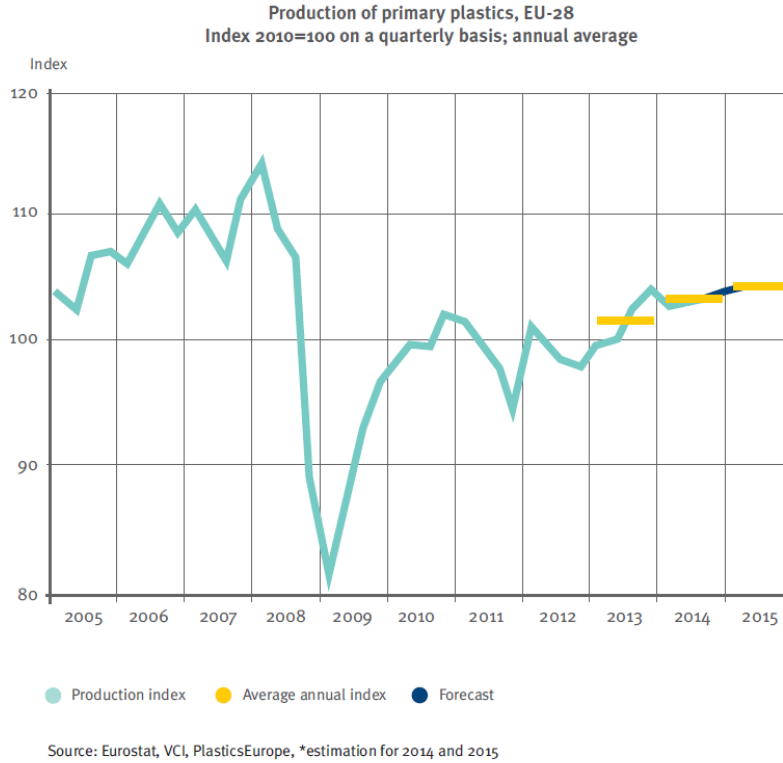
Maailmantalouden tilanne vaikuttaa muovin tuotannon ja kysynnän määriin. Kuvassa 9 ovat toteutuneet primaarituotannon määrät EU-28 alueella vuosina 2005 – 2015. Vuosien 2014 ja 2015 luvut ovat arvioita. Vuosien 2008-2009 talouskriisin vaikutus näkyy selvästi. Vuonna 2013 tuotanto kasvoi 2,6 %. Vuonna 2014 kasvun arvioidaan olleen 1,5 % ja vuonna 2015 olevan 1,0%. (Plastics Europe 2015).

Bioperäisten, biohajoavien ja uusien innovaatioiden (mm. piipohjaiset polymeerit, leväpuristeet) osuuden muovimarkkinoista on myös arvioitu kasvavan (Kärhä 2009, julk. Moliis ym. 2009). Biopohjaisten muovien tuotannon kasvusta tehdyt arviot kuitenkin vaihtelevat. Kuvassa 10 on PROBIP-projektissa tuo-



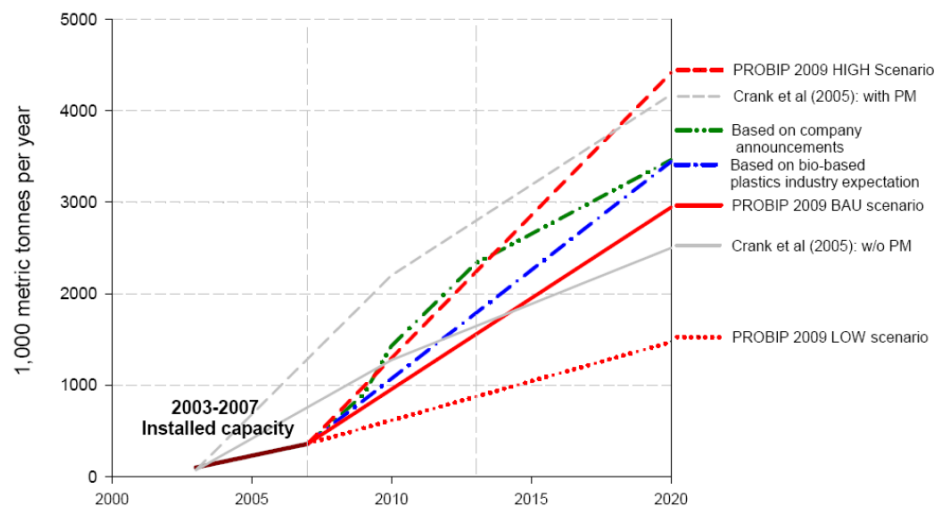


tetut arviot verrattuna aiemmin muissa yhteyksissä esitettyihin arvioihin. (Shen ym. 2009).



Kuva 9. Toteutuneet muovituotannon määrät EU-28 alueella vuosina 2005 – 2015. Vuosien 2014 ja 2015 luvut ovat arvioita (Plastics Europe 2015).

Figure 2-25: Projection of worldwide production capacity of bio-based plastics, 2003-2020⁸³



Kuva 10. Arvioita biopohjaisten muovien maailmanlaajuisista tuotantomääristä (Shen ym. 2009).





2.3.2 Arvioita muovijätteen määrien kehityksestä Suomessa

Yhdyskuntajätteen muovijättemäärien kehitystä ovat arvioineet Moliis ym. (2009) sekä Salmenperä ym. (2015), molemmat ns. IPAT-mallia hyödyntäen. IPAT-mallilla voidaan arvioida väestön koon, sen vaurauden määrän ja teknologian vaikutusta syntyvään ympäristövaikutukseen. Edellisten lisäksi Plastic Zero-hankkeessa on tuotettu arviot Suomen yhdyskuntajätteen sekä muiden toimialojen muovijättemäärien kehityksestä vuosina 2013 – 2025.

Moliis ym. (2009) ovat laskeneet muovijättemäärille IPAT-mallilla kolme ennustetta (Taulukko 2). Perusura 1:ssä oletettiin muovijätteen määrän jatkavan kasvuaan siihenastisen kehityksen mukaisesti 0,6 % vuodessa. Mukailussa perusurassa asiantuntija-arvioiden mukaan muovijätteen määrän oletettiin kasvavan edellistä ennustetta voimakkaammin 1,2 % vuodessa. Valtsu 3 – ennusteessa, joka toteuttaisi valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa vuoteen 2016 asetetun yhdyskuntajätettä koskevan tavoitteen, uskottiin muovijätteen määrän kasvavan jätepoliittisista ratkaisuksista huolimatta. Kasvuvauhti jäisi kuitenkin selvästi edellisiä ennusteita pienemmäksi 0,3 prosenttiin.

Muovijättemäärän arvioitiin perusura-ennusteessa olevan 315 000 t vuonna 2030, mikä on 14,5 % enemmän kuin vuonna 2007 (Taulukko 2). Mukailun perusura-ennusteen mukaan muovijättemäärä kasvaisi 31,9 % vuoteen 2030 mennessä ja sen osuuskokonaisjättemäärästä kasvaisi runsaan prosenttiyksikön. Valtsu 3-ennusteessa jätepolitiikan toimenpiteet olisivat tehokkaampia ja kuluttajat valveutuneempia, jolloin muovijätettä syntyisi vuonna 2030 vain 6,5 % enemmän kuin vuonna 2007. Muovijätteen osuus kokonaisjättemäärästä kasvaisi 14 prosenttiin, kun useiden muiden jätejakeiden osuuden ennustettiin pienenevän.

Valmisteltavana olevan uuden valtakunnallisen jätesuunnitelman taustaineistoksi on päivitetty arvioita yhdyskuntajätteen määrästä ja sen koostumuksesta em. IPAT-mallilla (Salmenperä ym. 2015). Laskennassa on käytetty uusia jättemäärä- ja BKT-tietoja sekä tuoreita ennusteita BKT:n kehityksestä ja väestön kasvusta. Teknologian muutosvauhtia kuvaavan T:n arvona käytettiin -1,02, joka vastaa maltillista jättemäärien kehitystä. Näiden laskelmien mukaiset muovijätteen määrät on esitetty taulukossa 3. (Salmenperä ym. 2015).

Taulukko 2. Moliisin ym. (2009) ennusteet muovijätteen määrästä vuosina 2016, 2020, 2025 ja 2030.

Ennuste	Muovijättemäärä (1000 t)					Muutos % 2007 – 2030
	2007	2016	2020	2025	2030	
Perusura 1	275	290	297	306	315	14,5
Mukai- littu pe- rusura	275	299	309	336	363	31,9
Valtsu 3	275	253	271	276	293	6,5





Taulukko 3. Salmenperä ym. (2015) ennusteet muovijätteen määrästä vuosina 2020 ja 2030.

Ennuste	Muovijättemäärä (1000 t)			Muutos % 2012 - 2030
	2012	2020	2030	
Perusura 1	346	365	407	15
Mukailtu perusura	346	380	448	22,8

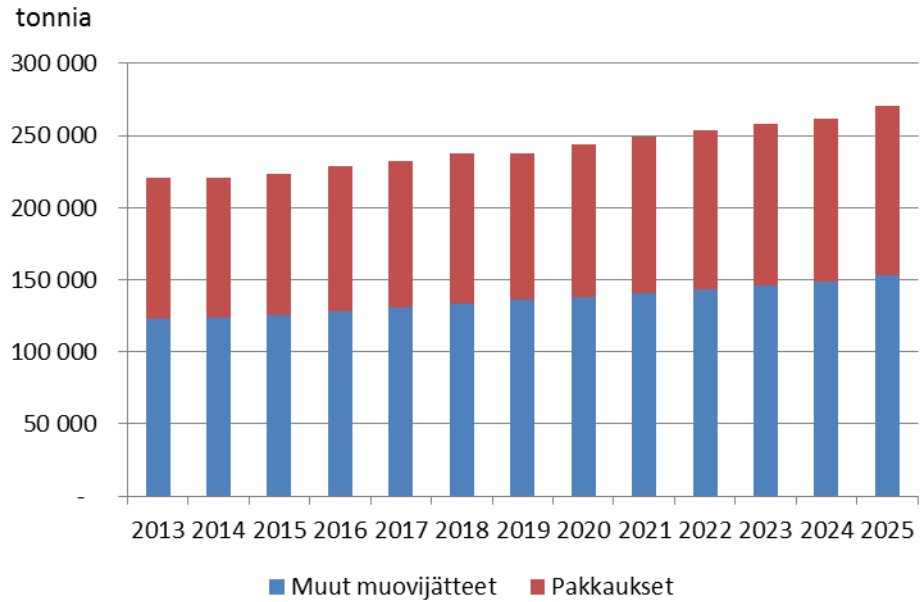
Arviot muovijättemääristä vuosille 2020 ja 2030 ovat Salmenperän ym. (2015) ennusteissa selvästi korkeampia kuin Moliisin ym. (2009) ennusteissa. Muovijätteen määrä vuonna 2012 on ollut selvästi suurempi kuin Moliisin ym. (2009) ennuste vuoden 2016 muovijättemääräksi. Näyttäisi siltä, että muovijättemäärän kasvu on ollut ennakoitua nopeampaa ja sen arvioidaan jatkuvan tulevaisuudessakin.

Huomattavasti edellä esitettyjä pienempiin muovijättemääriin on päädytty Plastic Zero-hankkeen Suomea koskevassa skenaariossa vuosille 2013 – 2025 (Kuvat 11 ja 12). Laskemisessa lähtötietoina on käytetty vuoden 2010 jättemääriä taulukossa 4 esitetyn jaottelun mukaisesti. Vuoden 2010 jättemäärät on laskennassa kerrottu kiinteällä kertoimella, jonka muodostaa vuoden 2010 jättejakeen määrä jaettuna ko. jakeelle sopivan taloudellisen indikaattorin vuoden 2010 arvolla (Taulukko 4). Jättemäärä kullekin ennusteen vuodelle on saatu kertomalla tällä kiinteällä kertoimella laskentavuoden taloudellinen indikaattori. Laskennan perusteella pakkausjätteiden määrän arvioitiin vuonna 2025 olevan 157 430 t ja muiden muovijätteiden 117 093 t (Kuva 11). Syitä tämän laskennan tuottamien tulosten pienuuteen edellisiin verrattuna ei pystytty identifioimaan. Laskentaa ei ole dokumentoitu riittävästi, että sen voisi toistaa. (Model for the assessment ... 2014; Wastemodel Finland; Scenarios Finland).

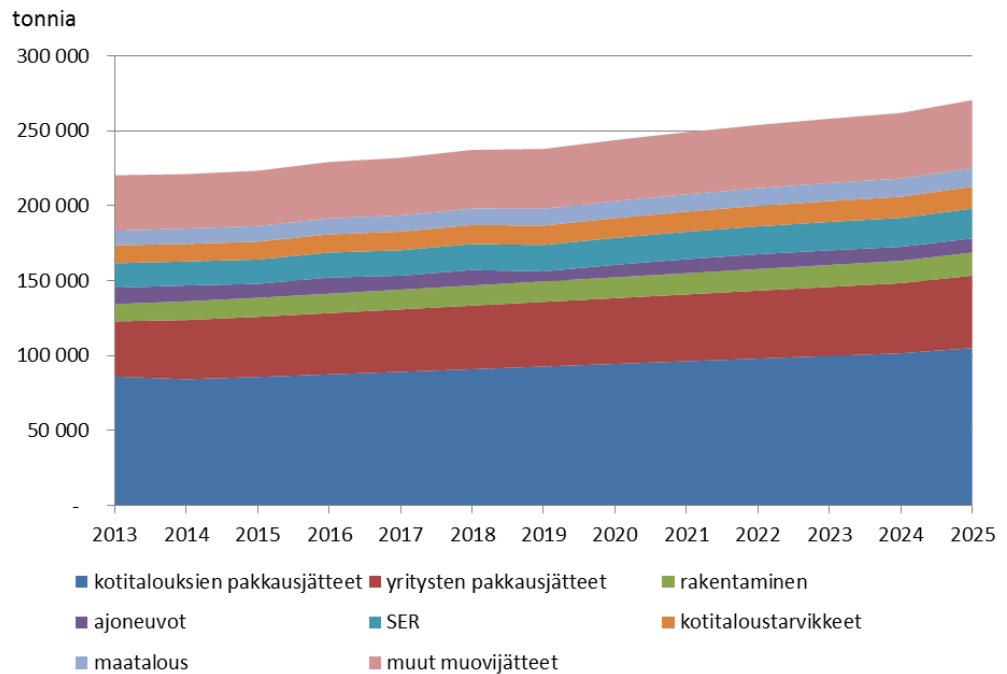
Taulukko 4. Plastic zero hankkeessa käytetty muovijätteiden jaottelu ja eri jättejakeiden laskennassa käytetty taloudellinen indikaattori.

Jättejakeet	Taloudellinen indikaattori
Kotitalouksien pakkausjäte	Kokonaiskulutus
Yritysten pakkausjäte	Arvonlisä
Rakentamisen jätteet	Rakentamisen arvonlisä
Ajoneuvot	Uusien rekisteröityjen autojen määrä 10 vuoden viiveellä
Sähkö- ja elektroniikkatarvikkeet	Kokonaiskulutus
Kotitaloustavarat	Kokonaiskulutus
Maatalous	Maatalouden arvonlisä
Muut (esim. huonekalut ja tekstiilit)	Kokonaiskulutus





Kuva 11. Plastic zero-projektin arvio Suomen muovijättemäärien kehityksestä 2013 – 2025.



Kuva 12. Plastic zero –hankkeen ennuste eri muovijätejakeiden määrien kehitykselle vuosina 2013 – 2025.





3 Muovien kierrätysketju

3.1 Yleistä kierrätysmenetelmistä ja -vaiheista

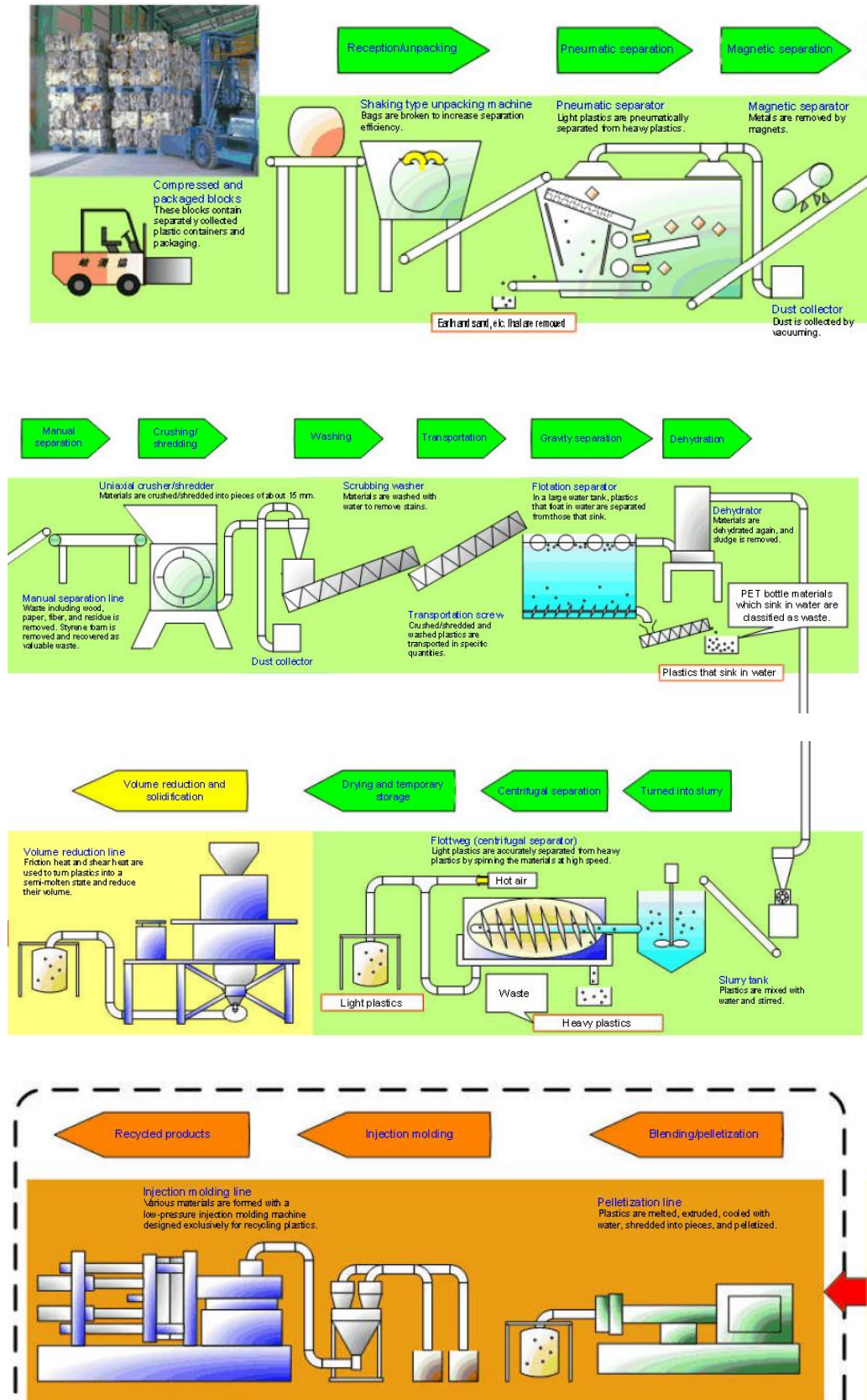
Muovien kierrätysmenetelmät voidaan jaotella primäärisiin, sekundäärisiin, tertiäärisiin sekä kvartiäärisiin menetelmiin. Primäärisessä menetelmässä muovijäte käytetään uudelleen sellaisenaan tai alkuperäisen tarkoituksen raaka-aineena ilman arvonmenetystä, esimerkiksi PET-pullon kierrättäminen uudeksi vastaavaksi PET-pulloksi. Primääristä menetelmää voidaan kutsua myös suljetuksi (closed-loop) kierrätykseksi. Sekundäärinen menetelmä tarkoittaa muovin talteenottoa tai muokkausta uusien tuotteiden raaka-aineeksi. Sekundäärisessä menetelmässä kierrätysmuovin ominaisuudet tyypillisesti heikenevät jonkin verran. Esimerkkinä sekundäärisestä kierrätyksestä toimii PE-HD:stä valmistetun kanisterin kierrätys muoviaitamateriaaliksi (Hiipakka 2011). Menetelmästä voidaan käyttää myös nimitystä avoin (open-loop) kierrätys. Tertiäärinen menetelmä tarkoittaa muovin kemiallista kierrätystä tai raaka-ainekierrätystä (feedstock recycling). Kvartiäärisellä kierrätyksellä tarkoitetaan muovin energiahyödyntämistä. Kvartiäärinen kierrätys ei ole jätelain määrittämän tarkoittamaa kierrätystä (Villanueva ja Eder 2014 sekä Harper 2006).

Kierrätettävistä muoveista 87 % muunnetaan ensin pelleteiksi ym. välituotteiksi ja ainoastaan 13 % kierrätetään suoraan kierrätystuotteeksi (Villanueva ja Eder 2014).

Muovin kierrätyksessä tarvitaan useita eri vaiheita, kuten (Suomen Uusiomuovi Oy 2015) (Kuva 13):

- Keräily syntypaikoilta
- Esikäsittely, esim. paalaus
- Kuljetus
- Vastaanottotarkastus
- Paalin ym. purku
- Syöttö linjalle
- Haketus
- Pesu
- Kuivaus
- Serklamaatti (kitkahierrin)
- Lisäaineistus (tarvittaessa)
- Granulointi
- Pakkaus
- Myynti





Kuva 13: Muovien kierrätyslinjasto (Global Environment Centre Foundation 2011).



Edellisten lisäksi erityisesti heterogeenisten muovijätteiden kierrätyksen ehkä kriittisimpiä vaiheita ovat muovien lajittelu ja erottelu (Kuva 13). Muovien kierrätyksen suuri ongelma on, että kaikki muovityypit eivät ole yhteensopivia keskenään: molekyyli-tason luontainen sekoittumattomuus sekä makrotason erot prosessivaatimuksissa. Esimerkiksi pienet määrät PVC muovia PET muovin joukossa aiheuttaa kierrätettävän PET muovin laadun huononemisen, kun korkea sulatuslämpötilaa vaativa PET muovin sulatus kuumentaa PVC muovin ja tästä syntyy vetykloridikaasupäästöjä. Vastavuoroisesti pieni määrä PET muovia PVC:n joukossa aiheuttaa kiinteitä kokkareita muoviseokseen (Hopewell ym. 2009).

Muovien huolellinen puhdistus on edellytys laadukkaana kierrätysmuovin aikaansaamiseksi. Kotitalousperäinen muovijäte pitää sisällään muovien lisäksi muita materiaaleja, jotka kierrätyksen alkuvaiheessa on poistettava ja eroteltava omaksi jakeekseen. Erottelu voi tapahtua koneellisesti tai manuaalisesti. Esimerkiksi magneettien avulla poistetaan muovijätteen sekaan joutuneet metallit (Harper 2006).

3.2 Pesumenetelmiä

Muoviin jäävät epäpuhtaudet heikentävät kierrätysmuovien ulkonäköä sekä fyysisiä ja kemiallisia ominaisuuksia ja tämän vuoksi muovien pesulla on merkittävä vaikutus kierrätettävän muovin laatuun (Mancini ym 2010). Muovien pesun tarpeellisuus riippuu kierrätettävän muovin käyttökohteesta sekä likaisuudesta ja muovijakeen heterogeenisuudesta. Muovien pesu ei välttämättä tapahdu vain yhdessä vaiheessa, vaan monet muovien kierrätysketjun toiminnot edesauttavat muovien pesua. Esimerkkeinä mainittakoon materiaalin rouhinta märkärouhintana sekä määrät erottelumenetelmät, kuten kellutusupotustankki. (Villanueva ja Eder 2014).

Pesussa voidaan käyttää kylmää tai kuumaa vettä, laimeaa pesunestettä tai alkalia (Villanueva ja Eder 2014). Alkalin määrä pesunesteessä riippuu muovilastuissa olevan liiman ja etikettien määrästä. Pesulämpötila on useimmiten 88°C ja pesu kestää yleensä 5-20 minuuttia. Lyhyemmät ajat eivät poista likaa tai liimaa tarpeeksi tehokkaasti ja pidemmistä ajoista ei juuri ole hyötyä. Tosin korkeammat lämpötilat helpottaisivat liiman poistoa. Yleensä muovijäte pienennetään ennen pesua. (Villanueva ja Eder 2014, Manrich ja Santos 2009). Kokonaisten muoviastioiden pesu sisältä ja ulkoa on teknisesti vaikeaa ja tämä voi kuluttaa paljon enemmän vettä ja energiaa kuin muovipalasten pesu (Lei ja Myllylä 2014).

Pesun jälkeen muovit on kuivattava. Nykyisten pesulaitteiden huono puoli on niiden suuri veden kulutus ja jäteveden käsittelyn suuri kustannus. Kuitenkin nykyiset pesutekniikat kuluttavat vettä puolet vähemmän kuin aikaisemmin, 2-3 m³ vettä/tonni pestävää muovimateriaalia (Hopewell ym. 2009).

Kuivapesumenetelmällä kierrätysmuovista pystytään poistamaan likaa ja paperisia etikettejä käyttämättä vettä prosessissa. Kuivapesussa suurella nopeudella pyörivät potkurin lavat synnyttävät suuren pyörimisvoiman, minkä ansioiden





ta lika irtoaa muoveista. Menetelmää voidaan käyttää niin jäykkään kuin kalvomuoviin. Kuivapesua voidaan käyttää sellaisenaan tai se voidaan yhdistää normaalin märkäpesulinjan yhteyteen esipesulaitteeksi (WRAP 2008). Kuivapesulla ei voida poistaa muovin pintaan kuivunutta tai imeytyynyttä likaa (Villanueva ja Eder 2014).

Kierrätysmuovien pesutuloksia voi parantaa lisäämällä kemiallisen pesuvaiheen perinteisen vesipesun jälkeen. Mancini ym. (2010) tutkivat kasvipäristä ruokaöljyä sisältävien muovipullojen pesutuloksia perinteisen vesipesun ja kemiallisen pesun jälkeen. Muovipullot pestiin natriumhydroksidi-liuoksella (NaOH), jonka jälkeen muovien puhtaustaso saavutti merkittävästi paremmat puhtaustasot kuin pelkkä vesipesu.

3.3 Lajittelutekniikoita

Vaikka lajittelulaitokset yleensä koostuvat samantyyppisistä osaprosesseista, eroteltavien muovien tyyppi ja puhtaustasot vaikuttavat prosessikokonaisuuteen (Merta ym. 2012). Eri polymeerit voidaan erottaa toisistaan joko makro- tai mikrolajittelulla. Makrolajittelussa muovit lajitellaan kokonaisina tai lähes kokonaisina tuotteina, kun taas mikrolajittelussa muovi on jo rouhittu tai muuten pienennetty pienempään palakokoon. Makrolajittelussa muovit lajitellaan yleensä käsin manuaalisella lajittelulla. Manuaalinen lajittelu vaatii vähän teknologiaa, mutta paljon työvoimaa, mikä nostaa menetelmän hintaa (Bruno 1997). Manuaalisessa lajittelussa muovien tunnistus perustuu lähinnä muovien identifiointikodeihin ja tuotteen ulkonäköön tai ominaisuuksiin, joten muovien tunnistamisessa saattaa syntyä virheitä. Lajitteluperusteina voivat olla esimerkiksi muovien läpinäkyvyys, valkoistuminen taivuttaessa tai muovin kovuusaste (Manrich ja Santos 2009). Makrolajittelun etuna on ettei tämä vaadi muovin käsittelyä ennen lajittelua. Mikrolajittelun etuja ovat puolestaan matalammat kuljetuskustannukset ja suuremmat lajitteluvolyymit (Bruno 1997).

Eri muovien erottelu voidaan tehdä vaiheittain. Käytetyimmät erottelumenetelmät ovat tällä hetkellä tiheyteen, spektrofotometriin ominaisuuksiin (väri, läpinäkyvyys), sekä magneettisiin ominaisuuksiin perustuva erottelu, mutta myös muita käytetään. (Villanueva ja Eder 2014). Kytkeällä useita eri erottelumenetelmiä samaan linjaan tai samoja erottelumenetelmiä peräkkäin saadaan parannettua muovien erottelua. (Delgado ja Stenmark 2005.)

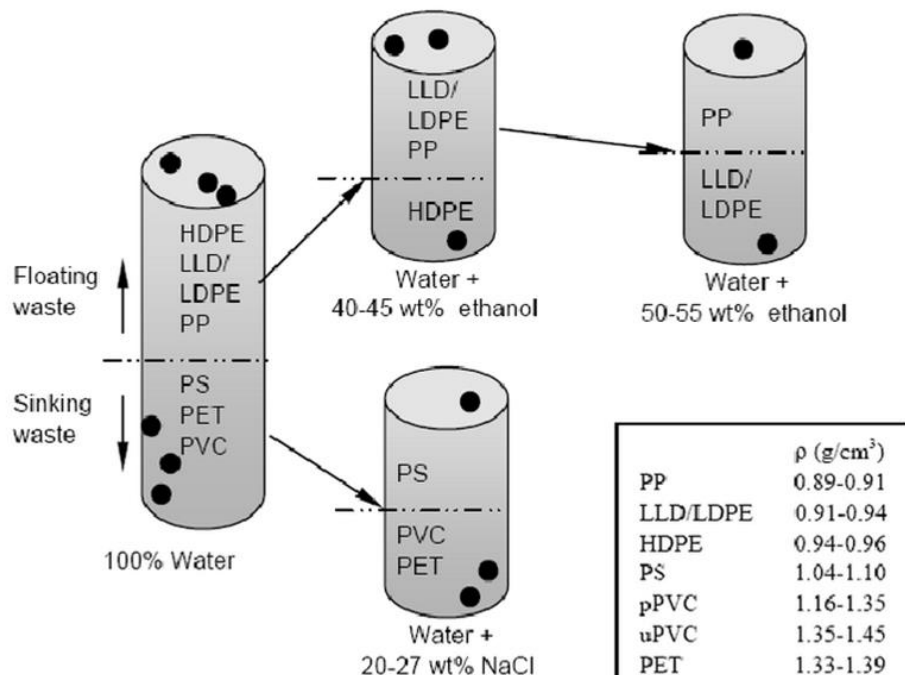
Tiheyteen perustuvat erottelumenetelmät

Muovien tiheuserottelu voidaan jakaa märkä- ja kuivamenetelmiin. Märkämenetelmän haittana on syntyvä jätevesi ja tämän jälkikäsitteilytarve. Samoin prosessissa mahdollisesti käytettävät kalliit reagenssit sekä käsiteltävien muovien kuivaustarve erottelun jälkeen lisäävät menetelmän hintaa ja ympäristövaikutuksia. (Dodbiba ja Fujita 2004). Kuivaerottelun hyvinä puolina on, että tässä ei synny käsittelyä vaativaa jätevetä eikä erotellut muovit vaadi tämän jälkeen erillistä kuivausta, joka tuo merkittäviä taloudellisia ja ympäristöllisiä etuja märkäerotteluun nähden (Falconer 2003). Toisaalta märkämenetelmät toimivat



erottelun ohessa samalla myös esipesuna eroteltaville materiaaleille (Delgado ja Stenmark 2005).

Yleisimpien muovien tiheydet vaihtelevat 0,91–1,44 g/cm³ välillä. Esimerkiksi muovit PE, PP ovat kevyempiä kuin vesi ja muovit PVC ja PET ovat taas vettä tiheämpiä (Villanueva ja Eder 2014) (Kuva 14). Tiheyteen perustuva muovien märkäerottelu toimii hyvin, kun muovien välinen tiheusero on vähintään 0,02 g/cm³ (Brandrup ym. 1996). Esimerkiksi muoveihin lisättävät lisä- ja täyteaineet voivat vaikeuttaa tiheyksiin perustuvaa erottelua vaikuttamalla muovien tiheyksiin. (Villanueva ja Eder 2014).



Kuva 14. Muovien märkäerottelu eri tiheyksillä (Manrich ja Santos 2009).

Tiheyteen perustuvaa erottelua voidaan hyödyntää seuraavilla menetelmillä:

- Ilmavirtaerottelua (kuivaerottelu) käytetään erottelemaan kevyemmät muovit painavammista muovilaaduista ilmavirran avulla. (Villanueva ja Eder 2014)
- Float-sink-erottelussa (märkäerottelu) muovipartikkelit erotellaan näiden kelluvuuden perusteella nestepatsaassa: jos eroteltavan muovin tiheys on pienempi kuin väliaineen, muovi kelluu, mutta jos sen tiheys ja samalla paino on suurempi, muovi uppoaa. Yleisimmin käytetyt väliaineet floatsink-erottelussa ovat vesi, vesi/etanoli sekoitus, NaCl liuos ja ZnCl₂ liuos. Ongelmia tässä menetelmässä on sen hitaus. Eroteltavien partikkelien tulee olla myös samankokoiset. (Villanueva ja Eder 2014).
- Hydrosyklonissa ja sentrifuugissa (märkäerottelu) muovipartikkelit ohjataan nesteessä pyörivään liikkeeseen, jolloin keskipakoisvoiman ja





painovoiman ansiosta painavammat partikkelit liikkuvat kohti pyörteen ulkoreunaa ja kevyemmät kohti pyörteen keskiosaa. (Villanueva ja Eder 2014). Hydrosykloneilla pystytään erottelemaan muoveja, joiden tiheys on vain 0,01 g/cm³ (Manrich ja Santos 2009).

Suorat tunnistusmenetelmät

Tiheyteen perustuvaa muovien erottelua ei pystytä käyttämään kaikissa erottelutilanteissa. Muovien tiheyksien ollessa liian samanlaiset tai muovien täyteainneiden vaikuttaessa muovien tiheyksiin, muovien tunnistuksessa on käytettävä muita menetelmiä. Tällöin suorat menetelmät, jotka tunnistavat eri muovipolymeerit ja käytetyt täyteaineet, ovat luotettavimpia. Suoria menetelmiä ovat esimerkiksi massaspektroskopia, XRF (X-ray fluorescence), plasma spektroskopia, infrapunaspektroskopia tai Raman spektroskopia (Beigbeder ym 2013). Muovien lajittelu kemiallinen koostumuksen mukaan vaatii kalliita analyysilaitteistoja (kuten spektrometrit, laserit ja röntgen) mutta tunnistusjälki on tarkempaa (Tachwali ym. 2006).

Infrapunaspektroskopia on relevantti menetelmä automaattiseen polymeerien erotteluun. NIR (Near Infrared Spectroscopy) on nopeutensa ja tehokkuutensa ansiosta yleisimmin käytetty teknologia tunnistamaan muoveja. NIR:ssä jokaiselle polymeerille määritetään tunnusomainen spektri, jolloin muovit on mahdollista erottaa ja tunnistaa. NIRin heikkous on, ettei se pysty erottelemaan tummia muovilaatuja toisistaan. Tummiin muovien tunnistukseen voidaan käyttää MIR (Mid Infrared Spectroscopy) – tekniikkaa. MIRin ja NIRin heikkoutena kuitenkin on, että lika ja pinnoitteet kuten etiketit häiritsevät näiden toimintaa. Molemmat infrapunatekniikat ovat myös kosteusherkkiä (Merta ym. 2012, Villanueva ja Eder 2014, Delgado ja Stenmark, 2005). Taulukossa 5 on joitakin esimerkkejä NIRillä saavutettavissa olevista tyypillisistä puhtaustasoista WRAPin (Waste and Resources Action Program 2008) raportin mukaan.

Taulukko 5. Esimerkkejä NIRillä saavutettavissa olevista tyypillisistä puhtaustasoista (WRAP 2008).

Polymeeri	PP	PE	PET	PS	PVS	PLA
Saavutettavissa oleva puhtaustaso	96 %	94 %	94 %	87 %	93 %	97 %

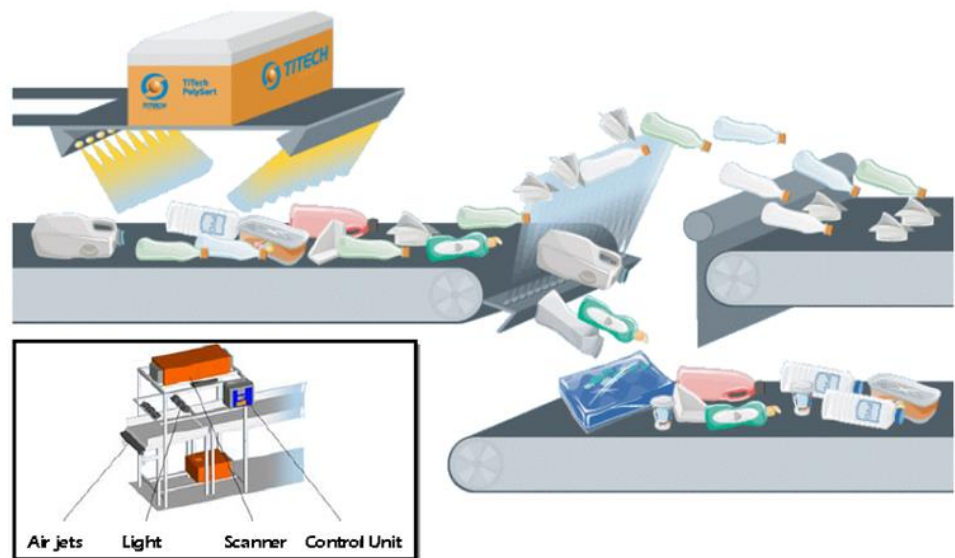


Samoin kuin NIRin myös Raman spektroskopian avulla voidaan tunnistaa tarkkaan muovien polymeerit perustuen niiden molekyyliarakenteeseen. Raman spektroskopian mittaustulokset eivät ole yhtä alttiita näytteen ominaisuuksien muutoksille kuin NIR-erottelun tulokset. Menetelmällä on saavutettu 94 % erottelutarkkuus. (Tsuchida 2009).



Röntgenfluoresenssispektroskopia (XRF) soveltuu materiaalien alkuainekoostumuksen määrittämiseen. Sitä voidaan käyttää analysaattorityyppistä riippuen noin 80 eri alkuaineen määrittämiseen (Retkin 2012). XRF-menetelmää hyödynnetään esimerkiksi eri palonestoaineiden tunnistuksessa (Al-Salem ym. 2009). Laserindusoidussa plasmasppektroskopiassa (LIPS) eri polymeerit tunnistetaan vertailemalla muovien spektrejä (Anzano ym 2006). LIPS-menetelmä tarjoaa täydentävää tietoa XRF-menetelmälle (Delgado ja Stenmark 2005).

Jätteiden lajittelussa voidaan käyttää myös erilaisia optisia erottimia, joilla jäte tunnistetaan sen ulkoisten ominaisuuksien perusteella. Optisissa menetelmissä kamera kuvaa jätteen ja tietokoneen algoritmien avulla muovikappale tunnistetaan sen värin, läpinäkyvyyden, koon ja pinnan rakenteen perusteella. Tietokoneohjattu ilmavirta päästää kappaleen jatkamaan matkaa linjalla tai poistaa sen jätevirrasta (Delgado ja Stenmark, 2005) (Kuva 15). PVC-kontaminaatioita voi erottaa muun muovin joukosta lämpöuunien avulla, koska PVC värjäytyy mustaksi kuumennettaessa. Tällöin värin perusteella erottelu on mahdollista (Hopewell ym. 2009).



Kuva 15: Optinen muovien erottelu (Delgado ja Stenmark 2005).

Muita menetelmiä

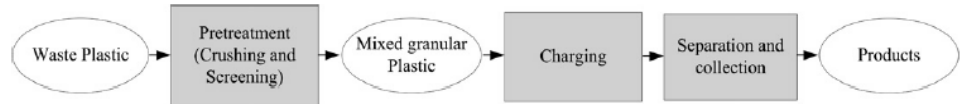
Muoveja voidaan myös erotella sulamislämpötilojen mukaan mikäli muoveilla on merkittävän suuret eroavaisuudet näissä. (Delgado ja Stenmark, 2005).

Triboelektrostaattinen erottelumenetelmä on lupaava muovien kuivaerottelumenetelmä. Eroteltavat muovit pilkotaan pienemmiksi, jonka jälkeen palaset saavat latauksen hankausliikkeestä. Palaset syötetään sähkökenttään, jonka jälkeen eri muovilaadut saadaan eroteltua (Kuva 16). Menetelmää voidaan käyttää erottelemaan kahta eri muovilaatua toisistaan, mutta useampien muo-





vien yhtäaikainen erottelu ei onnistu. Yhdistämällä elektrostaattinen erottelumenetelmä muihin erottelumenetelmiin voidaan erottelu toteuttaa useammilla muovilaaduilla. (Wu ym 2012).



Kuva 16. Kaaviokuva triboelektrostaattisen erottelumenetelmän toimintaperiaatteesta (Wu ym. 2013).

Vaahdottamalla voidaan erotella hydrofobisia ja hydrofiilisiä muoveja toisistaan. Kun vesipohjaiseen nesteeseen syötetään ilmakuplia, kiinnittyvät ne hydrofobisiin muoveihin, ja nämä nousevat nesteen pinnalle muodostaen vaahtokerroksen, jolloin taas hydrofiiliset muovit jäävät pinnan alapuolelle. Menetelmää on käytetty esimerkiksi ABS, HIPS ja PP:n erotteluun muista muoviladuista. (Delgado ja Stenmark 2005.)

Yksi mahdollinen menetelmä tunnistaa ja lajitella muoveja on lisätä neutraaliseen muoviin merkintäaineita, jotka voidaan tunnistaa kierrätysvaiheessa UV- tai röntgenfluoresenssispektroskopiolla (Kuva 17). Menetelmä on hyödyllinen etenkin eroteltaessa mustia muoveja, joilla on samanlaiset tiheydet (Maris ym. 2011 ja Brunner ym. 2015).

Useimmiten yksi sensori ei ole riittävä erottelemaan muovilatuja toisistaan, vaan identifioimiseen vaaditaan useampien tekniikoiden yhdistämistä (hybridisensorit) muovien polymeerien, lisäaineiden sekä muiden täyteaineiden selvittämiseksi. Esimerkiksi NIR ja MIR ovat käytetyimmät tekniikat polymeerien erotteluun. NIRin avulla ei kuitenkaan pystytä tunnistamaan muoveihin lisättyjä raskasmetalleja, eikä erottelemaan tummia muoveja. MIRin avulla pystytään erottelemaan mustia polymeerejä sekä palonestoaineita, mutta identifiointiaika on paljon pidempi kuin NIRin. MIR ei myöskään pysty erottelemaan raskasmetalleja muovista. NIR + MIR -erotteluketjua voidaan täydentää LIPS-menetelmällä, jolloin tutkittavasta muovista saadaan identifioitua raskasmetallit. Ketjuttamalla NIR-, MIR- ja LIPS-menetelmät voidaan saada määriteltyä muovin eri polymeerit korkealaatuista kierrätysmuovia varten. (Delgado ja Stenmark 2005).



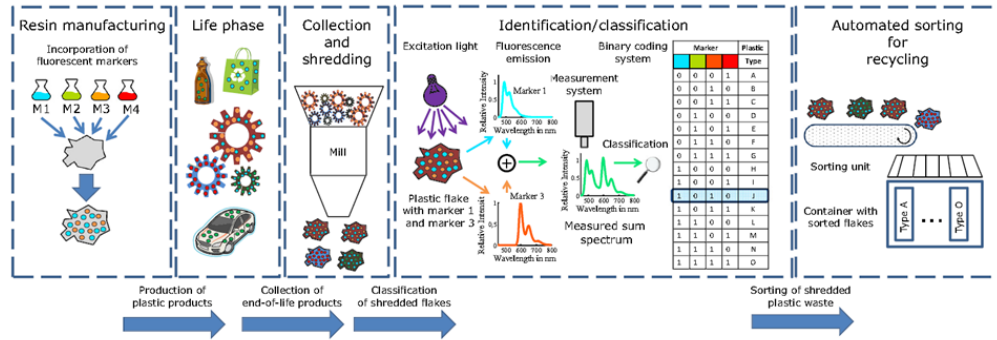


Fig. 2. Concept of plastic recycling based upon the automated sorting of plastic waste labeled by fluorescent markers (here M1–M4) incorporated into virgin resins.

Kuva 17. Merkintäaineiden hyödyntäminen muovien erottelussa (Brunner ym. 2015).

Taulukko 6. Eri erottelumenetelmien etuja ja rajoituksia (Maris ym. 2011).

Physicochemical sorting	<i>Densimetric sorting (Hwang Jiann-Yang 1995 Altland et al. 1995)</i>	+ Low cost, industrial stage -Not suited when densities are similar < 0,12 g/cm ³
	<i>Sorting by floating (Fraunholz 2004)</i>	+ Low cost -Complex technique, laboratory stage
	<i>Triboelectric sorting (Hearn and Ballard 2004)</i>	+Low cost, industrial stage -Sensitive to humidity and dust, does not sort complex mixtures, limited to certain polymers
Spectrometric sorting	<i>NIR absorption (Huth-Fehre et al. 1998)</i>	+Very rapid identification, industrial stage -Does not detect dark-colored plastics and polymers with similar formulation
	<i>X-rays (Biddle 1999)</i>	+Rapid, industrial -Does not detect polymers with the exception of PVC/PET separation
	<i>UV fluorescence (Pascoe 2003) (Bart 2006)</i>	+Enables the detection of food materials in the industrial stage - Not industrial sorting for polymers, not very characteristic spectra for polymers





3.4 Muovien lisäaineet ja niiden poisto

Muovit sisältävät lähes aina polymeerin ohella lisä- ja täyteaineita, joilla parannetaan muovien ominaisuuksia kuten esimerkiksi kovuutta, jäykkyyttä ja pehmeyttä. Lisäaineiden määrät vaihtelevat aineesta ja käyttötarkoituksesta riippuen <1-60 % välillä. Lisäaineita käytetään pidentämään muovien käyttöikää ja laajentamaan käyttökohteita, kuten esimerkiksi parantamaan muovien kestävyttä ulkoilmassa ja hidastamaan niiden palamista. Lisäaineet voivat vaikuttaa merkittävästi erottelussa käytettyihin muovien ominaisuuksiin, kuten tiheyksiin (Villanueva ja Eder 2014).

Kierrätysmuovien mekaaniset ominaisuudet ovat yleensä heikompia kuin neitseellisen materiaalin, mikä voi rajoittaa niiden soveltuvuutta eri käyttökohteisiin. Kotitalousperäisten muoviseosten mekaanisia ominaisuuksia voidaan kuitenkin lisäaineiden ja kompatibilisaattoreiden avulla parantaa vastaamaan neitseellisen materiaalin ominaisuuksia (Fortelny ym. 2004).

Mekaanisesti muovia kierrätettäessä lisäaineiden erottaminen muovimassasta ei ole teknisesti eikä taloudellisesti mahdollista. Markkinoilla on tarjolla satoja muovien lisäaineita. Täyteaineina käytetyt aineet eivät juuri kulu, muutu tai huonone merkittävästi sulatusten tai kierrätyksen aikana käytetyissä lämpötiloissa. Lisäaineet, kuten antioksidantit ja UV-suoja-aineet taas suojaavat polymeerejä ja ne hapettuvat ja kuluvat polymeerin sijaan.

Kierrätysprosessin aikana ekstruusiossa syntyy hapen vaikutuksesta vapaita radikaaleja ja tyydyttymättömiä ryhmiä, jotka sellaisenaan tai yhdessä muiden epäpuhtauksien kanssa voivat vaikuttaa merkittävästi muovin laatuun. Tämän välttämiseksi ja mahdollisimman laadukkaan lopputuloksen saamiseksi kierrätyksen puhdistusvaiheessa tulisi pyrkiä poistamaan prosessiin kuulumattomat epäpuhtaudet ja lisäaineiden jäännökset. (Villanueva ja Eder 2014).

Kierrätysmuovit ovat herkempiä hapetusreaktioille kuin neitseelliset muovit. Tämä johtuu kierrätysmuovien sisältämistä epäpuhtauksista sekä muovien käytöstä seuranneista ominaisuuksien sekä kemiallisen rakenteen muutoksista (Pfaendner 2006).

4 Nykyisiä kierrätysmuovien käyttökohteita

Vuonna 2012 Euroopassa kierrätettiin 6,6 miljoonaa tonnia muovijätettä (Plastics Europe 2015). Suurin osa tästä, noin 82 %, oli pakkausmuovia (Plastics Europe 2013). Seuraavaksi eniten kierrätettiin maatalouden muovijätettä ja kolmanneksi eniten rakennusten muovijätettä. Vähiten kierrätetään autoteollisuuden ja sähkö ja elektroniikkateollisuuden muovijätettä, vaikka näiltä toimialoilta syntyvän muovijätteen määrä vastaa maatalouden ja rakennusalan määriä (Taulukko 7).





Taulukko 7. Toimialakohtaiset muovijätteen määrät ja kierrätyksen osuus Euroopassa 2010 (Villanueva ja Eder 2014).

Sektori	Syntyneen muovijätteen määrä (kt)	Mekaanisesti kierrätetyn muovijätteen määrä (kt)	Kierrätyksen osuus syntyneen muovijätteen määrästä (%)
Pakkaus	15 379	4 951	32
Rakentaminen	1 365	273	20
Autot ja kuljetusvälineet	1 270	133	10
Maatalous	1 275	293	23
Sähkö ja elektroniikka	1 183	137	12
Muut	4 241	100	2
Yhteensä	24 713	5 886	24

Suomessa muovin kierrätyksen tilanne on samankaltainen kuin EU-maissa yleensä (Taulukko 7). Eniten kierrätetään pakkausmuovijätettä, minkä jälkeen tulevat maatalouden ja rakennusten muovijäte. Vuoden 2013 pakkausjätetilastojen mukaan Suomessa kierrätettiin pakkausmuovia 26 751 t (Pakkausjätetilastot 2015). Tähän määrään sisältyy todennäköisesti suurin osa myös yhdyskuntajätteestä erilliskerättynä kierrätykseen päätyvästä muovista. Muovien kierrätysprosesseissa menetetään keskimäärin 5-15 % materiaalista, joten kierrätysmuovin määrä voi vaihdella riippuen siitä puhutaanko kierrätykseen keräystä materiaalista vai kierrätysprosessin jälkeisestä määrästä (Harper 2006). Hiipakan (2011) tekemän kyselyn mukaan uusiomuovia käyttävien suomalaisten yritysten arvioima kierrätysmuovin vuosittainen käyttömäärä oli noin 54 500 t, ja jakautui muovilaaduittain seuraavasti:

- Polyolefiinit, noin 40 000 t
- PET, noin 12 000 t
- Muut muovit 2 500 t

Kulutuksesta syntyvää pakkausmuovijätettä hyödynnetään enimmäkseen Suomen Uusiomuovi Oy:n jäsenyritysten kautta. Suomessa toimi 2000-luvulla noin kymmenkunta yritystä, jotka prosessoivat muovijätettä eli puhdistavat ja muokkaavat sen uusiomateriaaliksi (Järvinen 2008). Suomessa kierrätysmuovin käyttökohteet ja -markkinat ovat melko suppeat. Kierrätysmuoveja käytetään pääasiassa muovipulloissa, muovipusseissa, putkissa, levytuotteissa ja rakennuseristeissä. Lisäksi kierrätysmuovista voidaan valmistaa muoviprofiilia, jota voidaan käyttää esimerkiksi aitoihin tai puistokalusteisiin. (Hiipaka 2011). Kärhän (2015) mukaan kierrätysmuovin käyttökohteita Suomessa ovat:

- Pakkaukset (PET-pullot, vanteet, kalvot, kassit, hylsytyt)
- Maatalous ja maanrakennus (kalvot, rumpuputket yms.)
- Muu rakentaminen ja teollisuus (profiilit, ruiskuvalutuotteet ym.)
- Muut (ämpärit, paljut, henkarit, kompostorit, levyt ym.)

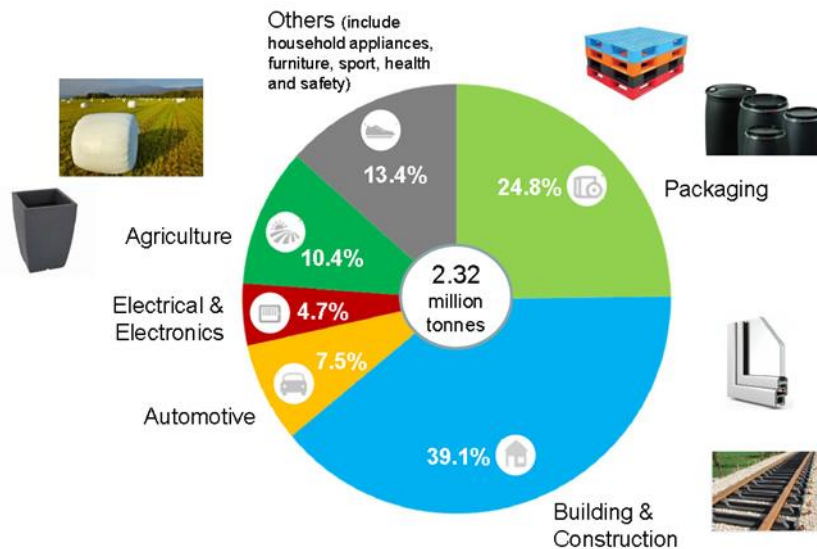




Maatalouden muoveille on tarjolla maksullista noutopalvelua, jonka jälkeen muovit menevät tällä hetkellä pääasiassa energiahyötykäyttöön (Lehtonen & Wiik 2015). Materiaalihyödyntämisen mahdollisuuksia on selvitetty hankkeessa jossa kokeiltiin orgaanisia epäpuhtauksia sisältävien teollisten kalvomuovin pesua ja kehitettiin kierrätysprosesseja (Lehtonen & Wiik 2015). Myös pakkausjätteelle on järjestetty keräilykokeiluja (Ekopiste pilotti 2015).

Suomesta myös viedään muovijätettä hyödynnettäväksi ulkomaille. Tullin Uijas-tilaston mukaan eniten viedään Kiinaan, Hong Kongiin, Ruotsiin ja Latviaan (Lei & Myllylä 2014). Tilasto kertoo muovijäte-erien ensimmäisen vastaanottajan, mutta nämä eivät välttämättä ole muovijätteiden lopullisia hyödyntäjiä. Wongin (2010) mukaan esim. Hong Kong vei kerätystä muovijätteestä 94,8 % Kiinaan vuonna 2009. (Lei & Myllylä 2014).

Saksassa kierrätysmuovin pääkäyttökohteet (Kuva 18) ovat hyvin samanlaiset kuin Suomessa, mutta käyttäjäsektoreiden suuruusjärjestys eroaa Saksan ja Suomen välillä. Saksassa rakentamissektorin (Building & Construction) merkitystä nostaa mm. PVC-ikkunaprofiilien mittava kierrätys, jota Suomessa ei juurikaan tehdä. Saksassa kierrätysmuovia hyödynnetään myös autoteollisuudessa.



Kuva 18. Kuluttaja- ja teollisuusperäisen kierrätysmuovin käyttökohteet Saksassa 2013. (Engelmann 2015).



Eri komposiitit ja niiden käyttömäärät kasvavat koko ajan. Arviolta 2/3 kaikista komposiittiyhdistelmistä on polymeeri-matriisi yhdistelmiä jonkun lujiteaineen kanssa. Suurimmat käyttökohteet komposiiteille ovat autoteollisuus (yli 30 %) ja lentokoneet (yli 20 %). Joidenkin lentokoneiden painosta jopa 50 % on jo eri komposiittiyhdistelmiä. Nousevia komposiitin käyttöalueita ovat tuulivoimalat ja kaasun- tai öljynporaussovellukset sekä vapaa-aikaan liittyvät kohteet kuten urheiluvälineet ja veneilysovellukset. Kierrätysmuovista valmistetut komposiitti-



tuotteet ovat tutkimusten mukaan laadultaan yhtä hyviä kuin täysin neitseellisestä muovimateriaalista valmistetut komposiittituotteet. Najafin ym. (2006) tutkimuksen mukaan kierrätysmuovista valmistettujen komposiittien ominaisuudet ovat samanlaiset tai ainakin vertailukelpoiset täysin neitseellisestä materiaalista valmistettuihin komposiitteihin. Sarabin ym. (2014) mukaan kierrätystä HDPE:stä valmistettu komposiittituote on vetolujuudeltaan ja taivutuskestävyydeltään jopa parempi kuin neitseellisestä muovista valmistetut komposiittituotteet.

Komposiittituotteiden ongelmana kuitenkin on, että niiden kierrätysmahdolliset ovat tällä hetkellä vähäiset. Suurin ongelma kierrätyksessä on materiaalien erottaminen toisistaan. Valtaosa komposiiteista onkin hyödynnetty pääasiassa energiana. (Yang ym. 2012). Lasikuitulujitettua muovikomposiittia hyödynnetään sementtiuunissa, missä lujitemuovin sisältämä lasikuitu sulaa ja sekoittuu muihin sementin raaka-aineisiin vähentäen sementinvalmistuksessa käytettävien neitseellisten raaka-aineiden määrää. Muovit ja kuidut muuttuvat energiaksi, jota uuni tarvitsee epäorgaanisen aineksen kuumentamiseen (Muoviteollisuus ry 2014). Poltettaessa komposiittia sementtiuunissa komposiitista pystytään hyödyntämään 70 % sementin raaka-aineena ja 30 % polttoaineena (Reinforced Plastics 2006). Toisin sanoen komposiitin polttaminen sementtiuunissa kierrättää lasikuidun, mutta muovi toimii polttoaineena.

EU-rahoitteisessa IRCOW-tutkimushankkeessa (Innovative Strategies for High-Grade Material Recovery from Construction and Demolition Waste, EU/FP7 2011-2013) on kuitenkin saatu laboratoriotesteissä näyttöä siitä että muovi-puu-komposiitti voitaisiin murskata ja kierrättää uudelleen monikerros-tekniikalla tuotettavaan komposiittirakenteeseen (Vilkki 2016).

5 Potentiaalisia uusia kierrätysmuovien käyttökohteita

5.1 Lähtökohdat käyttökohteiden selvitykselle

Kuten luvussa 2 on esitetty, muovin käyttökohteet laajenevat ja sitä myötä myös syntyvät muovijätteen määrät kasvavat. Näin ollen tässä selvityksessä kartoitettiin kierrätysmuovien uusia käyttökohteita sellaisilta sovellusalueilta, missä käyttömäärät voisivat olla suuria. Lisäksi etsittiin käyttökohteita, joissa mahdollisista haju- tai värivirheistä ei ole haittaa. Kierrätysmuovien ongelmia ovat nimittäin olleet niiden ulkonäkö, väri ja jopa haju. Kierrätysmuovien väri on riippuvainen lähtömuovien väreistä. Kierrätystekniikoiden kehittyessä mm. värien perusteella suoritettava lajittelu voi kuitenkin tulevaisuudessa mahdollistaa myös muiden kuin mustien kierrätystuotteiden valmistuksen kuluttajamuovijätteistä.

Lisäksi yhtenä kartoituksen kriteerinä oli mahdollisuus kierrättää kierrätystuote edelleen ja näin pidentää muovin elinkaarta mahdollisimman paljon. Tästä syystä komposiitit ja useita eri materiaaleja sisältävät hybridimuovit pyrittiin jättämään tarkastelun ulkopuolelle.





Elintarvikepakkaukset jätettiin kokonaan tämän tarkastelun ulkopuolelle, sillä kierrätysmuovin käyttö elintarvikepakkauksissa on hyvin tarkasti säädeltyä.

Kartoitus tehtiin haastattelemalla kotimaisia ja ulkomaisia muovialan edustajia sekä muovialan ulkopuolisia tahoja. Haastatteluissa tiedusteltiin vastaajien mielipiteitä ja ideoita potentiaalisille uusille kierrätysmuovin käyttökohteille. Jo toteutettuja ideoita kerättiin kirjallisuudesta sekä EPRO:n (European Association of Plastics Recycling) Best Recycled Plastic Product- kilpailusta. Uusia ideoita kerättiin myös ARVI-tutkimusohjelman työpajassa 4.2.2015.

5.2 Maarakentaminen

Rakennusteollisuus on yksi suurimmista kierrätysmuoveja käyttävistä toimialoista Euroopassa. Kierrätysmuovin käyttö maarakentamisessa on perusteltua, koska usein muovituotteet eivät sijoitu näkyviin käyttökohteisiin. Myöskään kierrätysmuovien mahdollisista hajuista ei välttämättä ole haittaa näissä kohteissa.

Uusi kierrätysmuovin käyttöalue voisi olla geosynteettiset tuotteet, joita voidaan käyttää niin maaperän muokkauksessa kuin kunnostuksessa. Geosynteeteillä tarkoitetaan yleisesti kaikkia polymeereistä valmistettuja tuotteita, joita käytetään maa- ja vesirakentamisessa (Taulukko 8).

Taulukko 8. Geosynteettejä ja niiden käyttötarkoituksia ja materiaaleja (Sara 2012, Liikennevirasto 2011, Taretek Geosynteetit 2015, Infrarakentamisen ratkaisut 2015).

Geosynteetti	Käyttötarkoitus ja materiaalit
Geotekstiilit	maanrakennuskankaita -käytetään maa-ainesten erotteluun, lujitukseen, tiivistykseen, eroosio- ja routasuojaukseen sekä suodatukseen. -käyttökohteita mm. tien- ja rakennusten pohjat, uimarannat, pysäköintipaikat ja salaojitukset -valmistetaan mm polypropeenista, polyesteristä, polyamidista ja polyeteenistä
Geovahvisteet	-lujiteverkkoja, lujitekankaita tai yhdistelmälujitteita -käytetään maan kantavuuden parantamiseen, painumien hallintaan ja stabiliteetin parantamiseen. -valmistetaan mm polypropeenista, polyesteristä ja polyeteenistä
Muut geosynteettiset tuotteet	-salaojanauhoja, muovipontteja, pystyeristysseiniä, geotuubeja
Kevennysrakenteet	-osa kiviaineksesta korvataan kevyemmällä materiaalilla maarakenteista aiheutuvien kuormien keventämiseksi -materiaalina voidaan käyttää mm. EPS-solumuovia



Geosynteettien käyttömäärät ovat Suomessa suuret, erään yrityksen arvion mukaan noin 16–18 milj. m²/vuosi. Käytön arvioidaan lisääntyvän, koska ra-



kentämisen tiivistymisen vuoksi joudutaan rakentamaan yhä haastavammalle ja epästabiiimmalle (pehmeä maaperä, jyrkkä rinne) maaperälle. Vuonna 2014 noin 54 % maailman väestöstä asui kaupunkialueilla. Vuoteen 2050 mennessä osuuden odotetaan nousevan 66 % maailman väestöstä (World Urbanization Prospects, UN 2014 Revision). Kaupungistuminen sekä ihmisten ja tavaroiden liikkuvuuden tarve luo kysyntää uusille infrastruktuurirakentamisen investoinneille erityisesti alueilla, joilla kaupungistuminen ja väestönkasvu ovat voimakkainta. Ihmisten keskittyminen kaupunkialueille ja maan hinnan nousu lisäävät tarvetta sovelluksille, joita voidaan käyttää vaativissa rakennuskohteissa.

Vaativimmissa geosynteettien käyttökohteissa, joissa muovituotteen laatu ei saa vaihdella, kierrätysmateriaalin käyttöä ei sallita tällä hetkellä. Esimerkiksi tiivistysrakenteissa käytettävät geomembraanien eli tiivistyskalvojen tuote-standardit eivät salli tällä hetkellä kierrätysraaka-aineiden käyttöä (Leppänen 2015).

5.3 Jätevedenpuhdistus

Geosynteettien ohella myös jätevedenpuhdistuksessa voitaisiin käyttää kierrätysmuovia ilman että tuotteen mahdolliset ulkonäkö- tai hajuhaitat olisivat ongelma. Kierrätysmuovi voi toimia jäte- ja hulevesien suodattimessa kasettimaisena tukirakenteena, viivytysaltaana tai adsorbenteilla pinnoitettuna rakenteena. Yhden suomalaisen yrityksen arvio tällaisten tuotteiden käyttövolyymista koko Suomen tasolla on noin 3000–5000 t/vuodessa. Kierrätysmuovin käyttö suodattimien tukirakenteina voi tarjota edullisen ja toimivan vaihtoehdon neitseellisestä muovista valmistetuille tukirakenteille (Paul ym. 2007, Wolff ym. 2005).

Jätevettä syntyy yhä kasvavissa määrin yhdyskunnista, maataloustuotannosta, turvetuotannosta, kaatopaikoilta ja kaivoksista. Kaivostoiminnalla on Suomessa pitkät perinteet. Kaivosalaa pyritään edistämään esim. tällä hetkellä käynnissä olevalla Finpron hallinnoimalla kolmevuotisella Kaivosteollisuuden kasvuhelmalla. Euroopan innovaatio- ja teknologian instituutti (EIT) rahoittaa eurooppalaista raaka-ainetarpeisiin syventyvää mineraalialan innovaatiokeskittymää, jonka kuudesta toimipaikasta yksi perustetaan Suomeen. (Toimialojen näkymät 2015). Tämän perusteella kaivostoimintaan liittyvää vedenpuhdistustoimintaa tarvitaan myös tulevaisuudessa.

2000-luvulla on investoitu paljon uusiin voimalaitoksiin, jotka voivat hyödyntää sekä puuta että turvetta. Näin ollen turpeen ja puun käyttömäärät ovat kasvussa. Kokonaisuudessa turpeen käytön uskotaan pysyvän melko vakaana tulevaisuudessa (Turve 2015), jolloin myös turvetuotannon vesipäästöjen puhdistukselle säilyy tarve tulevaisuudessa.

Ilmasto sekä ihmisten elinympäristö muuttuvat jatkuvasti. Kaupungistumisen jatkuessa joudutaan tulevaisuudessa varautumaan yhä suurempiin hulevesimääriin sekä näiden käsittelyyn. Ongelma korostuu etenkin kaupunkimaisissa ympäristöissä, joissa päälystettyjen pintojen osuus kasvaa. Sadannan





lisääntyessä ja haihdunnan vähentyessä kaupungeissa joudutaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota sadevesiviemärointiin sekä hulevesien optimaaliseen käsittelyyn.

5.4 Muut ympäristötuotteet

Ilmaston lämmetessä ilmastokatastrofit tulevat yhä todennäköisemmiksi ja näiden sekä erilaisten konfliktien seurauksena tarvitaan yhä useammin erilaisia hätämajoitusmahdollisuuksia kriisialueiden asukkaille. Ikea foundation on suunnitellut kevyitä ja helposti siirrettäviä hätämajoitusratkaisuja, jotka voisivat olla hyvä ja tarpeellinen käyttökohde kierrätysmuoville. Katastrofialueilla tarvitaan myös tilapäisiä luokkarakennelmia. Kirkon Ulkomaanavun arvion mukaan tilapäisasumuksia tai jopa hieman isompia tilapäisiä luokkarakennelmia tarvitaan aina kipeästi (Aaltonen 2015).

Helposti kuljetettavan vaihtoehdon kovasta muovista rakennetulle hätämajoitusvaihtoehdolle toisi kierrätysmateriaalista valmistettu eristysuopamainen seinän vaippamateriaali. Materiaali voitaisiin kuljetusta varten puristaa ilmatomaksi ja pakkausta avattaessa se turpoaisi entisiin mittoihinsa. Tällaista kevyteristettä voitaisiin käyttää yksinkertaisen runkorakenteen kanssa nopeaan pystytykseen. Vastaavasta materiaalista rakennettava vesikatto olisi myös hyödyllinen kriisikohteissa (Aaltonen 2015).

5.5 Muut ulkokohteet

Kierrätysmuovia hyödynnetään jo paljon Euroopassa ja Euroopan ulkopuolella erilaisissa ulkokohteissa. Saksassa käytetään kierrätysmuovia junakiskojen ratapölkkyjen valmistuksessa. Yhdestä ratapölkystä 65-85% on kierrätettyä HDPE:ta ja loput lasikuitua. Kierrätysmuovista valmistettu yli 200 km pitkä rataosuus vedettiin Lehrterin ja Jannowitzbrücken välille vuonna 2014 (Silent footsteps go 2015).

Rakennusfirma VolkerWessels on julkaissut suunnitelman korvata asfalttia kierrätysmuoviteillä (Kuva 19). Hollannin Rotterdamin kaupunki on osoittanut alustavaa kiinnostusta kokeilla kierrätysmuovista valmistettuja teitä. Muovista valmistetut tiet ovat kestävämpiä ja käytännöllisempiä verrattuna vanhoihin asfalttiratkaisuihin. Kierrätysmuovista valmistettujen teiden arvioidaan kestävän kolme kertaa kauemmin sekä sietävän suurempia lämpötilan vaihteluita kuin vanha asfaltti (PlasticRoad 2015).

Espanjalainen kierrätysmuovista valmistettuihin tuotteisiin erikoistunut yritys valmistaa bussipysäkkejä sekä liikenteenjakajia PVC:stä, josta 93 % on kierrätettyä (Bus boarder 2015).

Isobritannialainen yritys on erikoistunut valmistamaan kierrätysmuovista ulkoalusteita sekä välineitä lasten leikkipuistoihin. Yritys valmistaa myös minigolf-ratoja 100 % kierrätetystä HDPE:sta. Tuotteille luvataan kymmenen vuoden takuu (Marmax Recycled Products 2015).





Toinen isobritannialainen yritys valmistaa kierrätetystä PVC-muovista puun kaltaisia ulkolankkuja, joita voidaan käyttää esimerkiksi ulkolaitureiden valmistukseen. Idea on jo Suomessakin käytössä, mutta poikkeuksellista tämän kyseisen yrityksen kierrätyskonseptissa on se, että yritys on sitoutunut ostamaan valmistamansa tuotteet takaisin käyttäjiltä. Tämän jälkeen yritys kierrättää tuotteet uudestaan (F-Board 2015).

Yhdysvaltalainen yritys valmistaa kierrätystuotteina mm. aallonmurtajia (Wave Eater 2015).



Kuva 19. Plastic road rakennetaan palasista, jotka voidaan asentaa yhdellä kertaa (PlasticRoad 2015).

5.6 Pakkausteollisuus

Pakkausteollisuus on merkittävässä roolissa sekä muovien että muovijätteen tuotannon osalta. Euroopassa:

- ~ 40% kokonaisu muovin tuotantomäärästä menee pakkausteollisuuteen (Plastics Europe 2015)
- ~ 62% kaikesta syntyvästä muovijätteestä tulee muovipakkauksista (Littner ja Frerejean 2015)
- ~ 82 % nykyisin kierrätettävästä muovista on pakkausmuovia (Plastics Europe 2013).

Pakkausala käyttää paljon muovia ja sen tuotteista syntyy paljon muovijätettä. Pakkausten kierrätys on jo käynnistynyt, mutta koska jättemateriaalia syntyy tämän sektorin tuotteista runsaasti, myös uusia ideoita ja ratkaisumalleja tarvitaan. Merkittävää kierrätyksen lisäystä on vaikea toteuttaa, jos kierrätysmuovien käyttöä pakkausteollisuudessa ei lisätä.





Kierrätysmuovin käyttö elintarvikepakkauksissa on hyvin tarkasti säädeltyä, minkä vuoksi se tuskin lisääntyy merkittävästi. Poikkeuksen tekevät pakkausten kerrosratkaisut, joissa osa pakkauksen kerroksista on neitseellistä muovia ja sisemmät kerrokset voivat olla kierrätysmuovia (esim. muovikassit).

Tulevaisuudessa muovikassien tuotantomääriin voi tulla muutoksia, jos muovikassien käyttöä aletaan rajoittaa. Suomessa käyttömäärät ovat vähäisiä verrattuna EU:n keskimääriin käyttömääriin. Komission mukaan muovikasseja käytetään EU:ssa vuosittain keskimäärin 198 muovikassia henkeä kohti, kun Suomessa vastaava määrä on kaupan alustavien arvioiden mukaan noin 55. Näihin lukuihin eivät sisälly hyvin ohuet muovikassit. Ehdotuksen mukaan jäsenmaat voisivat päättää kansallisesti tarkoituksenmukaisista toimista muovikassien käytön vähentämiseksi. Jäsenmaiden tulisi:

- joko asettaa muovikassien vähentämistavoitteeksi korkeintaan 90 kassia/asukas/vuonna 2019 ja 40 kassia/asukas/vuonna 2025 ja päättää toimista sen saavuttamiseksi
- tai varmistaa, että kaikki kaupoista saatavat muovikassit ovat maksullisia vuoden 2019 alusta lähtien tai ottaa käyttöön muita yhtä tehokkaita toimia muovikassien käytön vähentämiseksi.

Tämän perusteella vaikuttaisi siltä, ettei muovikassien määrän rajoittamisella olisi merkittävää vaikutusta tuotantomääriin Suomessa. Ympäristöministeriö teettää parhaillaan selvitystä tarkoituksenmukaisimmasta tavasta muovikassien vähentämiseen.

5.7 Autoteollisuus

Suomessa autoteollisuutta on sängen vähän, mutta ulkomailla autoteollisuus on yksi suurimpia kierrätysmuovia käytettäviä toimialoja. Esimerkiksi itävaltalaisen Borealis AG:n muovisten autojen osien valmistuksessa käytetään kulusperäistä kierrätysmuovia autojen sisä- ja ulko-osien valmistukseen. Borealisen muoviseoksissa kierrätysmuovien osuus vaihtelee 25–50 % välillä riippuen käyttökohteesta.

Suomessa valmistetaan esimerkiksi kulkuvälineiden muovisia sisäosia, jotka olisi mahdollista valmistaa kierrätysmuovista. Suomen autoteollisuudessa oli haastattelujen perusteella merkittävää kiinnostusta käyttää tulevaisuudessa kierrätysmuovia tuotannossa, jos vain materiaalin laatu saadaan riittävän hyväksi.

5.8 3D-tulostus

3D-tulostuksella pystytään tulevaisuudessa valmistamaan esineitä aina kuulolaitteista suurikokoisiin taloihin. Koska käyttökohteita 3D-tulostustukselle löytyy laidasta laitaan, avaa tämä tekniikka myös suuria käyttömahdollisuuksia kierrätysmuoville. Kierrätysmuovi on jo käytössä esimerkiksi yhdysvaltalaisella yrityksellä, joka on keskittynyt valmistamaan korkealaatuisia ABS-kuitua 3D-tulostusta varten täysin kierrätysmuovista. (Dimension Polymers 2015).





6 Muovien kierrätyksen ympäristöhyödyistä

6.1 Kierrätysmuovien uudelleenkierrätettävyys

Kierrätyksen tavoitteena tulisi olla sellaiset tuotteet, jotka voidaan edelleen kierrättää, kun ne poistetaan käytöstä. Muovissa tapahtuu kuitenkin tuotteiden käytön ja prosessoinnin aikana muutoksia, jotka voivat vaikuttaa kierrätettävyyteen.

Kierrätysprosesseissa muovien kemiallinen rakenne on voinut muuttua tai muovin sekaan on voinut sekoittua vieraita yhdisteitä (Harper 2006). Teoriansa suurin osa muoveista on kierrätettäviä ja osa muoveista on kierrätettävissä eri yhdistelmissä (Gent ym. 2009). Kestomuovi voidaan kierrättää useampaan kertaan. Mitä puhtaampaa kierrätettävä muovi on, sitä helpommin ja parempi-laatusempaa kierrätysmuovia saadaan. (Kärhä 2015).

Muoveja käytetään paljon myös ulkokohteissa, jolloin ne altistuvat auringonvalolle, sateelle, ilmankosteudelle, ilmansaasteille, lämpötilan vaihteluille sekä hapen vaikutukselle. Nämä muuttavat muovien fyysisiä ominaisuuksia sekä kemiallista rakennetta. Rakenteellinen uudelleenmuotoutuminen ja kemiallinen modifikaatio tapahtuvat pääasiassa muovikappaleen pinnalla. Tämän seurauksena ohuimmat muovit heikkenevät herkemmin kuin paksimmat muovit. (Rajakumar ym. 2009). Rajakumarin ym. (2009) mukaan ulkoilman lämpötila, UV ja näkyvän valon intensiteetti vaikuttavat enemmän polypropyleenin huononemiseen kuin ilmankosteus, ilmanpaine tai sade. PP:n huononeminen oli nopeampaa kesällä kuin talviaikaan.

Eri muovilaatujen välillä on eroja kierrätettävyyden kannalta. HDPE pullojen on havaittu tutkimuksien mukaan kestävän erittäin hyvin kierrätystä etenkin stabilointiaineiden lisäyksen jälkeen. (Boldizar ym. 2000, Luzuriaga ym. 2006). Jopa kymmenen simuloidun kierrätystapahtuman jälkeen HDPE materiaalilla oli luja kyky kestää kiihdytettyä lämpö-hapetus-ikäntymistä, joka vastaa noin 40 vuoden muovien käyttöä sisätiloissa (Boldizar ym. 2000). Oblakin ym. (2015) mukaan HDPE:n mekaaniset ominaisuudet eivät muutu merkittävästi edes kymmenen ekstrusiovaiheen jälkeen. Samaisen tutkimuksen mukaan HDPE:n prosessoitavuus huononee 30 mekaanisen kierrätyskerran jälkeen merkittävästi. On kuitenkin huomioitava, että toistettaessa HDPE:n kierrätysprosessi jopa 100 kertaa, materiaali säilyttää silti 80 % alkuperäisistä mekaanisista ominaisuuksistaan (Oblak ym. 2015). Samoin PP on tutkimusten mukaan havaittu hyvin soveltuvaksi kierrätystarkoitukseen lämpö-hapetuskokeissa (Luzuriaga ym. 2006).

ABS-muovin kierrätyskokeissa tehdyt simulaatiokierrätykset vaikuttivat ennen kaikkea muovin iskunkestävyyteen ja kutistuvuuteen. Viidennen kierrätyskerran jälkeen ABS-muoveissa oli havaittavissa 17 % vähemmän kutistumista kuin ensimmäisellä kierrätyskerralla. Tämän arvellaan olevan seurausta muovin laadun huononemisesta. Myös muovin iskunkestävyys huononee lineaarisesti kierrätyskertojen lisääntyessä (Rahimi ym. 2014). ABS-muovin butadieenilla on tärkeä rooli muovin tunnusominaisessa iskunkestävyydessä. Rahimi





ym. (2014) mukaan muovin heikkeneminen kierrätystilanteissa johtuu juuri butadieenin sidosten rikkoutumisesta. ABS muovin valmistuksessa käytettävät lisäaineet lisäävät myös ABS:n kestävyttä ja kierrätystilanteessa näiden helposti haihtuvien materiaalien menetys aiheuttaa muovin ominaisuuksien heikkenemistä. Muovin veto-ominaisuudet eivät muuttuneet kierrätyksen aikana. Taivutuslujuus kasvoi 9 % kierrätysten seurauksena. ABS-muovien mekaanisista ominaisuuksista ainoastaan iskunkestävyys huononi kierrätyksen aikana. (Rahimi ym 2014). Rahimi ym (2014) testasivat myös optimaalisinta kierrätysmuovin osuutta seostettuna neutseellisen muovin joukkoon (20 %, 35 % ja 50 % kierrätysmuovia seostettuna neutseellisen muovin joukkoon). Näidenkin tulosten mukaan ABS-muovin kutistuvuus oli pienin muoveissa, joissa kierrätysmuovin osuus oli suurin (50 %). Mekaanisten ominaisuuksien mukaan paras suhde oli 80 % neutseellistä muovia ja 20 % kierrätettyä muovia.

6.2 Kierrätyksen potentiaaliset ympäristösäästöt

WRAP:n mukaan muovien kierrätys on ympäristön kannalta paras muovijätteen hyödyntämismenetelmä kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa. Samaan tulokseen päätyvät myös Christensen ja Fruergaard (2010) ja Hopewell ym. (2009) (Liitteet 1 ja 2). Kierrätyksen hyödyt saavutetaan ennen muuta neutseellisen muovituotannon välttämisen kautta. Tarkasteluissa uusiomuovin oletetaan korvaavaan neutseellistä muovia 1:1 suhteessa, mikä merkitsee, että tuotetun kierrätysmuovin oletetaan olevan hyvin korkealaatuista. Herkkyystarkastelujen mukaan kierrätys on ympäristön kannalta paras vaihtoehto, jos kierrätysmuovilla pystytään korvaamaan 70 % tai enemmän neutseellisen muovin valmistuksesta (WRAP 2008). Tätä alhaisemmilla korvaussuhteilla jäävät päästösäästöt kierrätyksen aiheuttamia päästöjä pienemmiksi. Tällöin muut vaihtoehdot, kuten muovin käyttäminen polttoaineena sementin valmistuksessa, nousivat ympäristön kannalta paremmiksi (WRAP 2008). Myös Lazarevic ym. (2010) mukaan kierrätysmuovin käyttö on energian käytön, ilmastonmuutoksen, happamoitumisen, rehevöitymisen, uusiutumattomien luonnonvarojen sekä syntyvien jätemäärien kannalta paras muovien hyödyntämisvaihtoehto, jos kierrätysmuovilla pystytään korvaamaan neutseellisen muovin valmistusta 1:1. WRAP:n päivitetyn katsauksen (Michaud ym. 2010) mukaan kierrätys on ilmastonmuutoksen, luonnonvarojen kulumisen sekä energiankulutuksen kannalta paras vaihtoehto. Ongelmana kuitenkin on, että kierrätystarkasteluissa ei ole huomioitu muovijätteen puhdistusta. Puhdistuksen huomioonottaminen elinkaariarvioinneissa saattaa lisätä merkittävästi muovin käsittelyn ympäristövaikutuksia (Michaud ym. 2010). Muovin valmistaminen vie 1,8 yksikköä energiaa, kun vertailun vuoksi itse muovi pitää sisällään 1,0 yksikköä energiaa, joka vapautuu poltettaessa. Tämän vuoksi muovin polttaminen on harvoin energiatehokkaampaa kuin muovin kierrättäminen jos tällä pystytään korvaamaan neutseellisen muovin valmistusta (Christensen ja Fruergaard 2010).

Christensenin ja Fruergaardin (2010) sekä Lazarevicin ym. (2010) mukaan muovien likaisuus ja pesuveden käsittelyn sisällyttäminen elinkaarimallinnukseen voivat nostaa polton kierrätystä paremmaksi vaihtoehdoksi, etenkin kun orgaanisen aineen pitoisuus muovituotteissa lisää polton energiantuottavuutta.





Tarkastelussa, jossa huonompilaatuisella (kontaminoitunutta tai useita muovilajeja sisältävä seos) kierrätysmuovia käytettiin puutarhakalusteiden valmistuksessa puuta korvaten, ei kierrätysmuovin käyttötuottanut ilmastomuutoksen kannalta merkittäviä ympäristöhyötyjä (Astrup ym. 2009).

7 Muovin kierrätyksen haasteita

7.1 Lainsäädäntöön perustuvat rajoitukset

Lainsäädäntöön perustuvia kierrätysmuovin käyttöä koskevaa sääntelyä on selvitetty aiemmin eri näkökulmista. EU komission tutkimuskeskus Joint Research Center (JRC) on laatinut vuonna 2014 ehdotuksen muovin End-of-waste kriteereiksi (Villanueva ja Eder 2014). Raportissa on tunnistettu laajalla näkökulmalla EU- lainsäädäntöä, jota sovelletaan sekä muovijätteeseen ja sen kierrätykseen että jätteeksi luokittelun päättymisen jälkeen muovituotteisiin. Kansallisessa Työ- ja elinkeinoministeriön rahoittamassa ja VTT:n laatimassa raportissa Muovipakkausten kierrätyksen edistäminen Suomessa (Merta ym. 2012) on pohdittu muun muassa innovaatioiden syntyminen näkökulmasta kierrätysmuovien käyttöön liittyvää sääntely-ympäristöä.

Tähän yhteyteen on koottu säädöksiä liittyen sekä muovijätteiden kierrätykseen (luvut 7.1.1 – 7.1.5) että jätteeksi luokittelun päättymisen jälkeisiin muovituotteisiin (luvut 3.1.6 – 3.1.9). End-of-waste –määrittelyn jälkeen muovijäte siirtyy tuotelainsäädännön ja mm. kemikaalilainsäädännön menettelyiden piiriin. Hyödyntäminen ei siten ole tuotteenakaan merkittävästi yksinkertaisempaa kuin sovellettaessa jätelainsäädäntöä.

Muovijätteitä koskeva lainsäädäntö

7.1.1 Pakkausjätedirektiivi, VNA pakkauksista ja pakkausjätteistä

Pakkaus- ja pakkausjätedirektiivin (94/62/EY) ja (2013/2/EU) tavoitteena on ehkäistä ja vähentää pakkausten ja pakkausjätteiden ympäristövaikutuksia. Direktiivi on toimeenpantu Suomessa valtioneuvoston asetuksella (518/2014), jossa säädetään yleisiä pakkausjätteen uudelleenkäyttö- ja kierrätystavoitteita. Lisäksi eri pakkausmateriaaleille on säädetty kierrätysastevaatimukset, jotka tuottajan on täytettävä järjestämänsä pakkausjätteen erilliskeräyksen ja kierrätyksen avulla.

Pakkausten tuottajien ja juomapakkausten palautusjärjestelmän ylläpitäjien on huolehdittava siitä, että muovipakkausten osalta saavutetaan seuraava tavoite vuosittain viimeistään vuoden 2020 alusta: "...markkinoille saatettujen pakkausten määrää vastaavasta määrästä muovipakkausjätettä kierrätetään vähintään 20 prosenttia enemmän kuin vuonna 2012."

Lisäksi asetuksessa on säädetty pakkausjätteen kierrätysasteesta tuottajittain. Tuottajan on järjestettävä muovipakkausjätteen erilliskeräys ja kierrätys siten, että kierrätysaste, johon ei lasketa mukaan kierrätettyjä juomapakkauksia, on





vuoden 2016 alusta muovipakkausjätteen osalta vähintään 16 painoprosenttia ja vuoden 2020 alusta muovipakkausjätteen osalta vähintään 22 painoprosenttia.

Asetuksessa säädetään myös, miten tuottajan on järjestettävä käytettyjen pakkausten erilliskeräys, uudelleenkäyttö, kierrätys ja muu jätehuolto. Muovipakkausjätteen erilliskeräystä varten tulee järjestää vähintään 500 vastaanottoaikkaa siten, että yli 10 000 asukkaan taajamassa on ainakin yksi vastaanottoaikka. Tällaisia taajamia on Suomessa noin 50. Loput 450 keräyspaikkaa tuottajat saavat sijoittaa asetusehdotuksen vähimmäisvaatimusten mukaisesti.

Tuottajan on lisäksi järjestettävä vähintään 30 vastaanottoterminaalia elinkeinotoiminnassa syntyvän pakkausjätteen sekä kunnan ja jätealan toimijoiden keräämien pakkausjätteiden vastaanottamiseksi.

Muovisille laatikoille ja muovisille kuormalavoille voidaan tietyin, komission päätöksellä 2009/292/EY säädetyin edellytyksin, myöntää poikkeuksia pakkaus- ja pakkausjätedirektiivissä (94/62/EY) vahvistettujen raskasmetallien pitoisuustasojen osalta.

7.1.2 EY:n jätteesiirtoasetus

EY:n jätteesiirtoasetuksen mukaan hyödyntämiseen tarkoitettua jätettä voidaan viedä maasta tai tuoda maahan kahden eri valvontamenettelyn kautta.

Vihreään jäteluetteloon (jätteesiirtoasetuksen liite III) on sisällytetty sellaisia jätteitä, joiden siirroista hyödynnettäväksi ei todennäköisesti aiheudu riskiä ympäristölle. Vihreitä jätteitä saa pääsääntöisesti siirtää OECD:n jäsenmaasta toiseen ilman erillistä ilmoitusmenettelyä. Vihreiden jätteiden vientirajoitukset OECD-maiden ulkopuolisiin maihin voi tarkistaa komission asetuksesta 1418/2007/EY. Vihreää jäteluetteloa on täydennetty erillisillä asetuksilla. Jätteesiirtoasetuksen liite IIIA sisältää jäteseoksia. Liite IIIA on hyväksytty kahdella asetuksella ja seoksia on yhteensä yksitoista (308/2009/EY ja 664/2011/EY). Jätteesiirtoasetuksen liite IIIB koskee puolestaan viittä komposiitiksi katsottavaa jätettä, jotka on hyväksytty vihreään jäteluetteloon (1234/2014/EY). Puhdas, tasalaatuinen muovijäte luokitellaan vihreäksi jätteeksi.

Keltaisen listan (ns. Amber list) jätteet luokitellaan vaarallisiksi ja niiden siirtoon tarvitaan lupa eli sovelletaan ns. ilmoitusmenettelyä.

Jätteen vastaanottava maa vaikuttaa siihen, tarvitaanko jätesiirtolupa vai ei. Jätteen vienti loppukäsiteltäväksi muuhun kuin toiseen EU- tai EFTA-maahan on kielletty. Hyödynnettäväksi tarkoitetun vaarallisen jätteen vientikielto koskee vientejä EU- ja OECD-maiden ulkopuolelle. Vihreän jätteen siirtoja hyödynnettäväksi OECD:n ulkopuoliseen maahan koskee asetus 1418/2007/EY (viimeisin muutos 733/2014/EY). Jätteen Basel- tai OECD-nimikkeeseen mukaan määräytyy, sovelletaanko jätteen vientiin kieltoa, lupamenettelyä, ns. vihreän jätteen siirtomenettelyä vai vastaanottomaan omia säädöksiä.





Vihreän menettelyn kiinteät muovijätteet voivat sisältää seuraavia muoveja tai muovisekoituksia sillä edellytyksellä, ettei niitä ole sekoitettu muuhun jätteesseen ja että ne on valmistettu tietyt laatuvaatimukset täyttäväksi:

- Halogenoimattomista polymeereistä ja kopolymeereistä koostuva muoviroimu (muun muassa eteeni, styreeni, polypropeeni, polyeteenitereftalaatti, akrylinitriili, butadieeni, polyasetaalit, polyamidit, polybuteenitereftalaatti, polykarbonaatit, polyeetterit, polyfenyleenisulfidit, akryylipolymeerit, alkaanit C10-C13, polyuretaani, polysiloksaanit, polymetyylimetakrylaatti, polyvinyylialkoholi, polyvinyylibutyaali, polyvinyyliasetaatti),
- kovetetut hartsijätteet ja kondensaatiotuotteet (muun muassa ureaformaldehydihartsit, fenoliformaldehydihartsit, melamiiniformaldehydihartsit, epoksihartsit, alkydihartsit, polyamidit),
- seuraavat fluoratut polymeerijätteet (prefluorieteeni/propeeni, perfluorialkoksialkaani: PFA, MFA, PVF ja PVDF).

Vihreän jätteen siirtomenettely ei edellytä lupaa toimivaltaisilta viranomaisilta vaan vaadittujen tietojen liittämistä jätesiiirron mukaan sekä sopimuksen laatimista jätteen viejä ja hyödyntäjän välille.

Jos muovijäte lakkaa olemasta jätettä EOW-kriteerien mukaisesti, ei sen siirtoonkaan enää sovelleta jätesiiroasetusta. Kansalliset EOW-kriteerit eivät kuitenkaan ole automaattisesti voimassa muissa maissa ja vientien yhteydessä tulee tarkistaa, hyväksyykö vastaanottavan maan jätesiiroviranomainen lähtömaan EOW –luokittelun.

7.1.3 Jätelain mukainen sivutuotemäärittely

Jätelain (646/2011) 3 §:ssä säädellään jätteen määrittelystä sivutuotteeksi. Sivutuote ei ole jätettä, eikä siihen siten sovelleta jätelain tai sen nojalla annettuja säännöksiä. Sivutuotteen on täytettävä ko. tuotetta koskevat tuotesääntelyn vaatimukset.

Sivutuotteen arviointikriteereitä ovat:

- Käytön varmuus eli materiaalille on olemassa olevaa käyttötarve ja kysyntää, voidaan käyttää samaan tarkoitukseen kuin vastaava tuote, ei edellytä pitkäaikaista varastointia
- Voidaan käyttää sellaisenaan tai tavanomaisen teollisen käytännön mukaan muunnettuna
- Syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana ja materiaalia ei ole tarve varastoida jatkoprosessointia varten
- Suunnitellun käyttötarkoituksen tulee olla laillinen.

Sivutuotteeksi määrittely voidaan tehdä toiminnanharjoittajan aloitteesta muun muassa ympäristöluvan käsittelyn tai päivityksen yhteydessä.





7.1.4 WEEE-direktiivi ja VNA sähkö- ja elektroniikkaromusta

Sähkö- ja elektroniikkalaitte-romudirektiivin 2012/19/EU (WEEE-direktiivi) tavoitteena on ehkäistä sähkö- ja elektroniikkalaiteromun syntymistä ja lisätä laitteiden uudelleenkäyttöä, romun kierrätystä ja muita hyödyntämistapoja. Suomessa direktiivi on saatettu kansalliseen lainsäädäntöön jätelailla (646/2011) sekä valtioneuvoston asetuksella sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta (519/2014).

Sähkö- ja elektroniikkalaitteet luokitellaan niistä annetun asetuksen liitteen 1 mukaisesti kymmeneen eri laiteluokkaan. Jokaista luokkaa koskevat hyödyntämis-, kierrätys- ja uudelleenkäyttötavoitteet, joiden saavuttamisesta tuottajien tulee huolehtia.

Kerätyn romun uudelleenkäyttö-, kierrätys- ja hyödyntämistavoitteet luokittain:

- luokan 1 (suuret kodinkoneet) ja luokan 10 (automaatit) hyödyntämistavoite on 80 % ja uudelleenkäyttö- ja kierrätystavoite 75 %;
- luokan 3 (tieto- ja teletekniset laitteet) ja luokan 4 (kuluttajaelektronikka) hyödyntämistavoite on 75 % ja uudelleenkäyttö- ja kierrätystavoite 65 %;
- luokan 2 (pienet kodinkoneet), 5 (valaistuslaitteet), 6 (sähkö- ja elektroniikkatyökälyt) ja 7 (lelut, vapaa-ajan- ja urheiluvälineet) ja 9 (tarkkailu ja valvontalaitteet) hyödyntämistavoite on 70 % ja uudelleenkäyttö- ja kierrätystavoite 50 %
- kaasupurkauslamppuromun uudelleenkäyttö- ja kierrätystavoite 80 %.

Soveltamisalan ulkopuolelle on jätetty hehkulankalamput ja sellaiset sähkö- ja elektroniikkalaitteet, jotka ovat osana muuntyyppistä laitetta. Vuonna 2018 soveltamisala laajenee lisää.

SER-laitteiden asianmukaisen käsittelyn tavoitteena on poistaa vaaralliset materiaalit kierrosta. Koska sähkö- ja elektroniikkalaitteet ovat keskeinen muovijätteen lähde, direktiivillä on vaikutuksia myös muovien kierrätykseen.

Direktiivissä esitetään vaatimuksia myös tuotesuunnittelulle, jotta SE-laitteissa olevien eri muovimateriaalia sisältävien komponenttien kirjo vähenisi. Direktiivi määrää myös bromattuja palonestoaineita sisältävien muovien talteenotosta erilliskeräyksen yhteydessä loppukäsittelyä varten. On kuitenkin esitetty, että kierrätykseen päätyvien bromattujen palonestoaineiden osuudet kierrätettävissä muovissa ovat vähäiset. End of waste –raportin mukaan kuluttajaelektronikassa ja sähkölaitteissa olevat polybromatun bifenyylin kokonaispitoisuus ei ylitä 0,1%. (JRC 2014). Tarkkaa käsitystä asiasta ei kuitenkaan ole. Myllymaan ym. (2015) POP-yhdisteitä (Persistent organic pollutant) koskevan selvityksen mukaan POP-yhdisteillä saastuneiden laitteiden osuudesta on vaikea antaa arviota. Laiteluokat, joissa kiellettyjä yhdisteitä esiintyy, tunnetaan. Korkeita pitoisuuksia on mitattu etenkin kuvaputkitelevisioiden ja tietokoneiden monitoreiden koteloissa. Myös muissa kuumenevissä konttori- ja kodinelektroniikkalaitteissa on havaittu yli 1000 mg/kg:n pitoisuuksia kiellettyjä yhdisteitä.





Samat laitteet sisältävät myös muita bromattuja palonestonaineita. (Myllymaa ym. 2015).

7.1.5 Romuautodirektiivi ja VNA romuajoneuvoista

EU:n romuautodirektiivin (2000/53/EY) mukaan romuajoneuvon painosta (mukaan lukien muovit) on käytettävä uudelleen tai hyödynnettävä vähintään 95 prosenttia vuoteen 2015 mennessä. On arvioitu, että muovien kierrätyksen kasvattaminen on edellytys tavoitteen saavuttamiseksi.

Romuautodirektiivi on toimeenpantu valtioneuvoston asetuksella (123/2015) romuajoneuvoista sekä vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta ajoneuvoissa. Asetuksen mukaan ajoneuvon tuottajalla on velvollisuus järjestää romuajoneuvojen jätehuolto ja täyttää romuajoneuvojen käsittelyä koskevat vähimmäisvaatimukset. Asetuksessa säädetään myös Suomen markkinoille tuotavien ajoneuvojen ominaisuuksista koskevista vaatimuksista, kuten eräiden vaarallisten aineiden käyttöä koskevia rajoituksia.

Tuotteeksi luokiteltua kierrätysmuovia koskeva lainsäädäntö

Jos materiaali lakkaa olemasta jätettä, sitä koskevat seuraavat säädökset tuotteiden/raaka-aineiden markkinoinnista sekä käytöstä tuotteen raaka-aineena.

7.1.6 RoHS-direktiivi

Uusittu RoHS-direktiivi (Restriction of Hazardous Substances, 2011/65/EU) tuli voimaan heinäkuussa 2011 ja se saatettiin kansalliseen lainsäädäntöön kesäkuussa 2013, jolloin julkaistiin laki vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa (387/2013) sekä ympäristöministeriön asetus (419/2013), jolla käyttörajoituksista ja eräistä poikkeuksista on säädetty tarkemmin. RoHS –direktiivi säätelee vaarallisten aineiden käytön rajoittamista sähkö- ja elektroniikkalaitteissa.

RoHS-direktiivi rajoittaa kadmiumin, lyijyn, elohopean, kuudenarvoisen kromin, polybromattujen bifenyyliden (PBB) ja polybromattujen difenyylietterien (PBDE) käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. Direktiivin tavoitteena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä sekä vähentää jätteiden haitallisuutta. Lisäksi tavoitteena on edistää sähkö- ja elektroniikkalaiteromun hyödyntämistä ja turvallista loppukäsittelyä.

Direktiivin vaatimukset tulevat siirtymäaikojen jälkeen koskemaan kaikkia sähkö- ja elektroniikkalaitteita, joita ei ole erikseen rajattu soveltamisalan ulkopuolelle. Direktiivin vaatimukset koskevat mm. kodinkoneita, IT-laitteita, kuluttajaelektroniikkaa, valaisimia, sähkökäyttöisiä työkaluja, vapaa-ajan laitteita, leluja, terveydenhuollon laitteita, tarkkailu- ja valvontalaitteita ja automaatteja.

RoHS-direktiivin mukaan sähkö- ja elektroniikkalaitteet luokitellaan 11 luokkaan:





1. suuret kodinkoneet
2. pienet kodinkoneet
3. tieto- ja teletekniset laitteet
4. kuluttajaelektronikka
5. valaistuslaitteet
6. sähkö- ja elektroniikkatyökalut
7. lelut, vapaa-ajan- ja urheiluvälineet
8. lääkinnälliset laitteet
9. tarkkailu- ja valvontalaitteet, mukaan lukien teollisuuden tarkkailu- ja valvontalaitteet
10. automaattit
11. muut sähkö- ja elektroniikkalaitteet, jotka eivät kuulu edellä mainittuihin luokkiin.

Laiteluokkien 1–8 ja 10 osalta direktiivin vaarallisten aineiden rajoitukset ovat koskeneet markkinoille saatettuja laitteita 1.7.2006 lähtien. Soveltamisalan uusille laiteluokille on direktiivissä määritelty siirtymäajat.

Vaaralliset aineet ja niiden enimmäispitoisuudet homogeenisessä materiaalis- sa on määritelty direktiivin liitteessä II. Tällä hetkellä rajoitetut aineet ja niiden enimmäispitoisuudet ovat taulukon 9 mukaiset.

Taulukko 9. RoHS-direktiivin liitteessä II määritellyt vaaralliset aineet ja niiden enimmäispitoisuudet sähkö- ja elektroniikkalaitteiden homogeenisessä materi- aalissa.

Vaarallinen aine	Enimmäispitoisuus, p-%
Kadmium, Cd	0,01
Lyijy, Pb	0,1
Elohopea, Hg	0,1
Kuudenarvoinen kromi, Cr6+	0,1
Polybromibifenyylit, PBB	0,1
Polybromidifenyylieetterit, PBDE	0,1

Homogeenisellä materiaalilla tarkoitetaan direktiivissä kauttaaltaan tasakoos- teista materiaalia tai eri materiaalien yhdistelmästä muodostuvaa materiaalia, jota ei voida jakaa tai erottaa eri materiaaleiksi mekaanisin toimin.

Direktiivin liitteissä III ja IV on myös määritelty erityiset käyttötarkoitukset, jois- sa vaarallisten aineiden käyttö on vapautettu esimerkiksi tieteellisistä tai tekni- sistä syistä.

7.1.7 REACH ja CLP säädökset

REACH-asetus (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, 1907/2006) on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kemi-





kaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista. Asetuksen tavoitteena on varmistaa terveyden- ja ympäristönsuojelun korkea taso, tehostaa EU:n kemianteollisuuden kilpailukykyä sekä taata tavaroiden vapaa liikkuvuus Euroopan unionin sisämarkkinoilla.

REACH-asetus asetetaan teollisuudelle vastuuta riskeistä, joita kemikaalit saattavat aiheuttaa terveydelle ja ympäristölle. Esimerkiksi vastuu kemikaalien turvallisuuden todistamisesta siirtyy viranomaisilta teollisuudelle. Asetusta sovelletaan aineisiin sellaisenaan sekä aineisiin seoksissa ja esineissä.

REACH-asetuksen kannalta oleellinen on myös CLP-asetus (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures, EY1272/2008), jolla säädellään muun muassa luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista. REACH- ja CLP-asetuksen toimivaltaisena viranomaisena Suomessa toimii Tukes. Asetuksissa veloitetaan kansallisia toimivaltaisia viranomaisia ylläpitämään kansallista neuvontapalvelua, jota kautta yritykset voivat muun muassa esittää kysymyksiä asetuksen soveltamisesta.

Aine tai seos, jonka jätetestatus on päättynyt, on REACH-asetuksen soveltamisalueen piirissä. Muoville lankeavia REACH-vaatimuksia on koostettu Merta ym. 2012 raportissa. Merta ym. (2012) mukaan polymeerit (sekä neitseelliset että uusiopolymeerit) muodostavat REACH-asetuksessa poikkeuksen, eli jos tuote on puhdas polymeeri, sitä ei tarvitse rekisteröidä. Sen sijaan monomeerit, joista polymeeri koostuu, tulee olla rekisteröityjä. Myöskään jätteestä valmistettuja aineita (esim. uusiomuovin pääpolymeeri ja lisäaineet, jotka eivät muutu prosessoinnissa) ei tarvitse rekisteröidä, jos joku on jo aikaisemmin ne rekisteröinyt. Sen sijaan kaikki muut REACH:n veloitteet tulevat sovellettavaksi myös jätteestä valmistetuille aineille ja seoksille. Aineiden ja seosten lisäksi myös tuotteet, jotka sisältävät uusiomuoveja, ovat esineitä, jotka kuuluvat REACH:n soveltamisalueeseen. (ECHA 2010, Villanueva ja Eder 2014, Merta ym. 2012, Salonen 2011, julk: Merta ym. 2012)

ECHA:n ohjeen (2010) mukaan muovinkierrättäjän tulee tunnistaa kaikki tuottamansa materiaalin tarkoituksella sisältämät aineet, jotka ovat olleet läsnä alkuperäisessä jättemateriaalissa. Tällöin lisäaineita ei voida pitää epäpuhtauksina. Tällainen tapaus on esimerkiksi tietyn muovityypin selektiivinen kierrätys, jossa myös lisäaineet otetaan tarkoituksellisesti talteen (puhutaan eri aineiden muodostamasta seoksesta). Tyypillisesti lisäaineita ei kierrätetä tarkoituksellisesti uusiomateriaaliin. Lisäaineiden ohella uusiomateriaali voi sisältää muitakin tahattomia epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet katsotaan aineen osaksi, ja niiden maksimimäärä on 20 %. Epäpuhtauksia ei tarvitse rekisteröidä, sillä monomeerien rekisteröinti kattaa mahdolliset muoviin päätyvät epäpuhtaudet. Mikäli materiaali sisältää yli 20 % epäpuhtauksia, ne tulee nähdä seoksen yhtenä aineena, vaikka esiintyisivätkin seoksessa tahattomasti. Joka tapauksessa kierrättäjällä tulee olla tieto kierrätysmateriaalin sisältämisestä vaarallisista ainesosista tai epäpuhtauksista. Kierrättäjällä olevia tietoja prosessoitavan muovimateriaalin alkuperästä voidaan käyttää määrittettäessä, ovatko kierrätysmateriaalin sisältämät ainesosat epäpuhtauksia vai erillisiä aineita. (ECHA 2010)





Uusiomuovien sisältämän pääpolymeerin osalta REACH:n velvoitteiden täyttäminen on suhteellisen suoraviivaista, mikäli kierrätettävän polymeerin monomeerit on jo rekisteröity. Esineessä (article) eli esimerkiksi valmiissa pakkauksessa EU-alueelle tuotujen monomeerien kohdalla rekisteröintiä ei kuitenkaan välttämättä ole tehty, sillä REACH:n rekisteröintivelvoite koskee vain aineita (substances). Myös lisäaineiden osalta tilanne saattaa olla haastava, sillä jätemuovien sisältämä lisäaineiden kirjo saattaa olla hyvinkin laaja, ja tulkinta siitä, onko kysymys epäpuhtaudesta vai varsinaisesta aineesta, ei ole aina yksiselitteinen. Lisäksi kierrättäjiä koskee aina REACH:n perusteella mm. velvoite käyttöturvallisuustiedotteen toimittamisesta. (Villanueva ja Eder 2014, Merta ym. 2012).

Ohjeistusta käyttöturvallisuustiedotteiden laatimiseksi kierrätysmuoveille on luonnosteltu, mutta työ on vielä kesken ECHA:ssa. Muovialan eurooppalaiset järjestöt ovat työskennelleet vuosia muovinkierrätykseen liittyvien REACH-velvoitteiden selvittämiseksi ja käytännön toimintaohjeiden tuottamiseksi.

7.1.8 Säädökset elintarvikekosketuksessa olevista muoveista

Elintarvikekontaktimateriaaleja koskevat säädökset on otettava huomioon muovipakkausten kierrätyksessä, mikäli aiotaan hyödyntää uusiomateriaalia tuotteissa, jotka voivat olla kosketuksessa elintarvikkeen kanssa. Toistaiseksi kierrätettyä muovia on käytetty hyvin vähän elintarvikepakkauksissa, Suomessa lähinnä PET juomapullojen materiaalina. Tilanne on kuitenkin muuttumassa Euroopassa.

Elintarvikekontaktimateriaalilla tarkoitetaan materiaaleja ja tarvikkeita, jotka jo ovat kosketuksessa (suoraan tai välillisesti) tai jotka on tarkoitettu tulemaan kosketukseen elintarvikkeen kanssa. Tällaisia ovat esimerkiksi elintarvikepakkaukset, ruokailuastiat ja -välineet, keittiövälineet, kahvin- ja vedenkeitimet, elintarviketeollisuuden laitteet ja kertakäyttökäsineet. (Evara 2010).

Suomen kontaktimateriaaleja koskeva lainsäädäntö on yhteneväinen EU-lainsäädännön kanssa lukuunottamatta kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä 268/1992 (elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista tarvikkeista liukenevat raskasmetallit). Kontaktimateriaaleihin liittyvää riskien arviointia tekee EU-tasolla Euroopan Elintarvikeeturvallisuusviranomainen EFSA.

EY:n asetuksessa 1935/2004 säädetään yleisistä vaatimuksista elintarvikekontaktimateriaaleille. Asetuksen mukaan materiaaleista ja tarvikkeista ei saa tavallisissa tai ennakoitavissa käyttöolosuhteissa siirtyä ainesosia elintarvikkeeseen sellaisia määriä, jotka

- voisivat vaarantaa ihmisen terveyden, tai
- aiheuttaa sopimattomia muutoksia elintarvikkeen koostumukseen, tai
- aiheuttaa elintarvikkeen aistinvaraisten ominaisuuksien heikentymistä.

Elintarvikekontaktikäyttöön sallittuja muoveja kutsutaan FCM-muoveiksi (Food Contact Materials) ja niitä koskee komission asetus 10/2011 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista.





Kierrätysmuovista valmistettuja elintarvikekontaktimateriaaleja koskee puolestaan EY:n asetus 282/2008. Asetuksen mukaan elintarvikekontaktiin tarkoitetuissa materiaaleissa ja tarvikkeissa käytettävä uusiomuovi saa olla vain FCM-muovia. Elintarvikekontaktiin tulevia uusiomuovimateriaaleja ja -tuotteita saa tuottaa vain kierrätysprosesseissa, joille on myönnetty Euroopan komission hyväksyntä. Hyväksyntää haetaan EFSA:sta kansallisen yhteyshenkilön kautta. EFSA suorittaa kierrätysprosessiin liittyvän riskinarvioinnin ja arvioi, täyttääkö prosessi asetuksen 282/2008 vaatimukset. Lopullisen hyväksynnän prosessille myöntää komissio EFSA:n lausunnon pohjalta. Myös EU:n ulkopuolissa maissa toimivien yritysten tulee hakea hyväksyntää, mikäli ne asettavat kierrätysmuovista valmistettuja, elintarvikekontaktiin tarkoitettuja tuotteita EU-markkinoille. (EFSA 2010).

7.1.9 Säädökset pysyvistä orgaanisista yhdisteistä (POP)

POP-yhdisteillä (Persistent Organic Pollutant) tarkoitetaan yhdisteitä, jotka ovat erittäin pysyviä, kaukokulkeutuvat kauas päästölähteestä, kertyvät eliöihin ja voivat aiheuttaa jo pieninä pitoisuuksina vakavia haittoja ihmisen terveydelle tai ympäristölle. Useimpia POP-yhdisteitä on käytetty erilaisina teollisuuskemikaaleina, palonestoaineina tai torjunta-aineina, ja osa on epäpuhtauksia tai syntyy tahattomasti mm. palamisen yhteydessä.

POP-yhdisteitä koskeva Tukholman sopimus lopettaa tai rajoittaa voimakkaasti sopimuksen piiriin kuuluvien POP-yhdisteiden tuotantoa, kauppaa, käyttöä ja päästöjä. Nykyisin sopimus kattaa 23 ainetta. Euroopan Unionissa Tukholman sopimuksen velvoitteet ovat voimassa POP-asetuksella (EY) 850/2004.

Asetus on sellaisenaan voimassa Suomessa ja POP-yhdisteiden rajoittamisen kannalta tärkein lainsäädännöllinen instrumentti. POP-asetus sisältää mm. säännöksiä koskien kemikaalien tuotantoa, markkinoille laskua ja käyttöä, kemikaalien varastointia sekä jätteiden hallintaa. POP-asetuksen jätehuoltoon koskevan 7 artiklan mukaan jätteen tuottajien ja haltijoiden on pyrittävä estämään jätteen saastuminen asetuksen liitteessä IV mainituilla aineilla.

Komission asetuksella (EU) 1342/2014 säädettiin uusille POP-yhdisteille jäte-rajat. Näitä on sovellettu 18.6.2015 alkaen. Uudet raja-arvot asetettiin mm. tetra-, penta-, hepta- ja heksabromidifenyylieetterille (BDE). Raja-arvoilla määritellään kullekin aineelle pitoisuusraja, jonka ylittyessä jäte on käsiteltävä POP-jätteenä. Tällaista jätettä ei saa kierrättää, vaan jäte on tuhottava tai muunnettava palautumattomasti siten, ettei se sisällä enää POP-yhdisteitä. (Myllymaa ym. 2015).

HBCD on lisätty Tukholman sopimukseen vuonna 2013, mutta EU ei ole vielä pannut rajoitusta toimeen. HBCD:tä koskevat rajoitukset annettaneen vuoden 2015 aikana REACH-asetuksen lupamenettelyn siirtymäajan umpeuduttua. Tällöin myös HBCD:lle säädetään jäteraja-arvot. (Myllymaa ym. 2015).

Uudistetut raja-arvot saattavat asettaa tarpeen uusille toimintatavoille POP-yhdisteitä sisältävien jätteiden jätehuollossa. Esimerkiksi bromattujen palonsuoja-aineiden ja muiden haitallisten POP-yhdisteisiin kuuluvien palonsuoja-





aineiden esiintyvyys jätteissä voi muuttaa jätteiden esikäsittely-, kierrätys-, hyödyntämis- ja loppukäsittelyprosesseja. SER-, ELV- ja rakennus- ja purku-jätteiden sisältämät muoviset jätejakeet on tunnistettu jätteiksi, jotka todennäköisesti sisältävät rajoitettuja POP-yhdisteitä (Myllymaa ym. 2015).

7.2 Muita rajoituksia

Kierrätysmuovin käytölle voi olla erilaisia rajoituksia ja vaatimuksia sovelluskohteesta riippuen. Muovien kierrätyksen edistämiseksi ja tapauskohtaista tarkastelua helpottamaan on laadittu eurooppalaisia standardeja mm. muovien, muovipohjaisten materiaalien ja tuotteiden terminologiaan, testimenetelmiin ja spesifikaatioihin. Rajoitukset kierrätysmuovin käytölle tuotteen valmistuksessa voivat aiheutua kierrätysmuovin laadusta ja sen sisältämistä haitta-aineista, kierrätysmuovin alkulähteistä, tuotteen valmistusprosessin ja teknologian vaatimuksista, materiaalia koskevan tiedon puutteista. JRC:n tekemässä End-of-waste kriteerejä koskevassa selvityksessä (Villanueva ja Eder 2014) on laadittu ehdotuksia end-of-waste kriteereiksi muovin kierrätystä helpottamaan. End-of-waste määrittelyn lisäksi kriteerejä voitaisiin käyttää hyödyksi silloinkin, kun on kyse muovijätteen kierrätyksestä.

7.3 Haasteita muovin tuotanto- ja kierrätysketjulle

EU komissio julkisti joulukuussa 2015 ehdotuksensa Kiertotalouspaketiksi, jossa mm. ehdotetaan eri jätteitä koskevien kierrätystavoitteiden nostamista nykyisestä. Yhdyskuntajätteiden kierrätystavoitetta esitetään nostettavaksi 65 %:iin vuonna 2030. Muovipakkausten kierrätykselle ja uudelleenkäytön valmistelulle ehdotetaan tavoitteeksi 55 % vuoteen 2025. Näiden tavoitteiden saavuttaminen ja Kiertotalouden toteutuminen edellyttävät muutoksia kaikilla toimialoilla, niin myös muovien ja muovituotteiden parissa toimivilla.

Kesslerin (2015) mukaan muovipakkausten kierrätysmäärien nosto 34 % aina 50 % asti Euroopassa vaatii:

- 50 muovipakkausten lajitteluun keskittyvää tehdasta lisää (kapasiteetti 80 kt/vuosi)
- 140 muovin kierrätykseen keskittyvää yritystä lisää (kapasiteetti 25 kt/vuosi)
- 50 uutta kierrätysmuovin käyttökohdetta (kapasiteetti 50 kt/vuosi)

Tulevaisuudessa muoviteollisuuden sekä muiden muovien tuotteissaan käyttävien tuotannonalojen tulisi kiinnittää huomiota tuotteen koko elinkaareen ja siten myös tuotteen kierrätettävyyteen käytöstä poiston jälkeen. Materiaalien valinnassa tulisi ottaa huomioon niiden kierrätettävyyden tuotteen elinkaaren loppupäässä. Tuotteen sisältämien muovilaatujen määrää tulisi vähentää ja suosia yhtä muovilaatua sisältäviä tuotteita tai keskenään yhteensopivia muovilaitteita, jotka voitaisiin kierrättää yhdessä. Lisäaineiden käyttöä tulisi harkita samoilla periaatteilla. Erilaisilla materiaalien tunnistekoodien käytöllä voitaisiin helpottaa niiden tunnistamista sekä automatisoiduilla lajittelulinjoilla että manuaalisessa erottelussa.





Muovin kierrätettävyyden lisäämiseksi tulisi (REMIX seminaarissa Brysselissä 27.3.2015 esiin nousseita ehdotuksia):

- Vähentää haitallisten aineiden sekä lisäaineiden pitoisuuksia muoveissa
- Poistaa PVC käytöstä vaiheittain
- Vähentää kierrätysmuovituotteiden sekundäärisiä käyttökohteita ja markkinoida kierrätysmuovia suoraan korkealaatuisiin käyttökohteisiin
- Korvata kierrätykseen soveltumattomat muovit kierrätettävillä muoveilla
- Luopua muoveista, jotka ovat haitallisia kierrätykselle
- Tuotteen tarkka kemiallinen sisältö tulisi olla nähtävillä

Tuotteen suunnittelussa voitaisiin lähtökohtana pitää valmistusta kierrätysmuovista. Hyvänä esimerkkinä tällaisesta tuotteen elinkaaren loppupään huomioivasta tuotteesta on norjalainen HÅG tuoli, joka on valmistettu 100 % kierrätystä polypropeenista (68 % kotitalousperäistä 32 % teollisuusperäistä). Tuote voitti EPRO:n vuosittain järjestämän " Best Recycled Plastic Product" kilpailun vuonna 2015 (Best Recycled Plastic...2015). Tuolin suunnittelussa on kiinnitetty huomiota tuotteen helppoon purkamiseen, jolloin eri osien kierrättäminen on tehty mahdollisimman helpoksi. Erilaiset pikaliitokset helpottavat eri materiaalien erottelua ja tuotteen purkamista huomattavasti verrattuna valetuihin liitoksiin tai liimoihin (Best Recycled Plastic...2015).

Nykyinen trendi valmistaa ohuempia muovituotteita aiheuttaa myös omat tekniset vaikeutensa muovien kierrätykselle: ohuet muovit ovat vaikeampia leikata ja pienentää, sisältävät yleensä enemmän kontaminaatiota (suurempi pinta-ala) ja vaativat tästä syystä intensiivisempää pesua. Ohuempien tuotteiden kiviäus vaatii myös enemmän energiaa. Ohuemmat tuotteet koostuvat usein useammasta kerroksesta ja/tai useammasta muovilaadusta, mikä vaikeuttaa tuotteen kierrätystä. Tuotteiden käsittely ja kuljetus koon pienentämisen jälkeen on haastavampaa (EuPR 2010). RecyClass (What is RecyClass 2015) on Plastics Recyclers European kehittänyt työkalu muovipakkauksien kierrätettävyyden arviointiin. Työkalun avulla saa myös vinkkejä pakkauksen kierrätettävyyden parantamiseksi.

Hiipakan (2011) tekemän kyselyn sekä tämän selvityksen ohessa tehdyn pienimuotoisen yrityskyselyn mukaan suomalaisissa yrityksissä ollaan kiinnostuneita ja yritysten olisi mahdollista lisätä uusiomuovien käyttöä tuotannossaan, kunhan materiaalien valmistajakohtaiset laatuvaatimukset täyttyvät. Yritykset vaativat, että käytettävän uusiomuovin tulee olla puhdasta ja tasalaatuista.

Kierrätysmuovien hinta korreloi neitseellisen muovin kanssa, joka on taas suoraan riippuvainen öljyn hinnasta. Kierrätysmuovien hintaa nostaa lisäksi käytöstä poiston jälkeen tarvittava prosessointi materiaalin saamiseksi hyödyntämiskelpoiseksi. Taloudelliset kannustimet, kuten verohelpotukset, voisivat nopeuttaa kierrätysteollisuuden kehitystä. European Federation of Waste Management and Environmental Services FEAD ehdottaa esimerkiksi arvolisäveron alennusta kierrätystuotteille. Lisäksi markkinoille tarvitaan kierrätystuotteiden kysynnän kasvua, esimerkiksi julkisten hankintojen vetämänä.





8 Lähteet

Aaltonen 2015. Kirkon Ulkomaanapu. Henkilökohtainen tiedonanto sähköpostilla 5.6.2015.

ACEA 2013. The automobile industry pocket guide 2014-2015.
<http://www.acea.be/statistics/tag/category/eu-production>. [Luettu 15.9.2015]

Al-Salem, S.M., Lettieri, P. & Baeyens, J. 2009. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management* 29:2625–2643.

Anzano, J., Casanova, M. E., Bermúdez, M. S. & Lasheras, R. J. 2006. Rapid characterization of plastics using laser-induced plasma spectroscopy (LIPS). *Polymer Testing* 25:623–627.

Astrup, T., Fruergaard, T. & Christensen, T.H. 2009. Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research* 27:763–772.

Beigbeder, J., Perrin, D., Mascaro, J-F. & Lopez-Cuesta J-M. 2013. Study of the physico-chemical properties of recycled polymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE) sorted by high resolution near infrared devices. *Resources, Conservation and Recycling* 78:105–114.

Best Recycled Plastic ... 2015. EPRO. <http://bestproduct.epro-plasticsrecycling.org/roll/8?name=2015>. [Luettu 11.08.2015]

Boldizar, A., Jansson, A., Gevert, T. & Moëller, K. 2000. Simulated recycling of post-consumer high density polyethylene material. *Polymer Degradation and Stability* 68:317-319.

Brandrup, J. 1996. *Recycling and Recovery of Plastics*. München, Hanser Verlag. 893 s.

Brunner, S., Fomin, P. & Kargel, Ch. 2015. Automated sorting of polymer flakes: Fluorescence labeling and development of a measurement system prototype. *Waste Management* 38:49–60.

Bruno, E. A. 1997. Automated sorting of plastics for recycling. 1-12 s.

Bus Boarder 2015. Zicla. <http://en.zicla.com/products/74/bus-boarder-boarding-plataform-accessibility>. [Luettu 11.08.2015]

Christensen, T.H. & Fruergaard, T. 2010. Recycling of Plastic. In: Christensen, T.H. (Ed.) *Solid Waste Technology & Management*. John Wiley & Sons, s. 220-233.

Delgado, C. & Stenmark, Å., 2005. Technological Reference Paper on Recycling Plastics, VERC, s. 1-74.





Delgado, C., Barrietabeña, L. & Salas, O. 2007. Assessment of Environmental Advantages and Drawbacks in Existing Polymer Recovery Systems. IPTS, JRC Scientific and Technical Reports. EUR 22939 EN - 2007.

Dimension Polymers 2015. <http://dimensionpolymers.com/> [Luettu 1.2.2016]

Dodbiba, G. & Fujita, T. 2004. Progress in separating plastic materials for recycling, Physical Separation in Science and Engineering, 3–4:165–182.

ECHA 2010. Jätettä ja hyödynnettäviä aineita koskevat toimintaohjeet. Versio 2, toukokuu 2010. Euroopan kemikaalivirasto. www-dokumentti.
https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/waste_recovered_fi.pdf

EFSA 2010. Questions and answers about Recycling Processes. Version 1.0, 6.12.2010.
http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/docs/quanda_recycling_processes_en.pdf

Ekopiste pilotti 2015. <http://www.pyr.fi/tiedote-pyr-ekopistepilotti-touko13.html>. [Luettu 3.9.2015]

Engelmann, M. 2015. Zero Plastics to Landfill by 2025 – Plastics in the Circular Economy, REMIX Conference (power point show), 27.3.2015, Brysselissä

EuPR 2010. How to increase the mechanical recycling of post-consumer plastics. Brussels 2010, European Plastics Recyclers, s. 1-22.

Euroopan komissio 2013. Vihreä kirja. Ympäristössä olevaa muovijätettä koskevasta eurooppalaisesta strategiasta. COM(2013) 123 final. Brussels, 7.3.2013. <http://docplayer.fi/5404657-Vihrea-kirja-ymparistossa-olevaa-muovijatetta-koskevasta-eurooppalaisesta-strategiasta.html>

European Commission (DG ENV) 2011. Plastic waste in the environment. Revised final report. Specific contract 07.0307/2009/545281/ETU/G2 under Framework contract ENV.G.4/FRA/2008/0112. April 2011.

Evira 2010.
<http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/elintarvikkeet/elintarvikekontaktimateriaalit.html>

Falconer, A. 2003. Gravity separation: old technique/new methods. Physical Separation in Science and Engineering, 1:31–48.

F-Board 2015. <http://www.fboard.co.uk/>. [Luettu 11.8.2015]

Fortelny, I., Michalkova, D. & Krulis, Z. 2004. An efficient method of material recycling of municipal plastic waste, Polymer Degradation and Stability 85: 975-979.

Fråne, A., Stenmarck, Å., Sörme, L., Carlsson, A., Jensen, C. 2012. Kartläggning av plastavfallsströmmar i Sverige. SMED Rapport Nr 108 2012.





<http://www.smed.se/wp-content/uploads/2012/08/Slutrapport4.pdf>. [Accessed 5.2.2016]

Gent, M. R., Menendez, M. & Diego, I. 2009. Recycling of plastic waste by density separation: prospects for optimization. *Waste Management & Research* 27:175–187.

Global Environment Centre Foundation 2011. Recycling of waste plastic containers and packaging from households.

http://nett21.gec.jp/ECotowns/data/et_a-01.html. [Luettu 1.2.2016]

Hammond, R. 2007. *The world in 2030*. Editions Yago, Zarautz. 318 s.

Harper, C. 2006. *Handbook of Plastics Technologies: The complete guide to properties and performance*, New York 2006, McGraw-Hill.

Hiipakka, M. 2011. *Muovien kierrätys*, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Hopewell, J., Dvorak, R. & Kosior, E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of Royal Society*. 364:2115-2126.

Infrarakentamisen ratkaisut 2015. Meltex Oy.

<http://www.meltex.fi/tuotteet/infra-maa-ja-vesirakentaminen.html>. [Luettu 15.9.2015]

Johansson, J.-E. 2007. Compelling facts about plastics 2007. *PlasticsEurope*.

<http://www.plasticseurope.org/Content/Default.asp?PageID=957>

Järvinen, P. 2008. *Uusi muovitieto*. Muovifakta Oy. Porvoo. WS Bookwell Oy.

Kessler, A. 2015. Plastics Recycling - How to stimulate investments in plastics recycling in Europe? REMIX Closure Conference, 27.3.2015, Brussels.

Kettunen, J. & Meristö, T. 2007. Pakkausskenaariot – Haasteita ja mahdollisuuksia pakkausliiketoiminnan pitkän aikavälin menestyksellisen kehittämisen turvaamiseksi. TEKES. *Teknologiakatsaus* 215/2007.

Kotitalouksien sekajätteen koostumus 2016. JLY ry.

<http://www.jly.fi/jateh71.php?treeviewid=tree2&nodeid=71>. [Luettu 2.2.2016]

Kreiger, M.A., Mulder, M.L., Glover, A.G. & Pearce, J.M. 2014. Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament, *Journal of Cleaner Production* 70:90-96.

Kärhä, V. 2015. *Muoviteollisuus ry*. Henkilökohtainen tiedonanto sähköpostilla 22.4.2015

Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N. & Brandt, N. 2010. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective, *Resources, Conservation and Recycling* 55:246–259.





- Lehtonen, S. & Wiik, C. 2015. Loppuraportti: Orgaanisia epäpuhtauksia sisältävien teollisten kalvomuovien pesukokeilu ja kierrätysprosessin kehitys. Ekokem Oyj. 30.11.2015.
- Lei, B. & Myllylä, E. 2014. Plastic recycling in China. Julkaisematon harjoitustyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- Leppänen, M. 2015. Tampereen teknillinen yliopisto. Henkilökohtainen tiedonanto sähköpostilla 29.5.2015
- Liikennevirasto 2011., Kevennysrakenteiden suunnittelu - Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikennevirasto 5/2011.
- Littner, A. & Frerejean, A. 2015. The technological challenge for mixed plastics recycling. REMIX Conference 27.3.2015 Brysselissä
- Luzuriaga, S., Kovarva, J. & Fortelny, J. 2006. Degradation of pre-aged polymers exposed to simulated recycling: Properties and thermal stability, *Polymer Degradation and Stability* 91:1226-1232
- Mancini, S.D., Schwartzman, J. A. S., Nogueira, A. R., Kagohara, D. A. & Zanin, M. 2010. Additional steps in mechanical recycling of PET. *Journal of Cleaner Production* 18: 92–100.
- Manrich, S. & Santos, A. 2009. *Plastic Recycling*. New York, NY, USA: Nova Science Publishers, Inc.
- Maris, E., Aoussat, A., Naffrechoux, E. & Froelich, D. 2012. Polymer tracer detection systems with UV fluorescence spectrometry to improve product recyclability. *Minerals Engineering* 29:77–88.
- Marmax Recycled Products 2015. <http://www.marmaxproducts.co.uk>. [Luettu 18.8.2015]
- Merta, E., Mroueh, U.-M., Meinander, M., Punkkinen, H., Vähä-Nissi, M. & Kortet, S. 2012. Muovipakkausten kierrätyksen edistäminen Suomessa. TEM raportteja 11/2012.
- Michaud, J.-C., Farrant, L., Jan, O., Kjar, B., Bakas, I. 2010. Environmental benefits of recycling - 2010 update. Final report. WRAP. http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Environmental_benefits_of_recycling_2010_update.3b174d59.8816.pdf. [Luettu 11.12.2016].
- Model for the assessment of future plastic waste amounts –Finland and Tampere 2014. Plastic zero – Public Private Cooperations for Avoiding Plastics as a Waste. http://www.plastic-zero.com/media/58307/report_wastemodel_finland.pdf. [Luettu 11.1.2016]
- Moliis, K., Teerioja, N. & Ollikainen, M. 2009. Ennuste yhdyskuntajätteen kehityksestä vuoteen 2030. University of Helsinki Department of Economics and Management Discussion Papers n:o 41.





Muoviteollisuus ry 2014. Muovikomposiittien kierrätys, 21.10.2014.

<http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/julkaisukirjasto/> [Luettu 18.8.2015]

Myllymaa, T. (toim.), Moliis, K., Häkkinen, E. & Seppälä, T. 2015. Pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP) esiintyvyys, tunnistaminen ja erottaminen muovijätteistä. Ympäristöministeriön raportteja 25/2015.

<http://hdl.handle.net/10138/157416>

Najafi, S. K., Elham Hamidinia, E. & Tajvidi, M. 2006. Mechanical Properties of Composites from Sawdust and Recycled Plastics. *Journal of Applied Polymer Science* 5:3641-3645.

Oblak, P., Gonzalez-Gutierrez, J., Zupančič, B., Aulova, A. & Emri, I. 2015. Processability and mechanical properties of extensively recycled high density polyethylene, *Polymer Degradation and Stability*.

Pakkausjätetilastot 2015. http://www.ymparisto.fi/FI/Kartat_ja_tilastot/Jatetilastot/Tuottajavastuun_tilastot/Pakkausjätetilastot.

[Luettu 11.08.2015]

Paul, E., Wolff, D. B, Ochoa, J. C. & da Costa, R. H. R. 2007. Recycled and virgin plastic carriers in hybrid reactors for wastewater treatment. *Water Environment Research* 7:765-774.

Pfaendner, R. 2006. How will additives shape the future of plastics?, *Polymer Degradation and Stability* 91:2249-2256.

PlasticRoad 2015. VolkerWessels.

<http://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad>. [Luettu: 11.08.2015]

Plastics Europe 2007. The World in 2030 –Summary and Initial Industry Response.

Plastics Europe 2013. Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Saatavissa:

<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?Page=DOCUMENT&FoIID=2> [Luettu 10.8.2015]

Plastics Europe 2015. Plastics – the Facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Saatavissa:

<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-20142015.aspx?Page=DOCUMENT&FoIID=2> [Luettu 10.8.2015]

Rahimi, M., Esfahanian, M. & Moradi, M. 2014. Effect of reprocessing on shrinkage and mechanical properties of ABS and investigating the proper blend of virgin and recycled ABS in injection molding. *Journal of Materials Processing Technology* 214:2359–2365.

Rajakumar, K., Sarasvathy, V., Thamarai Chelvan, A., Chitra, R. & Vijayakumar, C.T., 2009, Natural Weathering Studies of Polypropylene, *J Polym Environ* 17:191–202.





Reinforced Plastics, Volume 50, Issue 8, September 2006, Pages 71–72. :
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361706711018>. [Luettu
1.2.2016]

Resource efficient recycling... 2013. Resource efficient recycling of plastic and
textile waste. Preliminary report prepared for the Nordic Council of Ministers.
Project number 2012.05.21, 7.2.2013.
https://www.dakofa.dk/fileadmin/user_upload/documents/Nyheder/2013/Nordisk_rapport_om_ressourceeffektivitet_plast_tekstiler_2013.pdf. [Accessed
5.2.2016]

Retkin, R. 2012. Bromattujen palonestoaineiden rajoitusten vaikutus jätteiden
hyödyntämiseen ja käsittelyyn. Suomen ympäristökeskuksen raportteja
29/2012.

Saarinen, U.-M. 2011. Suomessa väki keskittyy taajamiin. Tilastokeskus.
http://www.stat.fi/tup/vl2010/art_2011-12-16_001.html. [Luettu 10.8.2015]

Salmenperä, H., Moliis, K. & Nevala, S-M. 2015 Jättemäärien ennakointi vuo-
teen 2030 –painopisteenä yhdyskuntajätteet ja kierrätystavoitteiden saavutta-
minen. Ympäristöministeriön raportteja 17/2015.
<http://hdl.handle.net/10138/155189>

Sara, H. 2012, Geosynteettiset tuotteet, Oy ViaPipe Ab

Sarabi, M. T., Behraves, A. H., Shahi, P. & Daryabari, Y. 2014. Effect of pol-
ymeric matrix melt flow index in reprocessing extruded wood– plastic compo-
sites, Journal of Thermoplastic Composite Materials 7:881–894.

Scenarios Finland. http://www.plastic-zero.com/media/58384/scenarios_finland.xlsx. [Luettu 11.1.2016]

Shen, L., Haufe, J. & Patel, M.K. 2009. Product overview and market projec-
tion of emerging bio-based plastics. PRO-BIP 2009. Final report.

Silent footsteps go 2015. PAV-recyclate. <http://www.pav-recyclate.de/en/news.php> [Luettu 11.8.2015]

Suomen Uusiomuovi Oy 2015. Muovi kiertää materiaalina ja energiana.
http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/muovien_kierratys/ [Luettu
12.8.2015].

Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto [verkkojulkaisu].
ISSN=1798-3339. 2013. Helsinki: Tilastokeskus [luettu: 30.12.2015].
Saantitapa: http://www.stat.fi/til/jate/2013/jate_2013_2014-11-27_tie_001_fi.html

Tachwali, Y., Al-Assaf, Y. & Al-Ali, A.R. 2007. Automatic multistage classifica-
tion system for plastic bottles recycling. Resources, Conservation and Recy-
cling 52:266–285.

Taretek Geosynteetit 2015. Taretek Oy. <http://taretek.fi/>. [Luettu: 2.9.2015]





Teppola, K. 2005. RePlast FinEst-seminaari: Muovin käyttökohteet Suomessa. Esitelmä seminaarissa Lahdessa 16.11.2005.

Toimialojen näkymät 2015. Työ- ja elinkeinoministeriö.
http://www.temtoimialapalvelu.fi/toimialojen_nakymat/toimialojen_nakymat_katsaukset_2015. [Luettu 18.8.2015]

Tsuchida, A. 2009. Identification of Shredded Plastics in milliseconds using Raman Spectroscopy for Recycling, IEEE SENSORS 2009 Conference

Turve 2015. Energiateollisuus. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/turve> [Luettu: 11.8.2015]

Villanueva, A. & Eder, P. 2014. End-of-waste criteria for waste plastic for conversion. JRC Technical reports, European Commission.

Vilkki, M. 2016. Conenor Ltd. Henkilökohtainen tiedonanto 23.3.2016.

Wastemodel Finland. http://www.plastic-zero.com/media/58335/wastemodel_finland.xlsx [Luettu 11.1.2016]

Wave Eater 2015. <http://www.waveeater.com/>. [Luettu 11.08.2015]

What is RecyClass 2015. Plastics Recyclers Europe.
<http://www.plasticsrecyclers.eu/what-recyclclass>. [Luettu 31.8.2015]

Wolff, D. B., Ochoa, J. C., Paul, E. & da Costa, R. H. R. 2005. Nitrification in Hybrid Reactor with a Recycled Plastic Support Material. Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal, Special n.:243-248.

World Urbanization Prospects. United Nations 2014 Revision.
<http://esa.un.org/unpd/wup/>. [Luettu 1.2.2016]

WRAP 2008. Domestic Mixed Plastics Packaging Waste Options, Final Project Report, WRAP, June 2008.

Wu, G., Li, J. & Xu, Z.. 2013. Triboelectrostatic separation for granular plastic waste recycling: A review, Waste Management 33:585–597.

Wurpel, G., Van den Akker, J., Pors, J. & Ten Wolde, A. 2011. Plastics do not belong in the ocean. Towards a roadmap for a clean North Sea. IMSA Amsterdam. <http://www.plasticmarinelitter.eu/media/publications>

Yang, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D-J., Kuiper, P. & de Wit, H. 2012. Recycling of composite materials, Chemical Engineering and Processing 51: 53–68.

Ympäristöministeriö 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Suomen ympäristö 32/2008.
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38363>.





Liite 1 Joitakin tietoja muovin valmistuksen ja kierrätyksen ympäristökuormitteista

Review. Plastics recycling J. Hopewell et al. 2121

Table 3. Comparing some environmental impacts of commodity polymer production and current ability for recycling from post-consumer sources.

polymer	LCI data cradle-to-gate (EU data)				closed-loop recycling	effectiveness in current recycling processes
	energy (GJ tonne ⁻¹)	water (kL tonne ⁻¹)	CO ₂ -e ^a (t tonne ⁻¹)	Usage ^b (ktonne)		
PET	82.7	66	3.4	2160	yes	high with clear PET from bottles coloured PET is mostly used for fibre additional issues with CPET trays, PET-G
HDPE	76.7	32	1.9	5468	some	high with natural HDPE bottles, but more complex for opaque bottles and trays because of wide variety of grades and colour and mixtures with LDPE and PP
PVC	56.7	46	1.9	6509	some	poor recovery because of cross-contamination with PET PVC packages and labels present a major issue with PET bottle and mixed plastics recycling
LDPE	78.1	47	2.1	7899	some	poor recovery rates, mostly as mixed polyolefins that can have sufficient properties for some applications. Most post-consumer flexible packaging not recovered
PP	73.4	43	2.0	7779	in theory	not widely recycled yet from post-consumer, but has potential. Needs action on sorting and separation, plus development of further outlets for recycled PP
PS	87.4	140	3.4	2600	in theory	poor, extremely difficult to cost-effectively separate from co-mingled collection, separate collection of industrial packaging and EPS foam can be effective
recycled plastics	8–55	typical 3.5 ^c	typical 1.4	3130	some	considerable variability in energy, water and emissions from recycling processes as it is a developing industry and affected by efficiency of collection, process type and product mix, etc.

^a CO₂-e is GWP calculated as 100-yr equivalent to CO₂ emissions. All LCI data are specific to European industry and covers the production process of the raw materials, intermediates and final polymer, but not further processing and logistics (PlasticsEurope 2008a).

^b Usage was for the aggregate EU-15 countries across all market sectors in 2002.

^c Typical values for water and greenhouse gas emissions from recycling activities to produce 1 kg PET from waste plastic (Perugini et al. 2005).

Hopewell J., Dvorak R. & Kosior E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of Royal Society*. 364, pp. 2115-2126.





Table 5.3.1 Unit process inventory for plastic (PE) production (virgin, recycled). Data for the production of virgin plastic are based on Boustead (2005) and APME (2003), whereas data for the processes for recycled plastic are based on a project carried out by the Danish EPA on different plastic packaging (Frees, 2002; EDIP, 2004).

Per tonne produced plastic	Unit	Production of virgin HDPE granulate	Pelletizing of LDPE foil used in agriculture	Pelletizing of HDPE packaging boxes
Inputs				
Resources				
Plastic scrap	kg	0	1850	1032
Auxiliary materials (unspecified)	kg	n.a.	3.4	1.7
Crude oil – raw material	l	928	0	0
Natural gas – raw material	Nm ³	565	0	0
Crude oil – fuel	l	214	1.1	0.6
Natural gas – fuel	Nm ³	136	16.6	25
Water	m ³	32	4.8	1.4
Electricity	kWh	681	869	340
Outputs				
Plastic	kg	1000	1000	1000
Solid residues				
Chemicals	kg	3.5	0	0
Mineral waste	kg	0.1	0	0
Quartz	kg	0	632	0
Refuse for incineration	kg	0.9	70	30
Slag and ashes	kg	0.8	0	0
Sludge	kg	n.a.	184	2
Unspecified refuse	kg	1.1	30	0
Wastewater	m ³	n.a.	n.a.	n.a.
Emissions to water				
BOD	kg	0.02	2.6	0.4
Cl ⁻	kg	0.2	n.a.	n.a.
COD	kg	0.2	1.2	0.4
Cd	kg	n.a.	0.000002	n.a.
Cr	kg	n.a.	0.0001	n.a.
Cu	kg	n.a.	0.0002	n.a.
Hg	kg	n.a.	0.000002	n.a.
Ni	kg	n.a.	0.0001	n.a.
Pb	kg	n.a.	0.0002	n.a.
SO ₄ ²⁻	kg	0.8	n.a.	n.a.
Total-N	kg	n.a.	1.9	n.a.
Total-P	kg	n.a.	0.1	n.a.
Zn	kg	n.a.	0.0007	n.a.
Emissions to air				
CO ₂	kg	870	40 ^a	58 ^a
SO ₂	kg	1.3	0.0009 ^a	0.0005 ^a
NO _x	kg	1.3	0.07 ^a	0.1 ^a
CH ₄	kg	3.6	n.a.	n.a.
CO	kg	0.9	n.a.	n.a.
HC	kg	1.9	n.a.	n.a.
VOC	kg	0.5	n.a.	n.a.

^aEmissions calculated based upon the amount of oil and natural gas used.

Christensen, T.H. & Fruergaard, T. 2010. Recycling of Plastic. In: T.H. Christensen, T.H. (Ed.): Solid Waste Technology & Management. John Wiley & Sons, pp. 220-233.

