

TEKNISTEN MUOVIEIN KIERRÄTYS JA UUSIOKÄYTTÖ

Pentti Järvelä

Pirkko Järvelä

ALKUSANAT

Viime aikoina materiaalien kierrätys ja suunta kohti kiertotaloutta ovat nousseet voimakkaasti esille ja tähän liittyen on tehty paljon tutkimusta ja kehitystä niin kotimaassa kuin ulkomailla-kin. Yksi näistä kotimaisista muoveihin liittyvistä tutkimuksista on toteutettu Ympäristöministeriön ja Muovipoli Oy:n rahoittamassa hankkeessa ”Uusiomuovin vaikutukset valmistusprosessiin, tuotteiden ominaisuuksiin ja käyttöön.” Työn tarkoituksena oli tuottaa kokeelliseen tutkimukseen perustuvia ohjeita lähinnä teknisiin muoveihin perustuvien kierrätysmuovien hyödyntämiseksi. Tavoitteena oli siten vähentää muovijätteen syntyä ja lisätä muovivirtojen materiaalihyötykäyttöä. Tämä raportti on tarkoitettu muovialan eri toimijoille ja sen avulla yritykset voivat suunnitella kierrätysmuovien hyödyntämistä sekä rakentaa innovaatioketjun kierrätysasioidensa ratkaisemiseksi.

Muovien kierrätyksen toteuttaminen voidaan jakaa kahteen eri osaan. Yritysten tavoitteena on hoitaa kierrätystä, joka voidaan toteuttaa taloudellisesti kannattavana toimintana. Tässä voi olla mukana myös julkisen vallan päätöksiä kierrätyksestä maksettavista kuluista ja erityisesti julkisen vallan kierrätystä koskevista määräyksistä.

Tämän oppaan tavoitteena on pääosin opastaa muovien taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Oppaan nimenä on teknisten muovien kierrätys ja uusiokäyttö, mutta todellisuudessa samat tekijät koskevat kaikkia eri muoviryhmiä – valtamuovit, tekniset muovit ja erikoismuovit. Oppaassa on aika paljon tekstiä, jonka voi sitoa muihinkin kuin teknisiin muoveihin, mutta josta mielestämme on myös hyötyä teknisten muovien kierrätykseen. Kierrätys on teknologian ala, jossa tapahtuu koko ajan muutoksia ja nämä muutokset voivat olla hyvinkin suuria. Tämä pätee myös puhtaasti kierrätysteknologiaan.

Alussa mainitun projektin kuluessa on tehty kolme diplomityötä TTY:ssä ja kolme insinööri-työtä LAMK:ssa. Näiden töiden kirjalliset tuotokset sähköisessä muodossa löytyvät lähdeluettelossa esitetyistä osoitteista.

Lahdessa 15.12.2015

Pentti Järvelä
Emeritusprofessori
Tampereen teknillinen yliopisto

Pirkko Järvelä
Yliopettaja
Lahden ammattikorkeakoulu

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	5
2 KÄSITTEITÄ	7
2.1 Muovit	7
2.2 Tekniset muovit	8
2.3 Kierrätys	11
2.4 Muovien kierrätys	13
2.5 Teknisten muovien kierrätys	14
3 MUOVIEEN KIERRÄTYS JA SEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN	16
3.1 Synteettisten materiaalien kehitysvaiheita ja esimerkkejä	16
3.2 Polymeerimateriaalit ja ympäristö	17
3.3 Synteettisten polymeerien hajoaminen	19
3.4 Muovien kierrätyksen vaiheet	20
4 MUOVIEEN UUELLEENKÄYTTÖ- JA KIERRÄTYSMENETELMÄT	21
4.1 Tuotteiden uudelleenkäyttö	21
4.2 Mekaaninen kierrätys	21
4.2.1 Kierrätys muovituotteita valmistavissa yrityksissä	22
4.2.2 Käytössä olleiden tuotteiden kierrätys	23
4.2.3 Materiaalien modifiointitarpeita ja käytettävissä olevia menetelmiä	27
4.2.4 Kierrätettävyyden edistäminen	29
4.3 Muovin kemiallinen kierrätys	30
4.4 Muovien käyttö energiana	31
4.5 Biomassasta muoviksi ja uudelleen biomassaksi	31
5 MUOVIJÄTEVIRRAT	32
5.1 Muovin puhtaudesta	32
5.2 Pakkausjätevirrat	33
5.3 Maatalousjätevirrat	34
5.4 Rakennus- ja energiateollisuuden jätevirrat	34
5.5 Sähkö- ja elektroniikkaromun muovit	35
5.6 Ajoneuvorumujen muovit	36
5.7 Muita muovijätevirtoja	36
5.8 Erityyppisten prosessien jätevirtoja	37
6 KIERRÄTYKSEN OPTIMOINTI	38
6.1 Materiaalin valinta	38
6.2 Tuotteen tekninen suunnittelu	39
6.3 Valmistustekniikan valinta	40
7 TOTEUTETTUJA TEKNISTEN MUOVIEEN KIERRÄTYKSIÄ	41
7.1 Muovituotteiden uudelleenkäyttö alkuperäiseen tarkoitukseen	41

7.2 Muovituotteen käyttö muihin käyttötarkoituksiin	41
7.3 Luonnossa hajoavat muovikassit	42
7.4 Laminoitu tuulilasi	42
7.5 Solupolystyreeni	42
7.6 Prosessijäte ja epäkurantit tuotteet	43
7.7 Rotaatiovalun sivuvirrat	44
7.8 PET-pullot	45
7.9 Teknisten muovien kierrätyksestä	45
8 MAHDOLLISIA UUSIA KIERRÄTYSMENETELMIÄ	47
8.1 Muovijätteen puhdistaminen pieneliöiden avulla	47
8.2 Biohajoavuuden aikaansaaminen	47
8.3 PVC-muovit	47
8.4 Muovien keräys vesistöistä	48
8.5 Lujitemuovit	49
9 EI SUOSITELTAVIA MUOVIEIN KIERRÄTYSMENETELMIÄ	50
10 YHTEENVETO	52
Lähdeluettelo	54

1 JOHDANTO

Kierrätyksellä tarkoitetaan jätelain mukaan toimintaa, jossa jäte valmistetaan tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen. Jätteen kierrätyksenä ei pidetä jätteen hyödyntämistä energiana eikä jätteen valmistamista polttoaineeksi eikä maantyttöön käytettäväksi aineeksi. Kierrätys koskee nykyisin kaikkia käytettyjä materiaaleja. Kierrätyksestä on vähitellen kehitymässä uusi toiminta-alue ja seuraavassa on joitakin kierrätykseen liittyviä yleisiä piirteitä materiaalien osalta.

Tuotteiden uudelleenkäyttö samaan tarkoitukseen kuin mihin se on alun perin suunniteltu on hyvin vanha menetelmä. Keskeisinä ongelmina ovat tuotteiden ominaisuuksien muuttuminen ja uusien tuotteiden edullinen valmistus. Vanhojen hirsitalojen tapauksessa hirsien ja muiden puuosien uudelleenkäyttö oli aikoinaan hyvin suurta johtuen siitä, että uusien hirsien ja puuosien valmistus vaati hyvin paljon työtä. Toisena esimerkkinä voidaan ottaa auton renkaat, jotka voidaan uudelleenpinnoittaa. Suomessa käytöstä poistetuista renkaista hyödynnettiin pinnoittamalla noin 2 % vuonna 2014. Määrään eivät sisälly raskaan kaluston renkaat, jotka pinnoitetaan keskimäärin kaksi kertaa.

Lähes kaikissa tapauksissa kierrätysmateriaalien ominaisuudet poikkeavat jossakin määrin ns. neitseellisten materiaalien ominaisuuksista. Tämä koskee erityisesti teknisiä ja synteettisiä materiaaleja.

Kierrätys on yleensä toimintaa, jonka tavoitteet kaikilla alueilla ovat samat. Kuitenkin lähes kaikissa tapauksissa kierrätys on ratkaistava tapauskohtaisesti. Euroopan Unionin asettaman jätehierarkian mukaan jätteitä tulisi vähentää ja hyödyntää seuraavassa arvojärjestyksessä (ns. 4R sääntö) (Muoviteollisuus ry. (c)):

- Vähentäminen (Reduce)
- Uudelleenkäyttö (Reuse)
- Kierrätys (Recycle)
- Hyötykäyttö (Recovery)

Hyvin usein käytettyjen tuotteiden kierrätysmenetelmät on kehitetty erityisesti tuotteen tärkeimpien materiaalien kierrätyksen perusteella. Tämä tarkoittaa sitä, että kehitetty kierrätysmenetelmä palvelee erityisesti näiden tärkeiden materiaalien kierrätystä, jolloin hyvin usein

tästä menetelmästä on haittaa muiden materiaalien kierrätykselle. Kierrätyksessä kehitetään koko ajan uusia menetelmiä, joiden avulla on tavoitteena nostaa kierrätettävien materiaalien ominaisuuksia ja käytettävyyttä. Epäasianmukaisella kierrätyksellä on myös usein työtä ja ympäristöä haittaavia tekijöitä. Esimerkiksi käytettyjen laivojen kierrätys toteutetaan yleensä ”kehitysmaissa” ja lähinnä asumattomilla alueilla terveyden ja ympäristön suojelun kannalta epäasianmukaisesti.

Muovien kierrätyksen osalta on olemassa myös tekijöitä, joiden avulla muovien kokonaiskierrätettävyyttä voitaisiin tehostaa. Käytännössä näiden menetelmien hyödyntäminen edellyttää yhteistyötä muovitekniikassa kaikkien tuotteen valmistukseen ja käyttöön osallistuvien tahojen kanssa (materiaalin valmistus, tuotteen suunnittelu, materiaalin valinta, tuotteen valmistus, tuotteen käyttö, käytöstä poisto ja kierrätys).

Kierrätysprosessien tulisi olla prosesseja, jotka säilyttävät materiaalien uudelleenkäyttöarvon. Kierrätysprosessien tulisi olla myös kehitetty siten, että näissä prosesseissa olisi kehitetty arvokkaiden materiaalien talteenottoteknologioita. Tästä hyvänä esimerkkinä on elektroniikkatuotteiden kierrätys, sillä niissä on paljon arvokkaita metalleja.

Tätä ajatusta voidaan jatkaa suoraan materiaalien tulevaisuuden talteenottoteknologioilla. Tämä on erityisen merkittävä asia teknisten ja erikoismuovien osalta. Teknisten ja erikoismuovien hinta voi olla muutamasta jopa tuhanteen kertaan korkeampia kuin valtamuoveilla ja näin ollen tulevaisuuden teknologioilla on mahdollista saada käytetyistä teknisistä ja erikoismuoveista hyvin paljon korkeampi hinta kuin nykyisin. Tämä edellyttää yrityksiltä uudenlaisia toimintoja kierrätysmuovien keräämiseksi ja taltioimiseksi. Hyvin merkittävä osa muovien nykyhetken kierrätyksestä on kehittää käsittelyprosesseja, jotka ovat mahdollisimman haitattomia ja edullisia muovien palautukseen uusiokäyttöön ja luonnon kiertokulkuun.

Merkittävä osa kierrätystä ovat myös menetelmät, joiden avulla voitaisiin arvioida uusien teknologioiden käytettävyyttä ja toimivuutta kierrätyksen edistämiseksi ja toteutuksessa. Hyvin merkittävä osa koko kierrätystoiminnan kehittämiseksi ovat toimenpiteet, joiden avulla on mahdollista muuttaa ihmisten tietoa, osaamista ja asenteita kierrätyksen osalta.

2 KÄSITTEITÄ

2.1 Muovit

Muovi on yleisnimitys synteettisille tai puolisynteettisille polymeereistä koostuville materiaaleille. Muovit ovat vallanneet alaa monissa sovelluksissa ja ne ovat nykyään yksi käytetyimmistä materiaalityypistä. Perusmääritelmän mukaan muovit koostuvat yhdestä tai useammasta peruspolymeeristä ja lisäaineista.

Muovi = polymeeri(t) + lisäaineet

Polymeerit ovat materiaaleja, jotka koostuvat useista pienistä (minimi 50 kpl) monomeereistä, jotka ovat liittyneet toisiinsa kemiallisesti polymeeraatioprosessissa. Mikäli polymeerin monomeerit ovat keskenään samanlaisia, on kyseessä homopolymeeri, mutta jos polymeerissä on useita erilaisia monomeerejä on kyseessä kopolymeeri. Pääosa polymeereistä on orgaanisia rakentuen hiiliketjun ympärille. Lisäksi on olemassa epäorgaanisia polymeerejä, joista eniten käytettyjä ovat pii-happiketjusta muodostuva silikoni (poly(alkyyilisiloksaani)).

Seosaineet, täyteaineet ja apuaineet ovat materiaalityypä, josta usein käytetään yhteistä nimeä lisäaineet. Näiden avulla modifioidaan polymeerien ominaisuuksia, sillä puhtailla polymeeripohjaisilla materiaaleilla on käyttöä hyvin vähän. Samalla seosaineella voidaan saada aikaan samassa muovissa hyvinkin paljon erilaisia ominaisuuksia riippuen esimerkiksi seosaineen koosta, muodosta ja pintakäsittelystä (wollastonitiin neulamaisuus, partikkelikoko ja pintakäsittely).

Seosaineilla tarkoitetaan yleensä lisäaineita, joiden avulla voidaan modifioida muovien ominaisuuksia käytön kannalta haluttuun suuntaan. Se miten seosaineet vaikuttavat riippuvat seuraavista tekijöistä: seosaineen puhtaus, seosaineen koko ja muoto, seosaineen pintakäsittely, rajapintojen adheesio ja polymeerin ja seosaineen sekoittaminen.

Joissakin tapauksissa seosaineilla ja täyteaineilla tarkoitetaan lähes samaa asiaa. Täyteaineiden avulla pyritään alentamaan muovien hintaa vähentämällä polymeerin osuutta materiaalissa. Hinnan alentuminen pätee yleensä kertamuovien ja joidenkin erikoismuovien yhteydessä, mutta ei välttämättä massamuoveissa, Seosaineen sekoittaminen nostaa yleensä muovin hintaa, sillä yleensä seosaineita ei voida lisätä normaalissa sulatyöstöprosessissa. Täyteaineiden vaikutukset muovien ominaisuuksiin riippuvat samoista tekijöistä kuin seosaineiden tapauksessa.

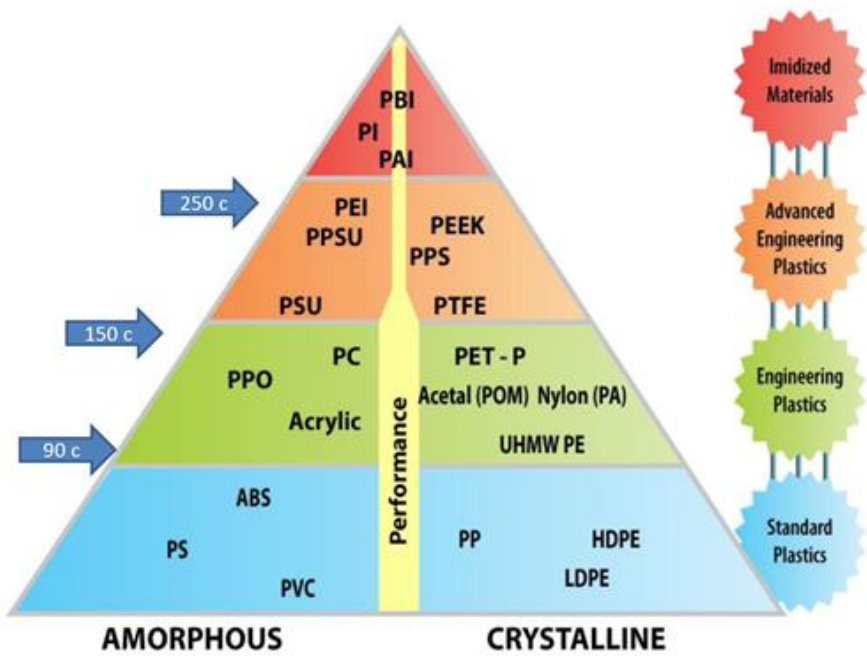
Apuaineilla tarkoitetaan yleensä aineita, joiden avulla ei suoranaisesti muuteta muovien ominaisuuksia, sillä niiden avulla pyritään helpottamaan muovien prosessointia ja stabiloimaan muovien rakennetta ja ominaisuuksia.

Muovien kierrätyksen kannalta lisäaineiden merkitys on hyvin suuri ja erityisesti lisäaineet vaikeuttavat muovien kierrätystä. Kierrätyksen kannalta on myös huomattava, että muoveihin voi käytön aikana diffundoitua ulkopuolisia aineita, jotka voivat vaikuttaa muovien ominaisuuksiin ja sitä kautta niiden kierrätettävyyteen. Esimerkiksi sairaaloissa käytettyjen muovien kierrätyksessä on otettava huomioon muoveihin mahdollisesti diffundoituneet lääkeaineet ja orgaaniset yhdisteet (virukset, bakteerit).

Muovien määritelmän mukaan muovi koostuu polymeereistä ja lisäaineista. Kaupallisten muovien osalta mitään näistä aineista ei voida pitää epäpuhtauksina. Hyvin suurena ongelmana lisäaineiden osalta on se, että raaka-aineiden tekniset tiedot eivät sisällä tietoja lisäaineista. Lähdetessä suunnittelemaan kierrätysmuovien modifiointia, niin periaatteessa kaikki kaupallisten muovien lisäaineet voivat olla epäpuhtauksia, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti modifioitavan muovin ominaisuuksiin. On myös muistettava, että kaupallisten muovien tarkan koostumuksen määrittäminen voi olla erittäin vaikeaa ja tässä tapauksessa on muistettava seuraava asia. Muoviin voidaan lisätä aineita, jotka eivät vaikuta muovin ominaisuuksiin, mutta voivat vaikeuttaa muovin koostumuksen analysointia. Kierrätyksen kannalta on huomattava, että näillä lisäaineilla voi olla negatiivisia vaikutuksia uuteen käyttöön.

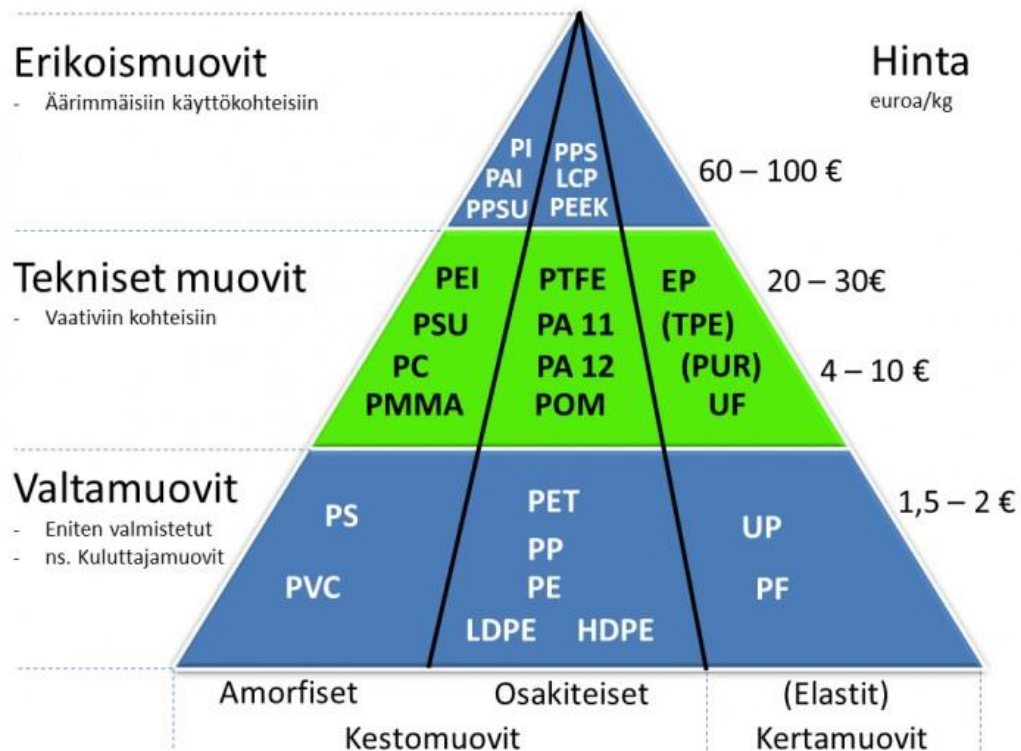
2.2 Tekniset muovit

Tekniset muovit ovat toiseksi eniten käytetty muoviryhmä. Ne ovat valtamuoveja kalliimpia materiaaleja, mutta niillä on myös paremmat tekniset ominaisuudet ja niitä käytetään usein valtamuoveja vaativammissa sovelluksissa.



Kuva 1. Muovien ryhmittely ja karkea lämmönkestävyys. (smithsadvanced.com)

Kuvassa 1 on esitetty karkea muovien jako valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin sekä amorfisiin ja kiteisiin muoveihin. Lisäksi muovit on ryhmitelty myös lämmönkestävyydeltään eri suuruusluokka-alueisiin.



Kuva 2. Muovien luokitus hintasuuruusluokka mukaan otettuna. (Muoviteollisuus ry (c))

Kuvien 1 ja 2 sisällöstä on todettava seuraavia asioita, jotka saavat aikaan sen, että muovien jako ei ole kovin yksinkertainen. Muovien hinnan suhteen jaon perustana on muovien hinta: valtamuovit ovat halpoja, tekniset muovit kalliimpia ja erikoismuovit hyvin kalliita tai kalleimpia materiaaleja. Esimerkiksi polyeteenin osalta valtamuoveja ovat normaalit pakkaussoveluksiin käytetyt polyeteenit (PE-LD ja PE-HD yleensä), kun taas korkean moolimassan (PE-HMW) sulatyöstettävät polyeteenit kuuluvat teknisiin muoveihin korkeamman hintansa ja hyvien kitka- ja kulumisominaisuuksiensa ansiosta ja hyvin korkean moolimassan polyeteenit (ei sulatyöstettävät) kuuluvat hyvin korkean hintansa ja lujuusominaisuuksiensa ansiosta erikoismuoveihin. Myös muovien kiteisyyteen voidaan vaikuttaa eri tekijöillä. Kiteisyysaste vaikuttaa hyvin paljon muovien ominaisuuksiin.

Teknisten muovien rajausta on hyvin epämääräinen ja käytännössä sama muovi voi kuulua kaikkiin eri muoviryhmiin. Seuraavassa taulukossa (taulukko 1) on esitelty polyeteenin kuuluminen eri ryhmiin muovien jaottelussa sekä perusteluita eri ryhmiin kuulumisesta.

Taulukko 1. Polyeteenin kuuluminen eri ryhmiin muovien ryhmittelyssä

Muovin lyhenne	Ryhmä, johon kuuluu
PE-LD, PE-HD, PE-MD, PE-LLD	Kuuluvat yleensä valtamuoveihin ja tuotteet ovat erilaisia kalvoja, pakkauksia ja astioita
PE-X, PE-HMWHD	Ovat korkean moolimassa polyeteenejä, joiden kitka- ja kulumisominaisuudet ovat teknisten muovien tasolla. Silloitettuna polyeteenin lämmönkesto on olennaisesti polyeteenin lämmönkesto parempi.
PE-UHMWHD	Tätä käytetään kuitumateriaalina ja kuitujen ominaisuudet ovat erittäin hyvät. Valmistustekniikkana käytetään liuoskuidutusta, koska materiaalia ei pysty sulattamaan korkean moolimassan vuoksi.

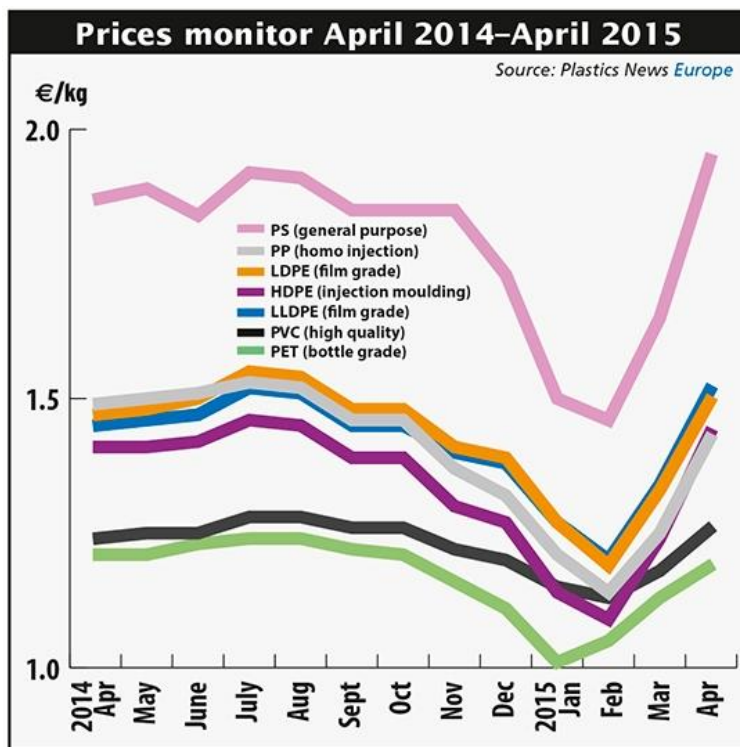
Moolimassaa ja reologisia ominaisuuksia modifioimalla polyeteenin soveltuvuutta eri prosessointimenetelmiin ja tuotteisiin voidaan parantaa (ekstruusio, ruiskuvalu, rotaatiovalu, kuidutus, solustus, pinnoittaminen jne.).

Polyeteenit valmistetaan yleensä fossiilisista raaka-aineista, mutta polyeteeniä voidaan valmistaa myös biomassasta (esimerkiksi sokeriruoko tai elintarviketuotannon sivuvirrat).

Teknisten muovien osuus muovien käytöstä on pysynyt jo viimeiset vuosikymmenet noin 20 prosentin tasolla. Muovien osalta on myös hyvä muistaa seuraava asia muovin ominaisuuks-

sien kannalta. Valtamuoveja on yleensä kehitetty paljon enemmän kuin teknisiä ja erikois-
muoveja ja tästä johtuen valtamuovien prosessoitavuus hallitaan muita muoveja paremmin.
Tämä johtuu siitä, että korkeat kehittämiskustannukset eivät nosta olennaisesti valtamuovien
hintaa, mutta voivat nostaa merkittävästi niiden käyttöä. Tästä esimerkkinä voidaan mainita
polylaktidi (PLA) jonka normaalien lajikkeiden kilohinta on muutaman euron tasolla ja pro-
sessoitavuus hyvin hallittavissa, kun taas joihinkin lääketieteellisiin sovelluksiin kehitettyjen
lajikkeiden prosessoitavuus on hankalaa ja kilohinta tuhansien eurojen tasolla.

Muovien hinnat vaihtelevat koko ajan ja lyhyenkin aikavälin jaksoissa on selviä muutoksia,
kuten kuva 3 osoittaa. Tämä neitseellisten muovien hintakehitys heijastuu myös uusiomuovi-
en hintakilpailukykyyn.



Kuva 3. Yleisimmin käytettyjen muovien hintakehitys Euroopassa ajanjaksolla huhtikuu 2014 – huhtikuu 2015. (Plat David, 2015)

2.3 Kierrätys

Jätteen hyödyntämisellä tarkoitetaan toimintaa, jonka ensisijaisena tuloksena jäte käytetään
hyödyksi siten, että sillä korvataan kyseiseen tarkoitukseen muutoin käytettäviä aineita tai
esineitä. Kierrätyksellä tarkoitetaan toimintaa, jossa jäte valmistellaan tuotteeksi, materiaalik-
si tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen. Jätteen kierrätyksenä ei pidetä

jätteen hyödyntämistä energiana eikä jätteen valmistamista polttoaineeksi tai maantäyttöön käytettäväksi aineeksi. Muovien kierrätyksen osalta tässä raportissa käsitellään myös omana alueenaan muovin kierrätystä muovituotteiden valmistuksessa (tästä käytetään yleensä termiä teollisuusjäte). Kierrätyksellä on yleensä tavoitteena vähentää luonnon raaka-aineiden ja energian kulutusta eli kierrätys on yleensä ympäristöä säästävää toimintaa. Hyvin merkittävä osa kierrätyksen tavoitteista on vähentää erilaisten materiaalien ympäristölle (luonnolle) aiheuttamia haittoja ja ongelmia ja tämä on hyvin keskeinen osa muovien kierrätystä. Kierrätyksellä voidaan säästää energian kulutusta neitseellisten raaka-aineiden käyttöön verrattuna jopa lähes 100 %. Todellisuudessa saavutettavan säästön laskeminen on hankalaa, esimerkiksi alumiinipakkauksissa arvio on 95 %, kun taas esimerkiksi muovi- ja lasipullojen osalta tuotteiden uudelleenkäyttö alkuperäiseen käyttöön on pääosiltaan lopetettu. Tämä johtunee näiden tuotteiden keräyksen ja puhdistuksen suhteellisesti kasvaneista kustannuksista verrattuna näiden tuotteiden materiaalikierrätyksen kustannuksiin.

Materiaalien kierrätyksestä on viimeisten parin vuosikymmenen aikana tullut merkittävä alue yhteiskunnalliseen toimintaan. Seuraavaan on koottu erilaisia kierrätykseen liittyviä ajatuksia ja toimintoja.

Kierrätyksen avulla pyritään vähentämään materiaalien käyttöä ja keskeisenä tavoitteena on vähentää materiaalien kierrätyksellä ja uusiokäytöllä materiaalin kokonaiskäyttöä. Tämä koskee erityisesti materiaaleja, joiden määrä on pieni ja joiden käyttö vähentää olennaisesti materiaalien kokonaismäärää. Tällaisia materiaaleja ovat tietyt harvinaiset metallit ja erityisesti fossiiliset polttoaineet. Muovit ovat tässä suhteessa tavallaan poikkeuksellinen materiaali-ryhmä, sillä muoveissa käytetyt alkuaineet eivät ole kriittisiä. Periaatteessa kaikista biopohjaisista materiaaleista voidaan valmistaa polymeerejä ja niistä edelleen muoveja.

Lähes kaikissa tapauksissa kierrätysmateriaalien ominaisuudet poikkeavat jossakin määrin ns. neitseellisten materiaalien ominaisuuksista. Tämä koskee erityisesti teknisiä ja synteettisiä materiaaleja.

Käytettyjen materiaalien kierrätys voidaan jakaa kahteen perusryhmään. Kokonaistavoitteena on kaikkien käytettyjen tuotteiden materiaalien kierrätys ja poistaminen luonnosta. Tämä on kierrätystä, jossa keskeisenä tavoitteena on tuotteiden aiheuttamien ympäristöhaittojen ja ongelmien eliminointi. Tietenkin tavoitteena on myös, että tämä kierrätys on mahdollisimman halpaa ja tuloksiltaan mahdollisimman hyvää.

Kierrätyksen merkittävänä osa-alueena on toteuttaa kierrätys siten, että kierrätyksen avulla pystytään kattamaan kaikki kierrätyksestä aiheutuneet kulut ja myös mahdollisesti tekemään toiminnasta taloudellisesti kannattavaa. Tämä on kierrätysprosessi, joka on yleensä tuote- tai tapauskohtainen, ja joka vaatii toimiakseen hyvin merkittävää tietoa ja osaamista.

On myös otettava huomioon, että kierrätyksen kannalta hyvin merkittäviä ovat tieto ja osaaminen materiaaleista ja niiden prosessoinnista. Esimerkiksi lujitemuoveista on mahdollista erottaa hiilikuitu uusiokäyttösoveliaana materiaalina. Lasikuidun osalta tämä ei ole onnistunut, sillä lasikuidun erottamisen aikana lasikuidun lujuus ja pintarakenne muuttuvat niin paljon, että lasikuitu ei sellaisena sovi normaaleihin lasikuitulujitteisiin muoveihin raaka-aineeksi. Kierrätyksen osalta hyvin merkittäviä tekijä ovat myös tavallisten ihmisten osaaminen ja asenne materiaalien kierrätykseen. Tällä on hyvin suuri merkitys esimerkiksi yhdyskuntajätteen synnyssä ja keräyksessä (yhdyskuntajätettä ei saisi liata aiheettomasti ja ne tulisi palauttaa yhdyskunnan määrittämiin keräysjärjestelmiin (ei missään tapauksessa luontoon)).

Kierrätys on yleensä toimintaa, jonka tavoitteet kaikilla alueilla ovat samat. Kuitenkin lähes kaikissa tapauksissa kierrätys on ratkaistava tapauskohtaisesti. Hyvin usein käytettyjen tuotteiden kierrätysmenetelmät on kehitetty erityisesti tuotteen tärkeimpien materiaalien kierrätyksen perusteella. Tämä tarkoittaa usein sitä, että kehitetty kierrätysmenetelmä palvelee erityisesti näiden tärkeiden materiaalien kierrätystä, jolloin hyvin usein tästä menetelmästä on haittaa muiden materiaalien kierrätykselle. Esimerkiksi käytettyjen autojen kierrätyksessä tavoitteena on auton metalliosien kierrättäminen ja autojen purkuvaiheessa käytetyt menetelmät eivät ole hyviä muovipohjaisten osien kierrätykselle. Autojen kierrätyksessä ollaan kehittämässä menetelmiä myös muiden materiaalien kierrättämiseksi. Nykyisten henkilöautojen painosta 12 -15 % on muoveja ja muoviosien määrä runsaat 2 000 kappaletta ja käytettyjä eri muoveja ainakin viitisenkymmentä eri lajiketta ja parikymmentä eri muovia. Nämä tekijät, kappaleiden ja muovien määrä, vaikeuttavat hyvin paljon automuovien kierrätystä. Asennetta tilanteeseen muuttaisi hyvin paljon esitys muovien määrästä autossa tilavuusprosentteina, joka olisi aika lähellä 50 t-%. Muovit ovat autoissa hyvä esimerkki autoille merkittävistä uusista ominaisuuksista, kuten design, käyttömukavuus, turvallisuus ja energian kulutus (Automotive, The world moves with plastics)). Kierrätyksessä kehitetään koko ajan uusia menetelmiä, joiden tavoitteena on nostaa kierrätettävien materiaalien ominaisuuksia ja käytettävyyttä.

2.4 Muovien kierrätys

Muovien kierrätyksestä on viime aikoina syntynyt hyvin mielenkiintoinen toiminta-alue, ja seuraavassa on joitakin tähän vaikuttaneita keskeisiä tekijöitä:

Muoveja on käytössä niin paljon, että muoveja päätyy lähes kaikkiin mahdollisiin paikkoihin odotettua enemmän. Esimerkiksi selluteollisuudessa sellun sekaan joutunut muovi aiheuttaa haittaa ja häiriöitä prosessille.

Muoveja käytetään lähes kaikissa tuotteissa ja pieni osuus kaikista tuotteista joutuu kontrolloimattomasti luontoon ja aiheuttaa luonnossa ongelmia. Tästä erittäin hyvä ja ongelmallinen esimerkki ovat vesistöihin joutuvat muovit. Muovien elinikä luonnossa on hyvin pitkä ja samalla muovit pilkkoutuvat ajan mukana ja erikokoisista muovipartikkeleista on hyvinkin erilaista haittaa ympäristölle. Muovipartikkelit voivat joutua eläinten elimistöön ruuan mukana ja voivat näin aiheuttaa eläinten kuoleman.

2.5 Teknisten muovien kierrätys

Muovien kierrätyksen osalta lähtökohdat ovat samat kuin kaikilla muillakin materiaaleilla. Muovit poikkeavat muista materiaaleista siinä suhteessa, että pääosa muoveista on valmistettu synteettisistä materiaaleista joiden ympäristökestävyys on erittäin hyvä. Tämä saa aikaan sen, että näistä muoveista voi olla hyvinkin pitkäaikaisia vaikutuksia luontoon ja nämä vaikutukset voivat myös olla erittäin ongelmallisia. Tästä johtuen muovien kierrätyksen keskeisenä tavoitteena on estää muovien ja muovipohjaisten materiaalien pääsy luontoon. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikki muovit olisi käytön jälkeen kerättävä ja jollakin tavalla hyödynnettävä tai hävitettävä.

Suomi on osa EU:ta ja EU:n jätehierarkia jakaantuu viiteen eri osaan. Jätteen synnyn kannalta tehokkain keino on jätteen synnyn ehkäisy. Jätteen syntyä ei luonnosta voida estää, sillä myös luonnossa syntyy biomateriaalien kasvun yhteydessä jätteitä, mutta nämä jätteet häviävät luonnosta ajan mukana lähes täydellisesti. Kaikki jäte ei häviä, mutta se ei kuitenkaan aiheuta luonnolle suuria ongelmia, luonnosta voi löytyä hyvinkin vanhoja jäännöksiä eläimistä ja kasveista. Todellisuudessa nykyinen teknologia ei voi luopua synteettisistä materiaaleista niiden teknisen hyötykäytön kannalta. Kaikkien synteettisten materiaalien uudelleenkäyttö tai hävittäminen on mahdollista, jos nämä materiaalit saadaan koottua talteen käytön jälkeen. Tämä vaihe voidaan myös jakaa kahteen osaan, joista toinen on synteettisistä materiaaleista luopuminen ja toisena on näiden materiaalien käytön minimointi. Materiaalien käytön vähentäminen on monissa tapauksissa mahdollista. Tässä on myös mahdollista se, että materiaalien käytössä voidaan valita ympäristöystävällisin materiaali. Haasteena on se, että absoluuttista tietoa eri materiaalien todellisesta ympäristöystävällisyydestä ei ole olemassa.

Tästä voidaan ottaa hyvin karkea esimerkki muovisista kertakäyttöastioista. Kertakäyttöastioita pidetään ympäristöystävällisimpinä olosuhteissa, joissa vettä on huonosti saatavilla. Tilanne on sama puun suhteen, sillä öljy on ympäristöystävällisempi materiaali kuin puu alueilla, joissa puuta on saatavilla vähän. Toisena vaiheena on materiaalien valmistelu uudelleenkäyttöön. Tämä on keskeinen osa muovien kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Tämä on käytännössä mahdollista lähes aina silloin, kun muovien käytöstä ei ole aiheutunut muovin polymeerirakenteen muuttumista. Myös polymeerirakenteen muutoksiin voidaan vaikuttaa, mutta tuotannossa tämä on kalliimpaa kuin vastaavien uusien materiaalien valmistus ja käytettyjen materiaalien käsittely, esimerkiksi polttamalla energiaksi. Kolmantena painopisteenä on materiaalien kierrätys jollakin tavalla. Kierrätystapa riippuu kyseessä olevasta materiaalista. Neljäntenä vaiheena on materiaalien muu hyödyntäminen ja tämä on tällä hetkellä hyvin merkittävä osa muovien käsittelyä. Tärkein tapa on muovien käyttäminen energiaksi ja muovien kohdalta on muistettava, että muovien energiasisältö on hyvin suuri. Esimerkiksi polyolefiinien energiasisältö on painon suhteen raakaöljyä korkeampi. Energiahyötykäytön osalta hyvin merkittävä asia on estää polton aikana muovista syntyvien päästöjen pääsy ympäristöön. Tämä on yleensä mahdollista palokaasujen ja polttojätteen puhdistamisen ansiosta. Viimeisenä ja viidentenä vaiheena voidaan pitää materiaalien loppukäsittelyä. Loppukäsittelynä pidetään hyvin usein materiaalien sijoittamista kaatopaikoille. Myös tämän suhteen on tapahtunut viime aikoina joitakin muutoksia. Jatkossa kaatopaikoille ei saa sijoittaa jätettä, jonka orgaanisen hiilen kokonaismäärä on yli 10 %.

Eräs kehityksen alla oleva menetelmä on materiaalien hävittäminen siten, että kaikki niiden ympäristöhaitalliset tekijät eliminoidaan tavalla tai toisella. Tämä prosessi voi olla hyvinkin kallis.

3 MUOVIEEN KIERRÄTYS JA SEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN

Muovit ovat metallien ja keraamien ohella tärkein materiaalityyppi, jossa materiaaleille tehdään hyvin paljon teollista kehittämistä ja muovien kohdalla hyvin suuri osa muoveista on synteettisiä materiaaleja. Näistä tekijöistä johtuen muoveilla on erittäin suuri vaikutus ihmisten elämään ja ympäröivään luontoon. Kierrätyksen avulla on mahdollista vaikuttaa hyvin paljon näihin kahteen eri tekijään ja tämä tekee kierrätyksestä hyvin tärkeän osan ihmiskunnan toiminnoista. Seuraavassa on käsitelty mitä kierrätyksen avulla voitaisiin ja tulisi tehdä muoveille.

Materiaalien kierrätyksen taustalla on ihmisten kannalta tärkeitä tekijöitä. Materiaalien kierrätys on ihmisten historiassa vanha asia ja sitä on tehty koko ihmiskunnan olemassaolon ajan. Kierrätykseen on vaikuttanut hyvin paljon ihmisten osaaminen ja eläminen.

3.1 Synteettisten materiaalien kehitysvaiheita ja esimerkkejä

Luodaan lyhyt katsaus siihen aikaan, jolloin ihmiset eivät vielä osanneet valmistaa uusia materiaaleja ja käytännössä kaikki käytetyt materiaalit olivat luonnon materiaaleja. Tälle ajalle oli ominaista, että ihmiset käyttivät pääosin luonnossa uusiutuvia materiaaleja (puut, kasvit, eläimet), jotka kaikki hajosivat käytön jälkeen luonnon perusmateriaaleiksi. Mineraalien ja metallien osalta tilanne oli lievästi toinen, sillä ne eivät yleensä käytön jälkeen hajonneet. Suurena ongelmana oli, että ihmisillä ei ollut tietoa luonnosta ja sen toiminnoista. Yksi suurimmista ongelmista oli biopohjaisten materiaalien hajoaminen ja hajoamisen aikana syntyvät erilaiset ihmiselle haitalliset mikrobit ja bakteerit. Nämä aiheuttivat hyvin suuria terveydellisiä ja elämistä hankaloittavia ongelmia (hajut, sairaudet, myrkyt jne.).

Ihmiskunta alkoi jossakin vaiheessa (lähinnä 1800-luvulla ja sen jälkeen) valmistaa synteettisesti uusia materiaaleja ja näistä materiaaleista polymeerit (muovit, kumit ja muovikomposiitit) ovat ehdottomasti suurin yksittäinen materiaalityyppi. Polymeerejä valmistetaan tällä hetkellä erittäin paljon ja aivan tarkkaa määrää on vaikea mennä sanomaan, mutta se on jossakin alueella 5 - 100 kg/asukas/vuosi. Jätteiden ja kierrätysmateriaalien osuus vuositasona on suunnilleen samaa tasoa, koska kaikkien polymeerimateriaalien käyttöikä on rajallinen tai niiden tarkkaa käyttöikää ei tunneta. Synteettisillä materiaaleilla on hyvin usein erilaisia vaikutuksia ihmisten elämään ja tämän takia synteettisten materiaalien "hävittäminen" käytön jälkeen on hyvin tärkeä asia luonnon kannalta. Seuraavassa on tarkasteltu lähinnä polymeeripohjaisten materiaalien "käytön" jälkeistä käsittelyä (uusikäyttö ja kierrätys).

Muovit ovat synteettisiä materiaaleja ja niiden kehityksessä on tärkeänä tekijänä ollut kehittää materiaaleja, joiden käyttöominaisuudet ovat mahdollisimman hyvät. Tässä kehitystyössä painopiste on ollut materiaalien käyttöominaisuuksien mahdollisimman hyväksi saaminen, eikä ympäristöystävällisyyttä aina osattu ottaa huomioon. Tämä on ollut erittäin tärkeä tekijä erityisesti teknisten polymeerien osalta, sillä tavoitteena on ollut kehittää käytön kannalta erittäin edullisia materiaaleja. Eräs parhaista esimerkeistä ovat lentokoneiden materiaalit, sillä normaalin matkustajakoneen polttoainekulut koneen painoa (kg) kohti ovat hyvin suuret, tuhansia litroja koneen elinaikana. Vastaava määrä henkilöautoissa on noin 10 – 15 litraa. Tämä tarkoittaa, että lentokoneen painon vähentämisellä voidaan säästää hyvin paljon koneen koko elinaikana. Tästä on selkeänä seurauksena se, että lentokoneiden raaka-aineiden kehittämisessä ei kierrätystavoitteilla ole suurtakaan merkitystä. Ainoa merkittävä tekijä on raaka-aineen hinta. On myös huomattava, että lentokoneiden kohdalla käytettyjen materiaalien keräys ei ole kovinkaan suuri ongelma. Tässä tapauksessa merkittävänä tekijänä on se, että lentokoneiden materiaalien koko elinaika on helposti hallittavissa yhtenä kokonaisuutena. Monissa muissakin kohteissa polymeerimateriaaleilla on saavutettavissa hyvin suuria etuja tuotteen elinkaaren aikana, mutta ongelmana on se, että materiaalien koko elinaika ei ole hallittavissa yhtenä kokonaisuutena. Esimerkiksi elintarvikepakkausten elinajasta vastaavat raaka-aineiden valmistajat, elintarvikepakkausten valmistajat, elintarvikkeiden myynti ja elintarvikkeiden käyttö ja elintarvikepakkausten kierrätys.

3.2 Polymeerimateriaalit ja ympäristö

Polymeerimateriaalien ympäristöasioiden osalta vaikuttavia tekijöitä on paljon. Pääosa polymeereistä on edelleen biohajoamattomia ja niin sanottujen biohajoavien polymeerien osuus muovien kokonaismäärästä on muutaman promillen tasolla. Biohajoavien polymeerien määrä kasvaa suurella nopeudella ja synteettisten polymeerien merkittävästi hitaammin. On kuitenkin todettava, että tilanne on pitkälti sama kuin tilanne lasi- ja hiilikuidun tapauksessa, jossa hiilikuitujen käyttö on kasvanut jo useita vuosikymmeniä hyvin nopeasti, mutta kuitenkin hiilikuitujen prosentuaalinen osuus kuitujen koko käyttömäärästä on pienentynyt. Tässä kohtaa ei ole otettu huomioon selluloosapohjaisten luonnonkuitujen käytön kasvua.

Biohajoavat muovit muodostavat kuitenkin julkisesti merkittävän materiaaliryhmän ja sille ovat tyypillistä ainakin seuraavat tekijät:

- Biohajoavien materiaalien hajoavuus on standardoitu siten, että näiden materiaalien tulee hajota tietyn ajan kuluessa tietyissä olosuhteissa.

- Biohajoavien materiaalien tulisi hajota sellaisiksi yhdisteiksi, joita löytyy normaalisti luonnosta. Ongelmana biohajoavien muovien osalta ovat niissä olevat lisä- ja apuaineet, jotka eivät välttämättä hajoa standardien mukaisesti, mutta joiden käyttö on sallittua. Tässä raportissa ei puututa enempää biohajoaviin polymeereihin, vaikka niiden merkitys on koko ajan kasvussa.

Synteettisten muovien (polymeerien) hajoaminen on hyvin monimutkainen asia. Ensinnäkin on muistettava seuraavat muovien kohdalta keskeiset asiat. Täysin puhtailla polymeereillä ei ole juurikaan teknistä käyttöä, sillä käytännössä muovit koostuvat polymeereistä ja erilaisista lisä- ja apuaineista. Lisä- ja apuaineiden avulla on mahdollista saada muoveille käytännössä tarpeellisia ominaisuuksia. Hyvin merkittävä tekijä muovien ominaisuuksien kannalta on muovien prosessointi ja prosessoinnin aikana syntyvä molekyyllitason rakenne ja sen aikaansaamat ominaisuudet.

Muovien apu- ja lisäaineiden suhteen on muistettava seuraavat perustavaa laatua olevat tekijät (a) muovien tulee täyttää niille eri käyttötarkoituksissa edellytetyt vaatimukset (b) yksi tärkeä asia tässä suhteessa ovat nämä apu- ja lisäaineet. Jos ne eivät saata muovien ominaisuuksia standardeissa esitettyjen vaatimusten ulkopuolelle, niin näitä apu- ja lisäaineita ei tarvitse ilmoittaa muoviraaka-aineiden datatietojen yhteydessä. Tästä on (c) seurauksena se, että kaupallisissa muoveissa voi olla hyvin paljon erilaisia apu- ja lisäaineita, joista muovien käyttäjillä ei ole mitään tietoja. Esimerkiksi lääketieteellisuuden polylaktidit ovat näitä materiaaleja ja niillä on ainakin kaksi merkittävää tekijää (1) niiden raaka-ainehinta on tuhatkertainen vastaaviin kaupallisiin perusmuoveihin verrattuna ja (2) näiden materiaalien prosessoitavuus on huomattavasti vaikeampi kuin vastaavien kaupallisten perusmuovien prosessoitavuus. Muovien apu- ja lisäaineiden tuomat ongelmat ovat erikoismuoveilla ja teknisillä muoveilla paljon valtamuoveja suuremmat. Tämä johtuu pitkälti siitä, että valtamuovien käyttö on monta kertaluokkaa teknisiä ja erikoismuoveja suurempaa. Esimerkiksi normaalien elintarvikepakkausten paino puolittuu noin kymmenessä vuodessa ja tästä aiheutuneet edut ovat niin suuria, että näiden muovien kehitykseen on voitu käyttää paljon resursseja. Monien teknisten ja erikoismuovien osalta kannanottona on se, että on edullisempaa yrittää korjata ongelmia tapauskohtaisesti tuotteiden valmistuksen yhteydessä kuin panostaa suuria resursseja materiaalien kehittämiseen.

3.3 Synteettisten polymeerien hajoaminen

Synteettiset polymeerit ovat ulkoisten tekijöiden (lämpö, UV-valo, vesi) vaikutuksesta vanhenevia (hajoavia) materiaaleja. Monissa tapauksissa vanhenemista on pyritty hidastamaan ja estämään apu- ja lisäaineilla. Muovien tarkkaa elinaikaa ei ole tiedossa, sillä se riippuu hyvin paljon käyttöolosuhteista, Tämä on joissakin tapauksissa haaste, koska muovituotteiden käyttöolosuhteita ja -paikkoja ei aina ole etukäteen mahdollista tietää. Tästä voi esimerkkinä kertoa erään materiaalin tapauksen, josta annettiin joskus ilmoitus, että käyttöikä Suomessa on useita vuosia, Keski-Euroopassa vuosi, Välimeren alueella muutaman kuukauden ja Afrikan osalta ei vastausta ole. Samalla tuotiin myös esille materiaalin pieneläinten kesto eli Afrikassa termiitit voivat tuhota materiaaleja hyvinkin nopeasti. Esimerkiksi muovien käyttöikä Suomen olosuhteissa vesiputkistoissa (puhdas vesi ja jätevesi) on hyvin pitkä. Joitakin vuosia sitten TTY:ssä tehdyssä diplomityössä todettiin, että Suomesta ei löytynyt ainoatakaan vesiputkistovauriota, jonka syynä olisi ollut käytetty muovimateriaali. Vauriot johtuivat sataprosenttisesti putkiston väärästä asennuksesta ja väärinkäytöstä.

Muovit voidaan jakaa synteettisiin ja luonnon materiaaleihin. Pitkällä ajanjaksolla luonnon materiaaleista ei ole pitkäaikaista vaikutusta luontoon, koska ne hajoavat ajan mukana alkuperäisiksi luonnon materiaaleiksi. Synteettisten muovien osalta tilanne on hyvin paljon vaikeampi.

Synteettisten muovien tarkkaa elinikää ei tiedetä, mutta se voi olla pitkä verrattuna ihmisten olemassaoloon ja tästä syystä se voi aiheuttaa hyvin pitkään vaikuttavia muutoksia. Esimerkiksi muovisten putkimateriaalien kestävyys on käytännön mukaan ainakin runsaasti yli 50 vuotta. Ensimmäisten muovimateriaalin käyttöönotosta on nykyisin kulunut noin 150 vuotta.

Luonnon kannalta erittäin tärkeä tekijä on muovituotteiden hajoaminen luonnossa. Hajoamiseen vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat luonnon ympäristöolosuhteet ja pieneliöt. Ensimmäisessä vaiheessa muovit hajoavat pienemmiksi ja pienemmiksi palasiksi ja tämä hajoaminen johtuu polymeeriketjujen katkeamisesta ja sitä kautta muovien mekaanisten ominaisuuksien heikkenemisen johdosta. Näillä muovipaloilla voi olla vaikutusta luonnossa eläimiin ja kasveihin. Eräs hyvin paljon esillä ollut asia on muovien joutuminen vesistöihin, kuten jokiin, järviin ja meriin.

Muovien partikkelikoon pienentyminen näkyy myös alkuperäisen polymeerin hajoamisena lyhyemmiksi, uusiksi polymeereiksi, Synteettisten polymeerien osalta polymeerien hajoaminen monomeereiksi on hyvin epätodennäköistä ja pääosa näistä polymeereistä on olosuh-

teissa, joissa polymeerejä hajottavia ulkoisia tekijöitä (UV-säteily, lämpö) on vähäistä. Tässä tilanteessa polymeerien kerääminen pois luonnosta on hyvin hankalaa ja tämä johtuu polymeerien hyvin pienestä koosta ja määrästä sekä niiden tiheydestä (samaa suuruusluokkaa veden kanssa). Hyvin merkittävä tekijä on näiden polymeerien vaikutus luontoon (ihmiset, eläimet ja kasvit). Tilannetta luultavasti helpottaa se, että biohajoamattomat aineet eivät vaikuta eläimiin (nämä polymeerit eivät hajoa eläinten ruuansulatuselimistössä) ja vähitellen tällaiset materiaalit sitoutuvat maaperään siten, että ne eivät enää ole liikkeessä.

3.4 Muovien kierrätyksen vaiheet

Muovien kierrätys, lukuun ottamatta muovituoteteollisuuden sisäistä kierrätystä, sisältää monia vaiheita ennen kuin siitä voidaan valmistaa uusia tuotteita. Muovipakkausten keräys- ja vastaanotto tulee pakkauksista ja pakkausjätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen (518/2014) mukaisesti järjestää jokaisessa vähintään yli 10 000 asukkaan taajamassa vuoden 2016 alusta. Muovin vastaanottopisteitä tulee olla vähintään 500 kpl. Isot taajamat Suomessa levittäytyvät suurelle alueelle, joten suurin osa vähimmäisvelvoitteen mukaisesta 500 pisteestä tulee sijoittumaan näihin isoihin taajamiin. Vastaanottoaikkojen sijoittamista koskevat vaatimukset voivat edellyttää keräyspisteitä näiden suurten taajamien ulkopuolelle. (Moliis, Salmenperä & Rehunen 2014).

Edellä mainittuihin vastaanottopisteisiin tuodaan lähinnä kotitaloudessa syntyviä muovilajeja. Niiden joukossa on todennäköisesti hyvin vähän teknisten muovien ryhmään kuuluvia muoveja. Muovien kierrätysmerkeistä 07 tarkoittaa kaikkia muita muoveja, ja tekniset muovit sisältyvät juuri tähän ryhmään. Tuotteissa käytössä olleita teknisiä muoveja saadaan tehokkaimmin talteen sellaisista jätteenkäsittelylaitoksista, joissa lajitellaan eri materiaali- ja jätteet omiksi ryhmikseen.

Keräyksen jälkeen muovijäte yleensä esikäsitellään paalaamalla. Näin jäte saadaan pienempään tilaan, eikä kuljeteta jättemateriaalin mukana turhan paljon ilmaa. Suomi on harvaan asuttu maa, mistä johtuen jätteen kuljetusmatkat saattavat olla pitkiä ja täten nostavat uusiomateriaalin hintaa.

Muovijätteen vastaanottajat tekevät vastaanottotarkastuksia ja purkavat paalin ennen jätteen syöttämistä käsittelylinjalle. Linjalla muovijäte murskataan, erotellaan eri muovityypit toisistaan, pestään ja kuivataan. Tarvittaessa tehdään lisäaineistus ja sen jälkeen muovi granuloi-

daan, pakataan ja toimitetaan asiakkaille. Lisäaineistus ja granulointi kannattaa tehdä samassa prosessissa, koska ne ovat yleensä sulatyöstöprosesseja, esimerkiksi kaksiruuvisekoitussekstruusio, koska sulatyöstöprosessi on yleensä kallis.

Pahimmaksi pullonkaulaksi mainitaan lopputuotteiden rajalliset markkinat, sillä ilman toimivia käyttökohteita materiaalikierrätys on vaikeaa. (Suomen Uusiomuovi Oy). Syynä tähän on yleensä kierrätysmuovin rajoitetut ominaisuudet, jotka estävät niiden käytön monissa käyttösovelluksissa ja tähän voitaisiin vaikuttaa kierrätysmuovin tehokkaammalla modifioinnilla.

4 MUOVIEEN UUDELLEENKÄYTTÖ- JA KIERRÄTYSMENETELMÄT

4.1 Tuotteiden uudelleenkäyttö

Tuotteen uudelleenkäyttö tarkoittaa sitä, että tuotetta käytetään uudestaan sellaisenaan alkuperäiseen tarkoitukseen. Muovit ovat tärkeässä roolissa pakkausten keventämisessä sekä elintarvikkeiden hävikin vähentämisessä. Muovipakkaukset myös kiertävät tuotteina, esimerkiksi elintarviketeollisuuden pakkauslaatikot ja panimoteollisuuden pullotarjottimet sekä erilaiset kanisterit teollisuuden kuljetuksissa. Muista esimerkeistä voidaan vielä mainita muovikassit. Ne kestävät useamman kauppareissun ja niitä voi käyttää moneen muuhunkin tarkoitukseen. Ennen kaikkea muovikassia tulee käyttää uudelleen ja uudelleen muovikassina.

4.2 Mekaaninen kierrätys

Mekaanisessa kierrätyksessä muovijäte voidaan joko käyttää alkuperäiseen tai vastaavanlaiseen tarkoitukseen uudelleen tai muokata uusiin käyttötarkoituksiin. Palautus samaan käyttötarkoitukseen vaatii yleensä puhdasta yhdestä muovityypistä koostuvaa raaka-ainetta. Tällaista muovia löytyy parhaiten teollisuuden sivuvirroista ja muista prosessijätevirroista. Useimmiten uusissa käyttötarkoituksissa tapahtuva mekaaninen kierrätys tarkoittaa talteen otetun muovin muokkausta (modifiointia) uusiin käyttötarkoituksiin, joissa ei ole yhtä tiukkoja laatuvaatimuksia kuin esimerkiksi elintarvikkepakkauksissa.

Mekaanisessa kierrätyksessä muovin ominaisuudet saattavat heikentyä primääriseen raaka-aineeseen verrattuna. Eri muovityyppien sekoittaminen vaikuttaa raaka-aineen ominaisuuks-

siin ja rajaa siten mahdollisia käyttökohteita. Helpoimmin kierrätettäviä muoveja löytyy teollisuuden ja kaupan jätemuoveista.

4.2.1 Kierrätys muovituotteita valmistavissa yrityksissä

Muovituotteita valmistavissa yrityksissä syntyy aina jonkin verran kierrätettäviksi sopivia materiaalien sivuvirtoja. Yritykset pyrkivät pienentämään sekä käyttämään sivuvirtoja hyödyksi mahdollisuuksien mukaan. Näistä sivuvirroista ei yleensä ole saatavissa tietoja, koska ne kertovat samalla yrityksen toiminnan laadusta. Sivuvirtoja syntyy esimerkiksi seuraavissa tilanteissa.

1. Tuotetta kehitettäessä tehdään erilaisia koeajoja, joiden tavoitteena on kehittää muotti tai työkalu ja valmistusprosessi lopulliseen toimintakuntoon (ramp up -prosessi). Näissä tapauksissa voi koko tuotanto olla sivuvirtaa. Tässä vaiheessa kierrätystä voidaan tehostaa ainakin seuraavilla tavoilla:
 - Suunnitellaan uuden tuotteen työkalut alunperin mahdollisimman hyvin.
 - Uusien tuotteiden suunnittelussa ja työkalujen testauksessa hyödynnetään olemassa olevia simulointiohjelmia ja vastaavia, jolloin välttyään ainakin kaikkein pahimmilta virheiltä.
 - Kerätään syntynyt sivuvirta talteen mahdollisimman puhtaana.
 - Tuotannon ylösajossa syntyy aina jonkin verran epäkurantteja tuotteita sivuvirtana. Näiden määrää voidaan minimoida hyvän prosessin hallinnan avulla. Myös tässä on tärkeää huolehtia sivuvirtojen puhtaudesta.

2. Esimerkiksi ruiskuvaluprosessissa kaksi keskeistä sivuvirtaa ovat (a) tuotteen syöttö- ja jakokanavistot sekä (b) epäkurantit tuotteet. Syöttö- ja jakokanavistoista syntyvät sivuvirrat voidaan poistaa käyttämällä muoteissa kuumakanavistoja ja tämä on yleensä mahdollinen kaikkien materiaalien ja tuotteiden tapauksessa. Epäkuranttien tuotteiden määriä voidaan minimoida paremmalla prosessin hallinnalla.

Sivuvirtojen käytön suhteen on pyrittävä noudattamaan ainakin seuraavia asioita: Sivuvirtojen tulee pysyä mahdollisimman puhtaina ja tämä on myös täysin mahdollista toteuttaa.

- Materiaalien prosessoinnin hallinta on erittäin tärkeää, jotta prosessointiolosuhteet eivät heikentäisi liikaa materiaaliominaisuuksia. Käytännössä tekniset kestopuovut kes-

tävät ilman lisäaineistusta muutamia prosessointikertoja. Normaalisissa tuotannossa yleensä yksi kierrätyskerta on riittävä.

Erittäin tärkeää on, että sivuvirrat voidaan kierrättää mahdollisimman nopeasti. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat ekstruusioprosessin sivuvirrat, jotka kerätään, rouhitaan ja syötetään välittömästi neitseellisen raaka-aineen joukkoon. Tärkeää on myös, että kierrätettävää materiaalia annostellaan mahdollisimman tasaisesti neitseellisen raaka-aineen joukkoon. Yleensä ruiskuvalussa annetaan ohjeeksi 20 % raaka-aineen määrästä, mutta hyvin hallitussa prosessissa määrä voi olla paljon suurempi.

Yritysten sisäinen materiaalikierrätys toimii yleensä erittäin hyvin. Tarkkoja tietoja näistä ei ole saatavilla, koska nämä tiedot kertoisivat yrityksen tuotantoprosessin toiminnan laadusta ja nämä tiedot ovat yleensä yritysten kannalta luottamuksellisia tietoja.

Sulatyöstöllä valmistettavien tuotteiden valmistusvaiheessa tapahtuu aina jossain määrin materiaalin termistä hajoamista ja lisä-/apuaineiden vähenemistä. Nämä muutokset ovat selkeästi riippuvaisia prosessissa käytettävästä muovista. Jos lisäaineistus on riittämätön uudelleenkäyttöä ajatellen, niin sitä voidaan tarpeen vaatiessa lisätä. Termistä hajoamista ei yleensä ole mahdollista eliminoida muuten kuin lisäämällä materiaaliin stabilisaattori. Yleensä monet kestopuovut kestävät ainakin kahdesta kolmeen sulatyöstökertaa ilman suurempia ominaisuuksien muutoksia.






4.2.2 Käytössä olleiden tuotteiden kierrätys

Parhaiten kierrätykseen soveltuvat sellaiset käytössä olleet tuotteet, jotka ovat säilyneet mahdollisimman vanhentumattomina ja puhtaina. Tässä vaiheessa on otettava huomioon ainakin seuraavat tekijät:

- Muoveja vanhentavia tekijöitä ovat erityisesti lämpö ja UV-säteily (auringonvalo), jotka voivat pahimmillaan estää kokonaan materiaalikierrätyksen.
- Muovituotteiden likaantuminen on myös eräs ongelma ja likaantumisessa on huomattava seuraavat asiat. Osa liasta on poistettavissa materiaalin pesun avulla. Muoviin tarttuneet epäpuhtaudet (esimerkiksi hiekka ja metallipartikkelit) ovat poistettavissa sulasekoitusvaiheessa sopivalla suodattimella. Muoviin diffundoituneet kaasut ja nesteet ovat myös pääosiltaan poistettavissa sulasekoitusvaiheessa.
- Käytön aikana tapahtuu myös eri lisä-/apuaineiden vähenemistä, mutta tämä voidaan kompensoida uusilla lisäaineilla uusiomateriaalin valmistuksen aikana.

Käytössä olleiden muovituotteiden tunnistamisen helpottamiseksi on sovittu yhteisistä kierrätysmerkinnöistä (Taulukko 2.). Valitettavasti kaikista muoveista ei ole olemassa vastaavia merkintöjä.

Taulukko 2. Nämä merkit ovat yleisesti sovittu tapa merkitä mistä muovista tuote on valmistettu. (Suomen Uusiomuovi Oy)

MUOVITYYPPI OMINAISUUDET		YLEISET OMINAISUUDET
Polyeteeni- tereftalaatti PET		Kirkas, kova, kemikaaleja kestävä
Polyeteeni high-density PE-HD		Samea tai värillinen, joustava, vahamainen pinta
Polyvinyyl- kloridi PVC		Erittäin moni- muotoinen ja -piirteinen
Polyeteeni low-density PE-LD		Pehmeä, joustava, vahamainen pinta
Polypropeeni PP		Jäykkä, sitkeä, hyvin moni- käyttöinen
Polystyreeni PS		Lasinkirkas tai värjätty, hauras
Muut		Kaikkien ylläolevien yhdistelmät ja muut materiaalit

Tuotteiden keräys, kuljetus ja varastointi

Nämä asiat ovat pitkälti tuotekohtaisia. Tuotteiden keräys, kuljetus ja varastointi on joidenkin tuotteiden tapauksessa pystytty järjestämään hyvin. Näistä voidaan mainita esimerkkeinä pakkauslaatikot ja pullot. PET-pullot kierrätetään erillisen panttiperusteisen palautusjärjestelmän kautta kaikkialla Pohjoismaissa.

Seuraavassa esimerkki on vanhasta ratkaisusta: Tuotteena oli kirjoituskoneen värinauha

- Värinauha ja sen kotelo oli valmistettu kokonaan saman muovin eri lajikkeista
- Värinauhat myytiin samasta muovista valmistetussa paketissa (kymmenen värinauhaa paketissa)
- Käytön jälkeen värinauha laitettiin takaisin tähän pakettiin
- Kun kaikki värinauhat oli käytetty, niin paketti laitettiin postiin ja posti palautti paketin tuotteen valmistajalle (paketissa oli palautusosoite ja paketin postimaksu on maksettu).

Muovijätteestä noin 29 % kierrätettiin vuonna 2012. Pääosa kierrätetystä muovista oli tuotantohylkyä sekä teollisuuden ja kaupan pakkausjätettä, kuten kalvoja, säkkejä ja kanistereita. (Blauberg 2015)

Lainsäädäntö (JL 9 §) edellyttää mm., että tuotteiden valmistuksessa käytetään säästeliäästi raaka-aineita ja raaka-aineina käytetään jätteitä, vältetään haitallisia aineita sekä huolehditaan siitä, että tuote on kestävä, korjattava ja uudelleenkäytettävä sekä jätteenä kierrätettävä. (Blauberg 2015) Taulukossa 3 on esitetty muovipakkausten kierrätystavoitteet.

Tuotteiden mahdollisesti sisältämien vaarallisten aineiden kohdalla on huomattava RoHS -direktiivin, romuajoneuvodirektiivin, SER –direktiivin sekä pakkausjätedirektiivin säännökset, jotka kieltävät tiettyjen haitallisten aineiden käytön tuotteita valmistettaessa.

Valtaosa kulutuksen tuottamasta muovijätteestä jää kierrättämättä kaikkialla Pohjoismaissa. Kierrätystä voitaisiin kuitenkin lisätä tehostamalla keräämistä, parantamalla lajittelu- ja kierrätysprosesseja sekä tehostamalla kierrätystuotteiden markkinapotentiaalia. Yhteispohjoismaisessa tutkimushankkeessa selvitettiin Pohjoismaissa syntyvän muovijätteen keräyksen ja kierrätyksen tehostamismahdollisuuksia. (JätePlus 3/2015)

VN asetus kaatopaikoista (331/2013) kieltää sellaisen jätteen sijoittamisen kaatopaikalla, jonka orgaanisen hiilen kokonaismäärä on yli 10 % (28 §). Säännöstä sovelletaan 1.1.2016 lähtien. Rakennus- ja purkujätteen lajittelussa ja muussa mekaanisessa käsittelyssä syntyvän jätteen osalta kuitenkin vasta 1.1.2020 lähtien. Muovijätettä ei enää edellä mainitun ajankohdan jälkeen voi sijoittaa ilman käsittelyä kaatopaikalle. (Blauberg 2015)

Taulukko 3. Muovipakkausten kierrätystavoitteet EU:ssa ja toteuma Suomessa vuonna 2012. VNA tarkoittaa Valtioneuvoston asetus. (Tarja-Riitta Blauberg, 2015)

Säädös	Tavoite	Toteuma v. 2012
EU Direktiivi pakkauksista ja pakkausjätteistä	Muovipakkaukset 22,5 % kierrätys (2008)	25 %
VNA pakkauksista ja pakkausjätteistä (518/2014)	Kierrätysasteen suhteellinen kasvu verrattuna v. 2012 toteumiin 20 % (=25 %:sta => 30 %:iin)	25 %
VNA pakkauksista ja pakkausjätteistä (518/2014)	Muovipakkaukset ilman pantillisia juomapakkauksia 16 % kierrätys (2016) 22 % kierrätys (2020)	12 %
VNA juomapakkausten palautusjärjestelmä	Pantilliset juomapakkaukset 90 % kierrätys v. 2015	102 %
Komission uusi ehdotus (COM(2015) 596 final) 2.12.2015	55 % kierrätys (2025) + muutoksia laskentamenetelmiin	25 %

Tuotteiden lajittelu, pesu ja rouhinta

Kierrätettävien muovituotteiden osalta muovin puhtaus on tärkein tekijä. Puhtaus nostaa kaikin tavoin muovin kierrätettävyyttä ja likaisuus taas vastaavasti alentaa kierrätettävyyttä. Epäpuhtaudet vaikuttavat samalla tavalla myös kierrätettävän materiaalin kustannuksiin.

Muovin puhtaus voidaan jakaa kolmeen eri tasoon:

- Muovit tulisi saada ennen materiaalikierrätystä puhdistettua kaikista mahdollisista epäpuhtauksista, sillä ne vaikuttavat muovin prosessoitavuuteen ja käyttöön. Puhdistusmenetelmiä on hyvin paljon ja käytettävä menetelmä riippuu poistettavista materiaaleista.
- Muovin materiaalikierrätystä edistää myös muovien lajittelu polymeeripohjan mukaan eri muoveihin. Hyvin vaikeana ongelmana on erottaa toisistaan monikerrosrakenteissa olevat muovikerrokset, sillä käyttö yleensä edellyttää erittäin hyvää kerrosten välistä adheesiota.
- Materiaalikierrätyksen kannalta tärkein tavoite on lajitella käytetyt muovituotteet ryhmiin kaupallisten raaka-aineiden perusteella. Kierrätysmuovin, jossa on mukana saman muovin eri kaupallisia raaka-aineita ominaisuudet poikkeavat hyvinkin paljon puhtaiden kaupallisten lajikkeiden ominaisuuksista.

Käytettyjen muovituotteiden pesu on yleensä ratkaistava tapauskohtaisesti. Suurissa määrissä tapahtuvassa käsittelyssä prosessivaiheet ovat yleensä seuraavat:

- Ensimmäisessä vaiheessa poistetaan selvästi fraktioon kuulumattomat tuotteet ja voidaan myös lajitella kierrätystuotteet karkeasti (esimerkiksi PET pullojen tapauksessa poistetaan silmämääräisesti muut tuotteet ja suoritetaan värin mukainen lajittelu ja tämä voidaan tehdä manuaalisena operaationa tai koneellisesti)
- Seuraavassa vaiheessa tuotteet rouhitaan sopivan kokoisiksi palasiksi ja nämä palaset voidaan tämän jälkeen pestä. Tässä vaiheessa saadaan massasta eroteltua pe- sussa irtoava lika ja tiheydeltään perusmateriaalista poikkeava materiaali.
- Seuraavana vaiheena on rouheen lajittelu haluttuihin fraktioihin. Tämä vaihe voidaan suorittaa esimerkiksi rouheen värin perusteella tai määrittämällä IR-spektroskopian avulla erikseen jokaisen palasen peruspolymeeri.

Materiaalien lisäaineistus ja modifiointi

Kierrätettävän materiaalin käytettävyyttä voidaan olennaisesti parantaa lisäaineistuksen ja modifioinnin avulla. Materiaalin käytettävyys riippuu erittäin paljon materiaalin ominaisuuksista ja prosessoitavuudesta sekä näiden vaihtelevuudesta. Mitä pienemmäksi saadaan materiaalin ominaisuusvaihtelut, niin sitä helpompi sitä on käyttää erilaisiin sovelluksiin.

Kierrätykseen sopivan materiaalin selvittämisessä ja hankinnassa tulee kiinnittää huomiota materiaalin puhtauteen kaikilla kolmella eri tasolla: puhdas muovi, puhdas sama muovi ja puhdas sama kaupallinen muovi. Kierrätykseen tarvittavan muovin määrä tulee olla riittävän suuri. Suomessa muovin käyttö asukasta kohden on noin 100 kg / vuosi eli koko Suomen jätemäärä on luokkaa 500 tuhatta tonnia vuodessa. Teknisten muovien osuus kokonaismuovimäärästä on 15 - 20 % eli teknisten muovien kokonaismäärä on luokkaa 70 - 100 tuhatta tonnia vuodessa. Erikoismuovien määrä on alueella 10 - 20 tuhatta tonnia vuodessa.

4.2.3 Materiaalien modifiointitarpeita ja käytettävissä olevia menetelmiä.

Kierrätystä varten tulisi määrittää ainakin seuraavia asioita vaikka materiaaleja ei sen enempää lajiteltaisi:

- Materiaalin todellinen puhtaus
- Materiaalin viskositeetti lämpötilan funktiona eri leikkausnopeuksilla
- Materiaalien työstettävyys
- Materiaalin eri ominaisuuksien määrittäminen

Näin toteutetun karakterisoinnin jälkeen voidaan suunnitella materiaalien modifiointi uusiokäyttöä ajatellen. Seuraavassa on käyty lävitse joitakin modifiointimahdollisuuksia ja niiden toteutuksessa huomioon otettavia tekijöitä.

Prosessoitavuus on eräs muovien tärkeimmistä ominaisuuksista ja tämän vuoksi materiaali olisi modifioitava siten, että sen viskositeetti on sopiva käytettäville valmistustekniikoille ja viskositeetti on mahdollisimman vakio koko prosessoinnin ajan. Tärkein tapa viskositeetin modifiointiin on neutseellisten polymeerien (muovien) lisääminen kierrätysmateriaaliin ja joissakin tapauksissa voidaan myös käyttää erilaisia lisäaineita.

Lisäaineistuksen osalta kannattaa muistaa seuraava perustekijä muovien seostuksessa. Normaalisissa ekstruusioplastisoinnissa polymeerit (muovit) voivat sekoittua keskenään riittävän homogeeniseksi materiaaliksi. Erilaisten jauhemaisten lisäaineiden riittävä sekoittuminen edellyttää yleensä riittävän suuria leikkausjännityksiä seostuksen aikana. Tehokkaimpia sekoittimia ovat moniruuvisekoitussekoituskoneet ja staattiset sekoittimet. Erittäin hyvä esimerkki onnistuneesta lisäaineistuksesta on kaupallisten muovien valmistus, joissa lisäaineet ja valmis polymeeri sekoitetaan sulasekoituksella valmistusprosessin loppuun.

Mekaaniset ominaisuudet ovat toinen tärkeä teknisten muovituotteiden ominaisuus ja tästä johtuen myös kierrätysmuovin mekaanisten ominaisuuksien tulisi olla riittävän hyvät. Kierrätysmuovien tapauksessa mekaanisia ominaisuuksia modifioidaan usein erilaisilla täyteaineilla. Täyteaineiden osalta merkittäviä (huomioon otettavia tekijöitä) tekijöitä ovat seuraavat;

- **Seosainepartikkelien muoto.** Muodoltaan ne jaetaan seuraaviin ryhmiin kuidut (esim. lasikuitu), neulamaiset (esim. wollastoniitti), levymäiset (esim. kiille), partikkelimaiset (esim. hiekka), pallomaiset (esim. lasipallot ja ontot lasipallot) ja näiden eri muodot.
- **Seosainepartikkelien koko.** Suuret partikkelit, joiden partikkelikoko on kymmeniä mikrometrejä, ovat hyvin pitkälti täyteaineita. Seuraavana kokoluokkana ovat mikrometritasoiset partikkelit, jotka voivat parantaa esimerkiksi iskulujuutta ja UV-säteilyn kestävyyttä. Hyvin merkittävä ryhmä ovat nanoseosaineet, joilla voidaan vaikuttaa lähes kaikkiin muovien mekaanisiin ominaisuuksiin hyvinkin merkittävästi. Mikro- ja nanotasoisien seosaineiden ero on siinä, että nanotasoiset partikkelit ovat samaa suuruusluokkaa kuin polymeerimolekyylit. Yhdestä mikrometrin halkaisijaisesta partikkelista tulee miljardi halkaisijaltaan nanometrinen kokoista partikkelia. Tämä tarkoittaa sitä, että nanoseosteisissa muoveissa jokainen seosainepartikkeli ja polymeerimolekyylit ovat keskinäisessä kontaktissa, kun taas mikrometrin partikkelien kanssa on kon-

taktissa vain hyvin pieni osa polymeereistä. Käytännössä nanoseosteisten polymeerien sisäinen rajapinta-ala on hyvin paljon suurempi kuin mikrometritasoisten partikkelien muodostamien komposiittien.

- **Seosaineiden pintakäsittely.** Lujite- ja seosaineiden pintakäsittelyaineet voivat vaikuttaa merkittävästi seosaineiden kostumiseen polymeerissä, seosaineiden ja polymeerin väliseen adheesioon ja adheesioon pitkäaikaiskestävyyteen. Pintakäsittelyn suhteen on myös muistettava, että pintakäsittely nostaa olennaisesti seosaineiden hintaa ja voi alentaa seosaineiden käyttöikä.
- Hyvänä esimerkkinä seosaineiden käytöstä muoveissa on esimerkiksi wollastoniitin pintakäsittely. Sopivalla pintakäsittelyaineella ja määrällä pystyttiin wollastoniitilla parantamaan polypropeenin kaikkia mekaanisia ominaisuuksia. Toinen seosaine, serpentiiniitti, sai aikaan polypropeenin hyvin nopean termisen hajoamisen. Seostamisen aikana voi tapahtua myös polymeerien termistä hajoamista, joka voi esimerkiksi alentaa voimakkaasti muovin viskositeettia.

4.2.4 Kierrätettävyyden edistäminen

Muovien kierrätettävyyttä voidaan edistää eri tavoin. Seuraavassa on esitetty muutamia tekijöitä kierrätettävyyden edistämiseksi:

- Kierrätettävän materiaalin tulee olla puhdasta (materiaalien tulee olla vapaita epäpuhtauksista, vieraista aineista, materiaaliin ei saa olla sekoitettuna eri muovilajikkeita).
- Valitaan jo materiaalin valintavaiheessa sellainen materiaali, joka on kierrätettävissä (joukkoon ei saa joutua esimerkiksi biohajoavaa muovia).
- Kierrätettävän materiaalin määrän tulisi olla riittävän suuri ja ominaisuuksiltaan tasalaatuinen.
- Mitä arvokkaammasta raaka-aineesta on kysymys, niin sitä suurempi hyöty saadaan materiaalin kierrätyksessä.
- Suunnitellaan tuote siten, että tuotteen muoviosat on helppo irrottaa tuotteesta ja tuotteesta on selvä merkintä käytetystä muovista (nykyinen järjestelmä ei ole hyvä teknisten muovien osalta, koska lähes kaikki tekniset muovit kuuluvat koodinumeron 7 alle). Eräs esimerkki muovituotteen osien helposta irrottamisesta oli kokoonpanossa käytettyjen muoviruuvien kierteen valmistaminen muovista, joka saatiin tuotteen käytön jälkeen murtumaan jauheeksi mikroaaltokäsittelyn avulla.

Kierrätettävyyden edistäminen kaupallisten tuotteiden tapauksessa on usein hyvin haastavaa ja tilannetta voivat vaikeuttaa ainakin seuraavat tekijät:

- Raaka-aineiden kierrättäminen on kielletty esimerkiksi tietyiltä sairaalamuoveilta (esimerkiksi lääkeaineita ja erilaisia bakteereita sisältävät muovit), sekä tiettyjä pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteet), kuten tiettyjä palonestoaineita, sisältäviltä muoveilta.
- Kierrätysmateriaalien käyttö voi olla on kielletty tiettyjen tuotteiden kohdalla (elintarvikepakkaukset, sairaalamuovit).
- Tuotteen hankkija kieltää kierrätysmateriaalin käytön alihankkijaltaan (tuotteiden laadun mahdollinen aleneminen).
- Tuotteen valmistaja kieltäytyy kierrätysmateriaalien käytöstä (tuotteiden laatu ja prosessointiongelmia).

Nämä tekijät eivät missään tapauksessa tee kaikkien muovien kierrättämisestä mahdotonta. Kuitenkin pitää ottaa huomioon kiellettyjen aineiden käyttökiellot ja löytää sopivia tuotesovelluksia. Vaihtoehtona on myös kierrätyksen puhtaus, sillä esimerkiksi nykyisellä teknologialla puhdistettu kirkas PET-muovi voidaan käyttää virvoitusjuomapullojen raaka-aineeksi ilman lisäaineistusta.

4.3 Muovin kemiallinen kierrätys

Muovien kemiallinen kierrätys on muovin purkamista takaisin lähtöaineiksi eli monomeereiksi tai johonkin välimuotoon esimerkiksi vahaksi. Kemiallisen kierrätyksen etu on siinä, että kierrätetyistä monomeereista valmistettu muovi ei eroa mitenkään neitseellisestä eli öljystä valmistetusta muovista. Tämä edellyttää sitä, että kemiallisessa kierrätyksessä tulee pystyä poistamaan kierrätysmateriaalista kaikki muovissa olleet lisäaineet. Lisäaineiden määrät voivat olla hyvinkin pieniä ja tarkkaa tietoa näiden aineiden poistumisesta kemiallisen kierrätyksen aikana ei ole.

Kemiallisen kierrätyksen ongelmana on sen hinta. Tällä hetkellä kyseisiä kierrätyslaitoksia on lähinnä vain Saksassa. Parhaiten kemiallinen kierrätyslaitos toimii jo olemassa olevien petrokemian laitosten yhteydessä. Tällöin ei tarvitsisi tehdä kuin pieniä lisäinvestointeja. Kemiallista kierrätystä pidetään kuitenkin tulevaisuuden alana ja sitä tutkitaan jatkuvasti lisää. (Suomen Uusiomuovi Oy)

Muovijätteitä voidaan myös käyttää pelkistimenä masuuneissa rautamalmien tuotannossa raskaan polttoöljyn sijasta. Nykyisellä raudan tuotantomäärällä voitaisiin muovijätettä käyttää noin 220 000 tonnia vuodessa Euroopassa. (Merta, Mroueh; Meinander, Punkkinen, Vähä-Nissi & Kortet 2012)

4.4 Muovien käyttö energiana

Muovia kierrätetään materiaalina vain silloin, kun se on puhdasta ja sitä syntyy suuri määrä samaa tyyppiä. Kotitalouksissa syntyvä muovi on usein likaista ja sekalaatuista, joten sen kierrättäminen on vaikeampaa. Toistaiseksi muovit on hyödynnetty usein energiana joko rinka- ja polttolaitoksissa tai jätevoimaloissa. Näin voidaan vähentää uusiutumattomien energiaraaka-aineiden käyttöä.

Energijätteenä ei kuitenkaan kelpaa PVC-muovi (muovitunnus 03), sillä sen sisältämä kloori tuottaa palaessaan myrkyllisiä klooriyhdisteitä sekä aiheuttaa korroosiota voimalaitosten polttokattiloissa.

4.5 Biomassasta muoviksi ja uudelleen biomassaksi

Biopohjaisten muovien valmistus on ollut kasvussa siitä lähtien kun niitä ensimmäisen kerran alettiin valmistaa, mutta varsinaista läpilyöntiä ei vielä ole tapahtunut. Biomuovien tuotanto on n. 0,4 % koko muovialan raaka-aineista, eli 1,1 miljoonaa tonnia vuosittain. Näistä biopohjaisten osuus on 58 % ja biohajoavien osuus 42 %. Biomuovien valmistaminen on tehokasta ja nykyisten määrien valmistamiseen tarvitaan ainoastaan 0,1 % maailman viljelysmaista. (Muoviteollisuus ry (a))

Biomuovien todellinen hyöty on sovelluksissa, joissa biohajoavuus tai kompostoitavuus tuo tuotteen selkeän lisäarvon. Biopohjaisuus on myös perusteltua niin kauan kuin raaka-aineet voidaan tuottaa tehokkaasti ja luontoa liikaa kuormittamatta. Biopohjaiset muovit voi kierrättää kuten fossiiliset muovit ja biohajoavat muovit voidaan hyödyntää biokaasulaitoksissa tai teollisissa kompostoreissa, joissa vallitsee oikeat olosuhteet niiden hajoamiselle. Oikeat olosuhteet antavat mikro-organismeille mahdollisuuden toimia siten, että biohajoava muovi hajoaa vedeksi, hiilidioksidiksi (tai metaaniksi) sekä biomassaksi. (Muoviteollisuus ry (a))

5 MUOVIJÄTEVIRRAT

5.1 Muovin puhtaudesta

Muovin puhtaus on kierrätyksen kannalta keskeisimpiä tekijöitä ja puhtaus voidaan jakaa kolmeen keskeiseen ryhmään.

- (1) **Täysin puhdas muovi** tarkoittaa materiaalia, jonka koostumus ja puhtaus vastaavat kaupallisen neitseellisen muovin puhtautta. Kierrätettävän materiaalin osalta epäpuhtautena voi olla muutama sulatyöstökerta (1 - 3 plastisointikertaa), joissa materiaalin terminen hajoaminen on pysynyt niin pienenä, että sillä ei ole havaittavia vaikutuksia ominaisuuksiin ja prosessointiin. Yleensä kestopuovien prosessoinnissa ei käytetä mitään lisäaineita, jotka voisivat vaikuttaa muovin ominaisuuksiin. Prosessoinnin lisäaineet on yleensä lisätty raaka-aineeseen eikä niitä lisätä enää valmistusprosessissa. Esimerkkinä lisäaineistuksesta on myös kestopuovien värjäys, joka voidaan suorittaa prosessoinnin aikana värimasterbatchin tai väriaineen lisäämisenä, mutta joka nykyisin toteutetaan yleisimmin raaka-aineen lisäaineistuksen yhteydessä muoviraaka-ainetta valmistavissa yrityksissä. Yleensä voidaan sanoa, että tuotannon sivuvirrat ja valmiit käyttämättömät muovituotteet ovat täysin puhtaita.
- (2) Puhtaalla muovilla voidaan myös tarkoittaa **muovia, joka koostuu saman perusmuovin erilaisista lajikkeista**. Esimerkiksi paljon käytetyn PC/ABS (PC+ABS) muovin osalta tämä tarkoittaa sitä, että kierrätysmateriaali koostuu eri PC/ABS laaduista (kaupalliset PC/ABS raaka-aineet), sillä näiden erottelu toisistaan on käytännössä nykytekniikalla taloudellisesti mahdotonta. Eri PC/ABS laatujen välisenä erona ovat lähtömateriaalien moolimassat, moolimassajakaumat ja komponenttien väliset koostumuserot. Tällaisia kierrätysmateriaaleja saadaan kokoamalla eri laitteiden PC/ABS:stä valmistettuja osia ja huolehtimalla niiden mekaanisesta puhdistuksesta. Näissä materiaaleissa saattaa kuitenkin olla pieniä määriä neste- ja kaasuepäpuhtauksia. Sillä kestopuovit ovat materiaaleja, joihin voi ulkopuolisesta atmosfääristä diffundoitua pienimolekyylisiä aineita (vesi, rasvat, öljyt jne).
- (3) Kolmas puhtaustaso käsittää **muovit**, joihin on (a) käytön aikana **tarttunut pintaan erilaisia epäpuhtauksia** (käytännössä erilaisia likoja), (b) **eri muoveista koostuvan kierrätysmateriaalin** (johon puhdistuksen jälkeen jää aina pieniä määriä muita muoveja ja (c) **tuotteet**, jotka on valmistettu **useammasta muovista** (joista eri muovit on pyrittävä erottamaan toisistaan), mutta joihin jää kuitenkin jossakin määrin eri muoveja.

Hyvin keskeinen osa muovien puhtautta on mahdollisuudet pudistaa muovi. Puhdistuksen suhteen muovit voidaan jakaa kahteen ryhmään. Muoveissa olevat epäpuhtaudet, jotka ovat muovin joukossa omana faasinaan ovat käytännössä aina erotettavissa puhtaasta muovista. Esimerkiksi laminoituista tuulilaseista lasien laminointiin käytetty muovi (PVB, TPU, EVA) voidaan kierrätyksessä poistaa täydellisesti, sillä käytetty muovi ja lasi eivät keskenään reagoi kemiallisesti millään tavoin. Tuulilasin kierrätyksen kannalta ongelmia on tullut siitä, että laminointiin voidaan käyttää eri muoveja ja laminoinnissa käytetty muovikerros voi koostua useita eri muoveista. Tämän lisäksi laminointikerroksessa voidaan käyttää tuulilasin käyttäjävälisyyttä lisääviä aineita, kuten väriaineet, UV-säteilyn läpäisevyyteen vaikuttavia aineita.

Muoviin voidaan seostaa lisäaineita, jotka muovien prosessoinnin ja/tai käytön aikana voivat reagoida muovin kanssa. Näin muoviin voi syntyä faaseja, joiden erottaminen alkuperäisestä muovista voi olla hyvinkin hankalaa tai käytännössä mahdotonta.

Muovijätevirtojen suhteen on ajan mukana tapahtunut muovijätteen jakoa eri jätevirtoihin. Jätevirtajakoa on käytetty hyväksi esimerkiksi jätteen käsittelyn kehittämisessä kotimaisten ja kansainvälisten tavoitteiden saavuttamiseksi. On hyvä, että muovijätteet on jaettu eri muovijätevirtoihin, sillä siitä on merkittävää apua muovijätteen käsittelyn kehittämisessä.

5.2 Pakkausjätevirrat

Pakkausjätevirrat ovat globaalisti suurimmat muovien jätevirrat ja niiden osuus muovien kokonaiskäytöstä on suunnilleen kaksi kolmannesta koko jätemäärästä. Pääosa pakkausjätteestä on valtamuoveja (PE, PP ja PS) ja PVC:n osuus pakkausmuoveista on kymmenisen prosenttia. Pakkausmuovijätteelle tyypillisiä ominaisuuksia ovat seuraavat ja niitä voidaan hyödyntää kierrätyksen suunnittelussa:

- Jätevirtojen määrät ovat hyvin suuret
- Käytettyjen muovityyppien määrä on pieni
- Lisäaineiden käyttö on suhteellisen pientä
- Muovit ovat hyvin pitkälle kehitettyjä esimerkiksi prosessoinnin osalta
- Tuotteista suuri osa on monikomponenttimateriaaleja (monikerroskalvot)
- Tuotteissa on hyvin paljon painettuja tekstejä ja kuvia (painovärejä) ja erilaisia etikettejä

- Pakkausmateriaaleista noin kymmen prosenttia on PVC muovia, joka käyttö on yleensä kierrätyksessä kielletty, mikä asettaa suuria rajoituksia pakkausmuovien käytölle ja vaikeuttaa jätemuovin lajittelua

Kierrätyksen kannalta pakkausjätevirrat ovat hyvin positiivisia sillä jätevirrat ovat hyvin suuria ja nämä virrat pysyvät hyvin tasaisina ja suuria muutoksia ei millään tavoin ole odotettavissa.

5.3 Maatalousjätevirrat

Maatalousjätevirrat ovat määrällisesti viitisen prosenttia muovien käytöstä. Pääosa maatalousmuoveista on erilaisia valtamuoveja (PE, PP) ja pääosa tuotteista ovat yksinkertaisia muovikalvoja ja muoviastioita. Maatalousmuovijätevirroille on seuraavia ominaisuuksia:

- Maatalousmuovien tekniset ominaisuudet ovat alhaisella tasolla ja tästä johtuen niiden modifiointi toimiviksi kierrätysmuoveiksi on haasteellista
- Maatalousmuoveissa on yleensä runsaasti erilaisia biojätteitä
- Maatalousmuovijätteitä syntyy harvoissa paikoissa ja määrältään paljon
- Maatalousmuovijätteen keräys on helppoa (jos tuottajat ovat tietoisia asioista) ja halpaa
- Maatalousmuovijätteet altistuvat runsaasti UV-säteilylle ja kosteudelle, joilla voi olla hyvin suuri heikentävä vaikutus uusiomuovin ominaisuuksiin

Teknisen kierrätyksen kannalta maatalousmuovijätevirtoja ei voida pitää merkittävänä, mutta energiauusiokäytön kannalta ne ovat hyvin merkittäviä, sillä pääosa maatalousmuovijätteestä menee nykyään energiahyötykäyttöön.

Maatalousmuovien kierrätyksen edistämistä on selvitetty mm. ympäristöministeriön rahoittamassa kokeilu- ja kehittämishankkeessa vuonna 2015: ”Orgaanisia epäpuhtauksia sisältävien teollisten kalvomuovien pesukokeilu ja kierrätysprosessin kehitys”.

5.4 Rakennus- ja energiateollisuuden jätevirrat

Rakennus- ja energiateollisuuden jätevirrat ovat Euroopassa 10 - 20 % kokonaisjättemäärästä. Rakennus- ja energiateollisuuden jätevirroista voidaan todeta seuraavaa:

- Muovimateriaalien käyttö on yleensä pitkäaikaista ja tästä johtuen käytettävät muovit voivat poiketa toisistaan hyvinkin paljon
- Suomessa hyvin merkittävä osa muoveista on erilaisia lämpö- ja vesieristeitä

- Suomessa merkittävä osa rakennusmuoveista on liima-aineina käytettäviä kertamuoveja (vaneri, lastulevy ja villaeristeet)
- Hyvin merkittävä käyttökohde ovat erilaiset putkistot ja säiliöt
- Muovien käyttö rakentamisessa on voimakkaasti lisääntymässä, sillä muovien käytöllä voidaan parantaa olennaisesti rakennusten asuttavuutta.
- Erityisesti eristemateriaaleissa on käytetty POP-yhdisteitä, joten näiden ainoa käsittelytapa on energiahyötykäyttö

Rakennusten muovijätteen eräs suuri ongelma on se, että muovijätettä syntyy eniten rakennusten purkamis- ja korjaamisvaiheessa. Vaikeutena on muovijätteen erottaminen muusta jätteestä ja se, että muovijätteen erottaminen ja keräys nostaa purkukustannuksia enemmän kuin niistä on saatavissa taloudellista hyötyä. Rakennusjätevirtojen hallintaa on kehitetty pääasiallisesti määrittämällä rakennusmateriaalien kierrätysmäärävaatimuksia.

5.5 Sähkö- ja elektroniikkaromun muovit

Sähkö- ja elektroniikkaromujen (SER) muovien jätevirrat ovat koko ajan kasvamassa. Pääosa muoveista on teknisiä muoveja, mutta myös valtamuovien käyttömäärät ovat suuria.

Sähkö- ja elektroniikkaromujen kierrätykselle ominaisia piirteitä ovat:

- SER:lle on määritetty selkeät kierrätysvaatimukset
- SER:lle on kehitetty toimivia keräysjärjestelmiä
- SER tuotteet on mahdollista kehittää kierrätysystävällisiksi (puhtaus, purkaminen, lajittelu)
- teknisten ja erikoismuovien avulla on mahdollista kehittää SER tuotteiden käytettävyyttä
- SER tuotteet tarjoavat paljon kannattavia teknisten ja erikoismuovien kierrätysyrityksiä.
- SER tuotteiden tuottajavastuu on merkittävä

SER tuotteiden kehityksestä on vaikea tehdä suunnitelmia, sillä tuotteiden kehitys on hyvin nopeaa ja koko ajan tulee uusia vaatimuksia. Näistä eräs merkittävä on ollut ja on vieläkin tuotteiden palaminen ja materiaalien palamattomuuden kehittäminen.

5.6 Ajoneuvoromujen muovit

Ajoneuvoromujen kierrätysvirrat ovat yksi suurimmista kierrätysvirroista. Käytössä on hyvin paljon erilaisia ajoneuvoja: autot, moottoripyörät, junat, laivat, veneet, lentokoneet ja monet muut erikoisajoneuvot, ja niissä käytetään hyvin paljon muoveja ja muovien käyttö on koko ajan lisääntymässä. Ajoneuvojen materiaalikehityksessä vaatimukset ovat ajoneuvojen tuotteille hyvin korkeat. Esimerkiksi autojen jarrupolkimien valmistaminen ruiskuvaletuista lujiteituista muoveista oli hyvin kallis prosessi, sillä poljin ei saa mennä rikki missään olosuhteissa. Tämä sama pätee kaikkiin ajoneuvojen voimansiirto- ja ajonhallintalaitteisiin.

Seuraavassa on ajatuksia ajoneuvojen muovimateriaalien käytöstä:

- Henkilöautoissa muovien käyttö 10 - 20 p-%, muoviosien määrä voi olla tuhansia osia ja materiaalien määrä useita kymmeniä eri muoveja. Muovien käytöllä on tehostettu autojen ajomukavuutta, turvallisuutta ja energiatehokkuutta.
- Suurissa laivoissa muovien käyttö on pääosin vesirajan yläpuolella (suurin Suomessa valmistettu lujitemuovivene on ollut pituudeltaan noin 100 metriä ja kokonaishinnaltaan yli sata miljoonaa euroa)
- Lentokoneissa keskeinen materiaaliominaisuus on paino, sillä normaalin matkustajalentokoneen energiakulutus painokiloa kohden on useita tuhansia kiloja
- Pienveneiden (soutuveneet) tapauksessa muovi- ja lujitemuoviveneet ovat muista materiaaleista valmistettuja veneitä ympäristöystävällisempiä.
- Polkupyöriä on valmistettu kokonaan muoveista (pyörä ei menestynyt markkinoilla, koska se oli käyttäjien mielestä liian huterana)
- Muovien käyttö ajoneuvoissa on jo nykyisin suurta ja on koko ajan kasvamassa. Ajoneuvoissa olevat muovit tarjoavat hyvin paljon tapauskohtaisia kierrätysmahdollisuuksia.

5.7 Muita muovijätevirtoja

Edellisten lisäksi on vielä monia muita muovien käyttöalueita, joista voi syntyä hyvinkin potentiaalisia kierrätysvirtoja. Seuraavassa on joitakin jo olemassa olevia ja syntyviä tapauksia.

Lääketieteen materiaalit muodostavat jo tällä hetkellä merkittävän potentiaalisen kierrätysvirran. Tämän kierrätysvirran suuria ongelmia ovat materiaaleihin päätyvät lääkeaineet ja erilaiset bakteerit ja virukset. Kaikki elävä voidaan poistaa materiaaleista riittävän korkealla paineella.

Keinonurmet valmistetaan pääosin muoveista ja keinonurmien käyttöikä riippuu niiden käytöstä. Keinonurmipohjaisten jalkapallokenttien määrä kasvaa nopeasti ja niiden kestoikä on noin kymmenen vuotta. Keinonurmen käyttö pihojen pinnoitukseen on myös voimakkaasti lisääntymässä ja tällöin niiden kestoikä on paljon pidempi kuin jalkapallokentissä.

Urheiluvälineistä pääosa valmistetaan muoveista ja muovikomposiiteista. Urheiluvälineet tarjoavat paljon potentiaalisia kierrätysmahdollisuuksia ja urheiluvälineet on valmistettu hyvin korkeatasoisista materiaaleista. Niiden kerääminen on helppoa ja tuotteet ovat hyvinkin puhtaita.

Tallenteet (tiedot) ovat suuri muovien käyttökohde ja näiden tuotteiden määrät ovat suuria. Vuosittainen tallenteiden valmistusmäärä on tällä hetkellä satoja miljardeja kappaleita. Kierrätyksen kannalta tuotteet ovat puhtaita ja myös niiden keräys on mahdollista.

Vaatteet ja tekstiilit muodostavat hyvin suuren materiaalityypin ja tälle ollaan parhaillaan etsimässä potentiaalisia kierrätysmahdollisuuksia.

5.8 Erityyppisten prosessien jätevirtoja

Ekstruusioprosessissa hukkamateriaalia syntyy hyvin vähän (esimerkiksi putkien ja profiilien valmistus), kun taas joissakin tapauksissa kierrätysmaterialia voi syntyä merkittävästi enemmän (esimerkiksi kalvojen valmistus ja pinnoittaminen). Ekstruusiiossa kalvon reunaosasta leikattava materiaali voidaan käytännössä lisätä suoraan prosessin raaka-aineeksi.

Ruiskuvalussa kierrätysmaterialia syntyy pääasiallisesti ruiskuvalun syöttökanavista ja muista lopullisesta tuotteesta poistettavista osista. Syöttökanavista syntyvän jättemateriaalin eliminointi on saatu aikaan pääosin käyttämällä syötössä kuumakanavistoa, jolloin kaikki käytetty materiaali kuuluu lopulliseen tuotteeseen. Materiaalin ja muotin vaihdon yhteydessä syntyvälle jätemuoville ei ole olemassa yksiselitteistä poistomekanismia.

Lämpömuovaus on menetelmä jossa tuote valmistetaan eri tavoin valmistetuista puolivalmisteista. Lämpömuovausprosessissa syntyy yleensä merkittävä määrä sivuvirtoja, jotka ovat esimerkiksi lämpömuovattavasta levystä jäävät lämpömuovaamattomat osat ja lämpömuovattavasta tuotteesta valmistuksen jälkeen poisleikatut osat. Nämä sivuvirrat ovat yleensä hyvin puhtasta muovia ja voidaan käyttää uuden puolivalmisteen (levy) valmistukseen. Näille

sivuvirroille löytyy aina käyttöä, jos sivuvirtojen määrät ovat riittävät. Perinteinen puhallusmuovaus on sivuvirtojen osalta lähes täysin samanlainen prosessi kierrätystä ajatellen.

6 KIERRÄTYKSEN OPTIMOINTI

Muovien kierrätystä voidaan optimoida useilla eri tavoilla. Käytännössä tilanne on kuitenkin se, että erityisesti teknisten muovien käytön suunnittelussa ja käytössä ei kierrätystä juuri-kaan oteta huomioon. Keskeisenä perusteluna tässä on yleensä se, että lopputuotteen kannalta keskeinen tuotesuunnittelun tavoite on mahdollisimman hyvin toimiva tuote. Toisena keskeisenä tekijänä on tuotteen mahdollisimman edullinen valmistaminen ja alhaiset tuotantokustannukset.

Seuraavassa on käyty lävitse kierrätykseen liittyviä asioita, joita tuotteen valmistuksessa voitaisiin ottaa huomioon. Näitä tekijöitä on hyvin vaikea laittaa kustannus- tai tärkeysjärjestykseen.

6.1 Materiaalin valinta

Materiaalin valinnan peruslähtökohdat ovat materiaalin teknistaloudellinen toimivuus ja käytettävyys. Erittäin tärkeää on myös se, että tuotteelle on olemassa vaihtoehtoisia materiaaleja, jos valitulle materiaalille tulee jotain ongelmia (saatavuus, hinta, ulkopuoliset rajoitukset). Kierrätyksen kannalta olisi hyvä ottaa huomioon tekijöitä, jotka edesauttavat kierrätystä, mutta eivät vaikeuta käytettävyttä ja seuraavassa on joitakin keskeisiä tähän liittyviä huomioitava perusasioita:

- Käytetään materiaalia, jolle on jo olemassa tai jolle voidaan löytää kierrätysmahdollisuuksia
- Käytetään mahdollisimman puhtaita kaupallisia muoveja
- Pyritään välttämään lisääineistettujen muovien (komposiittien) ja yhdistelmäateriaalien käyttöä
- Pyritään käyttämään jatkuvasti samaa kaupallista muovimateriaalia

6.2 Tuotteen tekninen suunnittelu

Kierrätyksen kannalta edullisinta olisi valmistaa tuotteet siten, että käytön jälkeen muoviosat olisi mahdollisimman helppo irrottaa tuotteesta puhtaina. Kierrätyksen kannalta olisi hyvä suunnitella tuote ja sen muoviosat siten, että muoviosat likaantuisivat käytön aikana mahdollisimman vähän. Osien liittämisen osalta olisi paras vaihtoehto käyttää liitostekniikoita, jotka pitäisivät osat mahdollisimman puhtaina ja helposti toisistaan erotettavissa. Esimerkiksi liimaus, hitsaus ja pintakäsittelyt ovat tekniikoita, jotka aiheuttavat kierrätettävän materiaalin likaantumista. Sen sijaan tulisi suosia muovien tarjoamia mahdollisuuksia muihin liittämismenetelmiin edellä mainittujen sijasta, mikäli mahdollista (erilaiset napsausliitokset, kalvosarana). Myös tuotteen suunnittelija voi vaikuttaa kierrätettävyyteen suunnittelemalla sellaisia tuotteita, joissa tarvitaan hyvin vähän (jos lainkaan) eri komponenttien liittämistä. Paras liitos on sellainen, jota ei tarvita lainkaan.

Myös tuotteiden suunnitteluvaiheessa on mahdollisuuksia vaikuttaa valmistettavien tuotteiden prosessoinnissa syntyvään kierrätysmateriaaliin. Mikäli syntyvä materiaali käytetään heti uudelleen materiaalin raaka-aineena, on huolehdittava siitä, että raaka-aine on yhden prosessointikerran jälkeen puhdasta ja uudelleen prosessointiin sopivaa materiaalia.

Hyvin merkittävä kierrätystekninen mahdollisuus on valita käytettävä materiaali siten, että se voidaan prosessoinnin jälkeen modifioida ja käyttää jonkin muun tuotteen valmistukseen.

Itse tuotesuunnittelun osalta on todettava, että monissa tapauksissa tuotteissa käytettyjen materiaalien kierrätykseen voidaan vaikuttaa useilla eri tavoilla. Seuraavassa on joitakin keskeisiä tilanteeseen vaikuttavia tekijöitä:

- Käytettävien raaka-aineiden määrät ja tyypit. Kierrätyksen kannalta parasta olisi käyttää mahdollisimman vähän eri muoveja sekä eri muovien kaupallisia lajikkeita.
- Monikomponenttisten muoviosien määrä tulisi minimoida, sillä esimerkiksi monikerroksisten muovikalvojen käyttäminen vaikeuttaa erittäin paljon kierrätystä.
- Tuotteiden tulisi olla sellaisia, että niissä käytetyt eri materiaalit olisi mahdollisimman helppoa erottaa toisistaan.

Ongelmana käytännössä on se, että kierrätystä edistävien tekijöiden käytöllä voidaan vaikuttaa hyvin paljon tuotteen käytettävyyteen, ja käytettävyys on usein merkittävämpi tekijä kuin kierrätettävyys. Monikerrosmuovin osalta monikerrostekniikan avulla voidaan vaikuttaa seuraaviin tuoteominaisuuksiin:

- Muovituotteen paksuus (muovien barrier ominaisuudet)

- Muovikalvon lujuus (orientoitu luja muovikalvo)
- Muovikalvon optiset ominaisuudet
- Muovikalvon pinnoitettavuus (painettavuus)
- Muovikalvon pintaominaisuudet (kitka ja puhtaus)
- Muovikalvon liitettävyyys (liimaus/hitsaus)

6.3 Valmistustekniikan valinta

Kierrätyksen kannalta edullisin tekniikka olisi valmistaa muoviosat siten, että ne voidaan valmistaa puhtaasta raaka-aineesta mahdollisimman pienellä hävikillä. Seuraavassa on joitakin esimerkkejä hävikistä eri valmistustekniikoissa:

- Ruiskuvalussa voidaan käyttää kuumakanavatekniikkaa, jonka avulla kaikki käytettävä materiaali tulee lopulliseen tuotteeseen (syöttökanavistot jäävät pois).
- Rotaatiovalussa joudutaan yleensä valun jälkeen jälkityöstämään tuotetta, esimerkiksi aukkojen tekeminen tuotteeseen.
- Puhallusmuovauksessa on yleensä sama tilanne eli osa raaka-ainetta joudutaan poistamaan lopullisesta tuotteesta.
- Lämpömuovauksessa tilanne on sama eli osa raaka-ainesta joudutaan poistamaan lämpömuovauksen jälkeen erillisenä prosessina.

Näille prosesseille on tyypillistä, että prosessin aikana poistettu materiaali on yleensä uudelleenkäytettävissä, mutta kertaalleen prosessoitu materiaali nostaa tuotteen valmistuskustannuksia ja voi vaikuttaa lopputuotteen ominaisuuksiin. On olemassa hyvin monia tuoteryhmiä ja tuotteita, joissa prosessijätteen käyttö on jostakin syystä kielletty.

7 TOTEUTETTUJA TEKNISTEN MUOVIEEN KIERRÄTYKSIÄ

7.1 Muovituotteiden uudelleenkäyttö alkuperäiseen tarkoitukseen

Muovituotteiden uudelleenkäyttö alkuperäiseen tarkoitukseen on eräs parhaista muovijätteen vähentämistavoista. Tätä menetelmää on käytetty paljon erilaisissa pakkaus- ja kuljetussovelluksissa.

Käytettyjen pakkausten keräys ja palautus alkuperäiseen käyttökohteeseen on tekijä, joka saattaa aiheuttaa suuria lisäkustannuksia. Esimerkiksi muovipullojen osalta uudelleenkäyttö on pääosin loppunut. Muovipullojen (virvoitusjuomat) osalta merkittävä osa uudelleenkäyttöä oli pullojen puhdistus ja merkittävä osa puhdistusta oli pullojen myrkyttömyyden tarkistus ja tämä toteutettiin analysoimalla pulloissa olevaa kaasua (ilmaa) käsittelyn aikana. Pakkausten likaantuminen ja rikkoutuminen voi myös aiheuttaa lisäkustannuksia uudelleenkäyttöön.

On kuitenkin olemassa paljon muovituotteita, joita käytetään hyvin pitkään ja monia kertoja uudelleen samaan käyttötarkoitukseen. Tyypillisiä tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi kotitalouksissa ja urheilussa käytetyt muovituotteet. Näiden osalta on olemassa erilaisia tuotekehitystavoitteita, kuten

- Tuotteen tulee kestää käytössä hyvin pitkään (tuotteen elinkaari riippuu olennaisesti tuotteen huollosta).
- Osassa tuotteita on tavoitteena kehittää uusia tuotteita, jotka jollakin tavalla syrjäyttävät vanhat tuotteet.
- Hyvin pitkäikäisten tuotteiden ongelmana on se, että pitkä käyttöikä alkaa pienentää uusien tuotteiden tarvetta.

7.2 Muovituotteen käyttö muihin käyttötarkoituksiin

Muovituotteiden käyttö muuhun kuin alkuperäiseen tarkoitukseen on merkittävä osa uudelleenkäyttöä. Muovien käyttö muihin tarkoituksiin riippuu paljon tuotteiden käyttäjistä ja seuraavassa on joitakin esimerkkejä tämäntyyppisestä uudelleenkäytöstä.

Eräs eniten tällä tavalla käytettyjä muovituotteita ovat muovikassit. Alkuperäinen tarkoitus on kassin käyttö ostoskassina ja tavaroiden kuljetusvälineenä. Tämän jälkeen muovikasseja voidaan käyttää erilaiseen tavarain säilytykseen ja jätteiden keräykseen. Muoviostoskasseja voidaan myös käyttää uudelleen ostoskasseina, kun ne otetaan mukaan ostosmatkalle. Tätä uudelleenkäyttöä vaikeuttaa muovisten ostoskassien heikko lujuus.

Muovituotteita käytetään paljon ei alkuperäisiin käyttökohteisiin. Hyvin usein teknisiin tarkoituksiin valmistetut muovituotteet ovat kalliita, mutta vastaavat muihin tarkoituksiin valmistetut tuotteet voivat olla paljon halvempia. Tämäntyyppistä halpojen tuotteiden käyttöä kalliiden tuotteiden sijasta voi olla seurausta siitä, että tähän käyttökohteeseen ei ole määrätty tiettyjä tuoteominaisuuksia.

7.3 Luonnossa hajoavat muovikassit

Muovien hajoamisen yhtenä tapahtumana on muovituotteen pilkkoutuminen pienempiin osiin. Esimerkiksi ensimmäiset Suomessa valmistetut polyeteenikassit tehtiin tietyllä lisäaineella lähinnä UV-valon vaikutuksesta hajoaviksi. Tähän liittyen TTKK:ssa tehtiin aikoinaan koe, jossa ulos TTKK:n katolle pantiin näitä hajoavia kasseja ja normaaleja hajoamattomia kasseja. Lopputuloksena oli, että näistä kasseista pääosin hajoamattomat kassit hajosivat UV-valon vaikutuksesta. Muovien pilkkoutuminen pieniin osiin saa aikaan sen, että pienistä muovipartikkeleista on enemmän haittaa ympäristölle kuin suurista muovikappaleista. Tämäkään ei ole täysin itsestään selvää, sillä esimerkiksi asfalttiteistä ja autojen renkaista irtoaa koko ajan pieniä polymeeripohjaisia partikkeleita. Nämä partikkelit laskeutuvat maan pinnalle teiden ulkopuolella, mutta käytännössä maaperästä ei ole löydettävissä hienojakoista polymeeripohjaista materiaalia.

7.4 Laminoitu tuulilasi

Laminoitu tuulilasi koostuu kahdesta lasilevystä, joiden väliin on laitettu muovikalvo. Kierrätysprojekti ei ole täysin toiminut ja seuraavassa ovat keskeiset kierrätystä vaikeuttaneet tekijät:

- Lasin ja muovikalvon erottaminen toisistaan ei ole täysin yksinkertaista eli saadussa jätemuovissa on jonkin verran lasia..
- Laminoituissa laseissa ei aina käytetä samaa muovia ja muovi voi koostua eri muovityypeistä.
- Eriväristen muovikalvojen käyttö aiheuttaa vaikeuksia kierrätykseen.

7.5 Solupolystyreeni

TTKK:ssa tehdyssä diplomityössä kehitettiin menetelmä solupolystyreenipakkausten kierrättämiseksi. Menetelmän tavoitteet ja lähtökohdat olivat seuraavat:

- Tavoitteena oli rouhia polystyreenijäte ja nostaa rouheen tiheys lämmön avulla alueelle 300 - 400 kg/m³.
- Käytettävän polystyreenijätteen tuli olla täysin puhdasta.
- Rouhintalaitteen koon tulisi olla samaa kokoa kuin pullonpalautusautomaatin.

Kehitetty laitteisto toimi laboratorio-olosuhteissa täysin moitteettomasti. Ensimmäinen koeajo liikkeessä päättyi siihen, että likainen kierrätysmateriaali sai aikaan laitteiston "haisemisen" muutaman päivän käytön jälkeen. Tämän takia laitteiston kehittämistyö päättyi.

Tilanne on edelleen sama solupolystyreenin kierrätyksessä. Täysin puhdasta rouhittua solupolystyreeniä sekoitetaan (lisätään) valmistettavaan solupolystyreeniin ja sen vaikutukset uuden materiaalin ominaisuuksiin ovat ihan positiiviset.

7.6 Prosessijäte ja epäkurantit tuotteet

Prosessijätteen ja epäkuranttien tuotteiden kierrätys on tyypillinen teknisten muovien toimiva kierrätysmenetelmä. Tälle kierrätysprosessille on normaalisti tyypillisiä seuraavat seikat:

- Asiasta sovitaan tuotteen hankkijan ja valmistajan kesken.
- Tuotteen valmistaja sitoutuu pitämään kierrätysmateriaalin riittävän puhtaina.
- Sivuvirrat kerätään puhtaina talteen.
- Päätetään sivuvirtamateriaalin käytöstä esimerkiksi alkuperäisen tuotteen raaka-aineena, jonkin toisen tuotteen raaka-aineena tai materiaali myydään jollekin toiselle käyttäjälle.
- Päätetään sivuvirtojen modifioinnista ja prosessoinnista raaka-aineeksi, esimerkiksi granuloinnista.
- Sovitaan sivuvirtojen käsittelystä uudeksi raaka-aineeksi.

Tällä kierrätysmenetelmällä on monia positiivisia tekijöitä, joilla kierrätystä voidaan tehostaa, kuten:

- Materiaalit pysyvät riittävän puhtaina.
- kierrätysmateriaalin ominaisuudet paranevat.
- Kierrätysmateriaali voi koostua vain yhdestä kaupallisesta materiaalista.

Tämä kierrätysmenetelmä soveltuu käytännössä lähes kaikkiin tuotteisiin ja valmistusmenetelmiin ja menetelmä on hyvin tapauskohtainen eikä edellytä kaikkia muovien kierrätysvaatimuksia (esimerkiksi materiaalien määrä). Tälle menetelmälle on myös ominaista se, että se

voi myös kasvattaa kierrätyksen huomioonottamista tuotteiden suunnittelun ja prosessoinnin suhteen.

Muovien toimivana kierrätysmenetelmänä on myös seuraava tapaus. On olemassa muovituotteita valmistava yritys, jonka prosessoinnin yhteydessä syntyy suuria määriä muovijätettä ja yrityksellä itsellään ei ole merkittävää käyttöä jätteelle. Yleensä tästä muovijätteestä on kyseiselle yritykselle lähinnä haittaa ja kustannuksia. Tämän kierrätysmuoviongelman ratkaisu voi tapahtua seuraavalla tavalla:

- Tarvitaan yrittäjä joka haluaa ja uskoo pystyvänsä tekemään tämän yrityksen muovisivuvirroista toimivan liiketoiminnan.
- Yrittäjä tekee sopimuksen jätemuoveja tuottavan yrityksen kanssa ja sopii myös syntyvän kierrätysmuovin keräyksestä ja poisviennistä.
- Yrittäjä kehittää sivuvirtamuovien modifioinnin ja valmistaa siitä eri tarkoituksiin sopivaa raaka-ainetta.
- Tällä menetelmällä on yleensä myös monia positiivisia vaikutuksia muovien kierrätykseen ja yritysten toimintaan.

7.7 Rotaatiovalun sivuvirrat

Rotaatiovalettujen tuotteiden sivuvirtojen kierrätys on täysin mahdollista. Sivuvirtojen kierrätyksen osalta on otettava huomioon seuraavat peruslähtökohdat:

- Sivuvirtakappaleiden tulisi olla täysin puhtaista.
- Sivuvirtakappaleiden prosessoinnin tulee olla mahdollisimman vähän materiaaleja piilaavat.
- Sivuvirtakappaleiden tulee olla lajiteltu materiaalien perusteella omiksi jakeikseen.
- Sivuvirtakappaleet tulee rouhia hienojakoiseksi jauheeksi, jota voidaan käyttää rotaatiovalussa raaka-aineeksi.
- Sivuvirtakappaleiden väri tulee ottaa huomioon.

Periaatteessa täysin samaa tekniikkaa voidaan soveltaa myös lämpömuovaukseen, perinteiseen puhallusmuovaukseen ja ekstruusioon sivuvirtojen kierrättämiseksi. Erona rotaatiovaluun näissä muissa tekniikoissa sivuvirtakappaleita ei tarvitse murskata yhtä hienoksi kuin rotaatiovalussa.

7.8 PET-pullot

Käytettyjen PET pullojen kierrätys on erittäin hyvin toimiva kierrätysmenetelmä. PET pullojen kierrätyksessä on otettava huomioon seuraavia asioita:

- Keräysmateriaalista on eroteltava PET pullot muista muovituotteista ja materiaaleista.
- PET pullot pitäisi lajitella värien mukaisesti.
- PET pullot rouhitaan ja näin saatu rouhe pitää puhdistaa.
- Rouheesta pitää poistaa esimerkiksi pullojen etiketit.
- Rouheesta poistetaan kaikki epäpuhtaudet.

Näin saatu puhdistettu PET raaka-aine on käytettävissä uusien PET tuotteiden valmistukseen. PET pullojen kierrätyksen osalta on muistettava, että hyvin monet PET pullojen käyttäjät ilmoittavat käyttävänsä raaka-aineena kierrätys PET muovia. Tästä johtuu, että kierrätys PET materiaalin hinta on hyvin korkea, voi jopa olla korkeampi kuin neitseellisen PET muovin hinta.

7.9 Teknisten muovien kierrätyksestä

Teknisten ja erikoismuovien kierrätyksestä ilmoitetaan normaalisti, että näitä materiaaleja voidaan helposti uusiokäyttää ja kierrättää. Tämä väite on hyvä peruste näiden muovien kierrätykseen prosessoinnin yhteydessä. Prosessoinnin yhteydessä tapahtuvaan kierrätykseen liittyen on otettava huomioon seuraavassa esitetyt seikat.

On selvittävää onko muovi uudelleenkäytettävissä prosessoinnin yhteydessä yhden sulatustyökerran jälkeen. Yleensä kestopuovien osalta näin voidaan todeta olevan. On selvittävää myös voidaanko muovia prosessoida muutaman kerran ilman lisäaineistusta ja modifiointia. On muistettava, että prosessointi tulee toteuttaa mahdollisimman oikeilla prosessointiarvoilla, jotka eivät aiheuta muutoksia muoveissa oleviin polymeereihin.

Erittäin paljon kierrätysinformaatiota saa työstämällä näitä muoveja useaan kertaan kierrätysmuovin määrän funktiona. Tämän jälkeen voidaan määrittää näiden kierrätysmuovien teknisiä ja reologisia ominaisuuksia. Hyvin usein ominaisuuksien muutokset ovat erittäin pieniä.

Prosessointilaitteiston yhteyteen on rakennettava laitteisto, jolla kierrätysmateriaali voidaan syöttää neitseellisen raaka-aineen joukkoon. Tämä menetelmä on pitkälti riippuvainen työmenetelmästä ja materiaalista. Eniten käytetty teknologia on yleensä menetelmä, jossa

kierrätysmateriaali rouhitaan pieniksi partikkeleiksi, jotka sitten syötetään suoraan neitseellisen raaka-aineen joukkoon. Tälle menetelmälle on ominaista se, että se lähes riippumaton kierrätysmateriaalin kokonaismäärästä. Hyvin tärkeää on kierrätysmateriaalin suhteellinen määrä neitseelliseen materiaaliin nähden ja käytännössä saman tuotteen valmistuksen yhteydessä tämä pitää yleensä paikkansa. Käytännössä tämä on erittäin toimiva menetelmä teknisten ja erikoismuovien prosessoinnin yhteydessä. Mikäli tätä menetelmää halutaan hyödyntää käyttämällä useista eri prosesseista syntyvää kierrätysmateriaalia vastaavalla tavalla joidenkin tuotteiden valmistuksessa, niin tällöin edessä voi olla ainakin seuraavia ongelmia:

- Hyvin suuri osa teknisistä ja erikoismuoveista valmistetaan tuote-erinä. Eri tuote-erien materiaalien ominaisuudet voivat poiketa jonkin verran toisistaan. Tätä ongelmaa ei yleensä ole kun materiaali kierrätetään välittömästi prosessissa.
- Mikäli kierrätysmateriaali kerätään eri prosesseista, niin eri prosessien prosessointi-olosuhteet vaikuttavat eri tavoin kierrätysmateriaalin ominaisuuksiin.
- Mikäli kierrätysmateriaalit kootaan eri paikoista, niin on hyvin todennäköistä, että keräyksen aikana materiaalien joukkoon tulee erilaisia ulkopuolisia epäpuhtauksia. Tätä pidetään yleensä epätodennäköisenä, jos kierrätysmateriaali kootaan annettujen ohjeiden mukaisesti, mutta käytännössä ulkopuolisia epäpuhtauksia joutuu lähes aina kierrätysmateriaalin joukkoon.

Käytännössä näistä tekijöistä voi aiheutua eri paikoista kerätyn kierrätysmateriaalin perusteella hyvinkin suuria ominaisuusmuutoksia.

Käytettyjen teknisten ja erikoismuovien osalta kierrätyksen kannalta löytyy monia ongelmia. Käytetyt tuotteet voivat olla hyvin pieniä ja näin ollen käytetyt muovimäärät ovat hyvinkin pieniä. Seuraavassa on ajatuksia joiden mukaan näiden muovien kierrätys on hyvinkin hankalaa. Tähän liittyvät myös usein näiden materiaalien muuttuminen käytön aikana.

Fluorimuoveja (esim. PTFE) käytetään tuotteissa pinnoitteina, joiden avulla voidaan alentaa pinnan kitkaa ja kulumiskestävyyttä. Esimerkiksi normaalien keittiötarvikkeiden (paistinpannut) osalta pinnoitteet kulumat käytössä ja niiden erottaminen käytöstä hylätyistä pannuista on hyvin hankalaa.

Joidenkin teknisten ja erikoismuovien käyttömäärät ovat niin pieniä, että näin pienillä materiaalmäärillä ei pystytä tekemään taloudellisesti kannattavaa toimintaa

8 MAHDOLLISIA UUSIA KIERRÄTYSMENETELMIÄ

8.1 Muovijätteen puhdistaminen pieneliöiden avulla

Orgaanisten epäpuhtauksien puhdistamisessa likainen kierrätysmuovi voitaisiin rouhia ja näin saatu rouhe voitaisiin puhdistaa sopivilla pieneliöillä. Pieneliöiden toiminnan suhteen on todettava seuraavat positiiviset ilmiöt, jos pieneliöt on valittu oikein, niin ne käyttävät kaiken orgaanisen materiaalin ravinnoksi. Tälle prosessille on myös olennaista, että sen toiminta ei ole riippuvainen orgaanisen materiaalin määrästä eikä se ole riippuvainen pienistä lämpötilamuutoksista. Materiaalin puhdistuksen suorittanut pieneliömassa voidaan tämän jälkeen hyödyntää eri tavoilla. On todennäköisesti myös mahdollista kehittää pieneliöitä (bakteereja), jotka voivat käyttää ravinnoksi erilaisia polymeerejä (muoveja).

8.2 Biohajoavuuden aikaansaaminen

Viimeisten vuosien aikana on tuotu markkinoille useita lisäaineita, joiden avulla normaaleista kestumuveista saadaan biohajoava materiaali. TTY on ollut mukana selvittämässä yhden tällaisen materiaalin toimivuutta biohajoavuuden aikaansaamisessa. Työn tuloksena on todettava, että seosaineiden lisääminen muoviin onnistuu hyvin. Ongelmana on se, että seosaineen lisäys tulee toteuttaa erillisenä sekoitusprosessina. Tämä johtuu siitä, että normaalissa sulatyöstömenetelmässä ei seosaineiden sekoittuminen ole riittävän tehokasta. Käytännössä tämä nostaa muovin hintaa lisäaineen hinnan lisäksi yhden sulasekoituksen hinnalla. Näiden lisäaineiden määrä on niin pieni, että se ei normaalisti vaikuta muovin ominaisuuksiin. TTY:n käyttämä lisäaine nopeutti muovin hajoamista, mutta projektissa ei ollut mahdollisuuksia selvittää seostettujen muovien todellista biohajoavuutta.

8.3 PVC-muovit

PVC muoveja pidetään vielä nykytilanteessa erittäin ongelmallisina muoveina. On kuitenkin olemassa hyvin paljon tekijöitä, jotka tekevät PVC muoveista erään potentiaalisimmista ja käyttökelpoisimmista muoveista. PVC muovien ympäristöolosuhteiden kestävyys on erittäin hyvä ja myös PVC muovien elinikä on pitkä. PVC muovia, etenkin kova PVC, voidaan pitää jopa paloturvallisena materiaalina. Yleensä PVC muoveja pidetään kierrätyksen kannalta ongelmallisina materiaaleina, mutta PVC muovien kierrätystä ja uusiokäyttöä on myös kehitetty. Eräänä tavoitteena on valmistaa PVC jätteestä ei-toivottujen jäännösten muodostumi-

sen sijasta myyntikelpoisia tuotteita. Mikäli tässä onnistutaan, niin todennäköisesti se muuttaa PVC muovin tilannetta merkittävästi.

8.4 Muovien keräys vesistöistä

Maailman vesistöissä on paikoitellen erilaisia määriä muoveja ja näistä muoveista voi olla erilaisia vaikutuksia ympäristöön. Muovien vesistöön joutumista pyritään nykyisin pienentämään. Muovien kierrätyksen osalta on myös kerrottu projekteista, joiden tavoitteena on kerätä vesistöissä olevaa muovia ja sitten käyttää tätä uusien tuotteiden valmistukseen. Tämä prosessi koostuu normaalisti seuraavista vaiheista.

Muovin keräys vedestä voidaan tehdä erilaisilla suodatinjärjestelmillä, joissa vesi menee suodattimen läpi ja epäpuhtaudet kerääntyvät suodattimeen. Kierrätyksen ongelmia ovat ainakin (a) epäpuhtauksien partikkelikoko, koska käytettävä suodatin määrää minkä kokoisia partikkeleita pystytään suodattamaan, ja (b) pääosa muoveista on tiheydeltään samaa tasoa kuin vesi eikä tiheyteen perustuva erottaminen ole täysin toimivaa.

Merivedessä olevista muoveista on raportoitu seuraavaa. Muovipartikkelit absorboivat itseensä merivedessä olevia myrkyllisiä kemikaaleja. Merivedessä olevan muovin myrkkypitoisuus voi olla miljoonakertainen ympäröivään meriveteen verrattuna. Tämä muoveissa oleva myrkky voi eläinten elimistössä diffuntoitua pois muovista. Lopputuloksena voi olla se, että kun ihmiset syövät meren eläimiä, niin tämä myrkky voi päätyä ihmisiin.

Muovin puhdistus on vaihe, jossa kerätystä muovijätteestä pitää poistaa epäpuhtaudet, jotka vaikuttavat kerätyn muovin ominaisuuksiin. Erittäin tärkeää on myös poistaa muovissa oleva vesi, sillä muovissa oleva vesi vaikeuttaa hyvinkin paljon muovien prosessoitavuutta ja heikentää muovien ominaisuuksia.

Erään raportin mukaan kierrätyskelpoisesta muovista on valmistettu huonekaluja jollakin 3D-valmistustekniikalla ja muu muovi on käytetty energian tuottamiseen esimerkiksi energiana, jota voidaan käyttää tämän prosessin eri vaiheiden toimintojen aikaansaamiseen. Toivottavasti menetelmä vesistöissä olevien muovien kierrättämiseksi saadaan toimimaan. Keskeisenä ongelmana tälle prosessille voidaan pitää vesistöissä olevan muovin pientä määrää ja vesistöjen hyvin suurta vesimäärää.

Viimeisiä tietoja on YK-raportti, jonka mukaan ”Biohajoavuus ei puhdistaa meriä” vaan ainoa toimiva menetelmä on toteuttaa globaalisti se, että ihmiset eivät laita muoveja vesistöihin. (UN News Centre 2015)

8.5 Lujitemuovit

Lujitemuovien aiheuttamaa jäteongelmaa on pidetty jo vuosikymmeniä suurena. Erilaisia ratkaisuja on kehitetty ja niistä eräs tärkeimpiä on ollut lujitemuovijätteen käyttäminen murskattuna (jauhettuna) lujitemuovien täyteaineena. Tämän menetelmän keskeisiä ongelmia ovat lujitemuovin murskauksen ja jauhatuksen kustannukset, murskeen lisääminen lujitemuovin joukkoon ja murskeen yleensä ominaisuuksia alentavat vaikutukset. Murskeen käytön eräänä ongelmana lujitemuovien valmistuksessa on se, että lujitemuovin valmistuksen keskeisenä tavoitteena on hallita lujitekuitujen määrää ja orientaatiota tuotteessa ja rouheen käyttö vaikeuttaa tätä. Viime vuosina lujitemuoveja on pyritty käyttämään energian tuottamiseen ja tämän menetelmän suurina ongelmia ovat olleet prosessissa syntyvä palamaton jäte. Normaalisti lujitemuovissa palamattoman jätteen osuus on noin neljännes koko lujitemuovin tilavuudesta.

Viime vuosien aikana Suomessa on selvitetty lähinnä Euroopassa kehitettyä menetelmää lujitemuovien käyttöä sementin valmistuksessa (poltossa) sementin raaka-aineena ja energiana. Seuraavassa lyhyt yhteenveto tämän menetelmän tuloksista LUMI tutkimushankkeen perusteella (MAMK ja KETEK) (Kemppinen & Rainosalo 2014):

- Lujitemuovi tulee kerätä ja rouhia käyttöä varten.
- Materiaalin energiapitoisuuden tulee olla suhteellisen korkea.
- Lujitemuovijätteen keräyshinta ja logistiikkakulut jätteen tuottajalle n. 150 €/ 1000 kg.
- 10 000 kg lujitemuovijätettä korvaa sementin poltossa n. 4,5 tonnia kivihiiltä, 2 tonnia hiekkaa, 2 tonnia kalkkia ja 1,5 tonnia alumiinioksideoja.

Tutkimuksen pohjalta on ilmoitettu, että lujitemuovi ei vaikuta sementin ominaisuuksiin. Lujitemuovin määrä esimerkiksi Suomessa on niin pieni, että se pystyy korvaamaan vain hyvin pienen osan sementtiteollisuuden energia ja raaka-ainekuluista.

9 EI SUOSITELTAVIA MUOVIEEN KIERRÄTYSMENETELMIÄ

On olemassa tuotteita, joita valmistetaan samanaikaisesti joko neitseellisistä muoveista tai sopivista kierrätysmuoveista. Tässä tapauksessa keskeisenä ongelmana on, että kierrätysmuovista valmistettujen tuotteiden raaka-aineen koostumuksesta ei välttämättä ole mitään tietoa, kun taas neitseellisten raaka-aineiden koostumus tunnetaan suhteellisen hyvin. Nyt kun uutta kierrätysmuovia tehdään näistä molemmista tuotteista, niin käytetty kierrätysmuovista valmistettu tuote voi aiheuttaa uuden prosessointiin ja tuotteisiin suuria ongelmia.

Oma ehdotuksemme olisi, että kierrätysmuovista tehtyjä tuotteita ei saisi käyttää kierrätysmuoviraaka-aineen valmistukseen, vaan nämä tuotteet voitaisiin ohjata suoraan esimerkiksi energiahyötykäyttöön.

Eräs mielestämme epäsopeva kierrätystapa on valmistaa kierrätysmuovituotteita mitenkään puhdistamatta ja erottelematta kierrätysmuoveja. Näissä tapauksissa voidaan toimia esimerkiksi siten, että kerätty kierrätysmuovijäte rouhitetaan sopivaan kokoon ja siitä valmistetaan ruiskuvalulla / ekstruusiolla erilaisia massiivisia tuotteita, esimerkiksi tietynlaisia puuta korvaavia materiaaleja. Mikäli näin valmistetut tuotteet käytetään siten, että ne pystytään käytön jälkeen keräämään esimerkiksi energian tuotantoon, niin asia on kunnossa. Mikäli tuotteet käytetään hyvin hallitsemattomasti, niin silloin niistä tulee lähinnä ympäristöä haittaavia materiaaleja.

Eräs kierrätysmuovien käyttökohde on valmistaa niistä muoviosia, joita käytetään betonituotteiden valussa pitämään betonin rautalujitteet halutussa paikassa tuotteessa. Nämä muoviosat toimivat aivan hyvin käyttötarkoituksessaan, mutta tuotteiden käytön jälkeen ne ovat osia, joiden erottaminen betonista on hankalaa ja jotka jäävät kerätyn betonin joukkoon. Mielipiteeni on, että nämä muoviosat voitaisiin korvata hyvin vastaavilla betonista tai metallista valmistetuilla osilla.

Nykyisin muoviraaka-aineet merkitään tuotteisiin kuviolla, jossa on kyseistä muovia vastaava numero. Henkilökohtainen ehdotukseni kierrätysmuovista valmistettuja tuotteita ajatellen olisi, että kierrätysmuovissa olevaan merkkiin lisättäisiin merkki, joka kertoisi, että raaka-aineena on käytetty kierrätysmateriaalia. Tästä voisi olla merkittävää hyötyä kierrätetystä muovista valmistettujen tuotteiden kierrätyksessä. Tämän ehdotuksen suurena negatiivisena ongelmana on se, että kierrätysmuovista valmistettuja tuotteita ei arvosteta samalla tavalla kuin eräistä muista kierrätysmateriaaleista (paperi, lasi, metalli) valmistettuja tuotteita. Muo-

veista harvoja poikkeavia tapauksia on PET muovin kierrätys pulloissa. Tämä johtuu pitkälti siitä, että muovipullojen imagoa pystytään parantamaan ilmoittamalla, että nämä pullot on valmistettu kierrätysmateriaalista.

10 YHTEENVETO

Muovien kierrätyksestä on viimeisten vuosien aikana tullut yksi tärkeimmistä kierrätyskohteista. Teknisten muovien kierrätys ei erityisesti poikkea normaalista muovien kierrätyksestä. Muovien kierrätyksen keskeisenä tavoitteena alkaa vähitellen olla, että kaikki käytetyt muovit tulisi kerätä ja hyödyntää tavalla tai toisella. Tällä tavalla on mahdollista estää muovien joutuminen luontoon ja eliminoida muovien luonnolle aiheuttamat ongelmat.

Muovien kierrätys voidaan jakaa kahteen perusr ryhmään (a) käytettyjen muovituotteiden kierrätys ja (b) muovituotteiden prosessoinnissa syntyvien jätesivuvirtojen kierrätys. Prosessoinnin materiaalisivuvirtojen kierrätys on yleensä hoidettu erittäin hyvin. Tämä on keskeinen ja tärkeä osa teknisten muovien kierrätyksessä. Käytettyjen muovituotteiden kierrätys siten, että se kattaisi kaikki muoviryhmät, on haasteellista. Keskeinen osa käytettyjen muovituotteiden kierrätyksessä on muovituotteiden keräys, puhdistus ja lajittelu. Hyvin keskeinen osa käytettyjen muovituotteiden keräystä ja uusiokäyttöä on muovien puhtaus, sillä muovin puhtaus on keskeinen osa kierrätysmuovien ominaisuuksia ja prosessoitavuutta. Muovien kierrätyksen kannalta eräs keskeinen tekijä on muovien vanheneminen eli rakenteen ja ominaisuuksien muuttuminen käytössä. Tämän vuoksi kierrätyksessä keskeisessä osassa on kierrätysmuovien modifiointi siten, että kierrätysmuoveilla on käyttökohteita ajatellen riittävän hyvät ominaisuudet. Muovien modifiointi on keskeisessä osassa erityisesti teknisten muovien tapauksessa.

Teknisten muovien kierrätyksessä keskeisiä kierrätysvaihtoehtoja ovat (a) muovituotteiden kierrätys alkuperäiseen sovellukseen (b) muovituotteen kierrätys sellaisenaan uusiin sovelluksiin (c) kierrätysmuovien modifiointi ja käyttö erilaisiin sovelluksiin ja (d) muovien käyttö muihin sovelluksiin.

Muoveilla on myös muita käyttökohteita ja näistä keskeisimpiä ovat (a) muovien kemiallinen kierrätys, jossa valmistetaan muovista erilaisia pienimolekyylisiä yhdisteitä (b) muovien käyttö täyteaineena erilaisissa sovelluksissa (c) muovien varastointi uusia kierrätysmenetelmiä varten ja (d) muovien käyttö energiaraaka-aineena. Energian käytön osalta kannattaa muistaa muovien osalta seuraavat perusasiat (a) muovien energiasisältö voi olla hyvinkin suuri (b) käytännössä kaikki muovit voidaan polttaa

energiaksi ja (c) muovien poltto oikein toteutettuna on ympäristöä hyvin vähän saastuttava menetelmä.

Viimeisten vuosien aikana on puhuttu hyvin paljon biopohjaisista ja biohajoavista muoveista. Tämä tilanne on kehittymässä hyvinkin monilla eri alueilla, mutta on kuitenkin muistettava se totuus, että biohajoavien muovien osuus muovien kokonaismäärästä on hyvin pieni (~0.4 %) ja biopohjaisten muovien tulevaisuudesta on vaikea löytää todellisia arvioita.

Samantyyppinen asia on arviot fossiilisten polttoaineiden käytöstä muovien raaka-aineena. Öljyn tuotannosta käytetään muovien raaka-aineena ja tuotannon energiana noin 5 %. Samalla on muistettava, että pitkän ajan kuluessa pääosa muoveista käytetään tavalla tai toisella energian tuotantoon.

Teknisten muovien kierrätyksen osalta kannattaa huomata seuraavat asiat. Teknisten muovien raaka-ainehinta on yleensä niin korkea, että se tekee teknisten muovien toimivasta kierrätyksestä taloudellisesti kannattavaa. Teknisten muovien kierrätys on aina toteutettava tapauskohtaisesti, sillä yleisten ohjeiden mukaisessa kierrätyksessä kierrätyksen kannattavuus on paljon alhaisempi.

Edelleen on paljon julkisia mielipiteitä, joiden mukaan muovien käyttöä tulisi pienentää ja täten eliminoida muovien käytön ja kierrätyksen ongelmia. Muoveilla on kuitenkin hyvin paljon teknistaloudellisesti erittäin hyviä ominaisuuksia, mistä johtuen on todennäköistä muovien käytön jatkuva lisääntyminen.

Teknisten muovien kierrätyksen osalta on todennäköistä, että lähitulevaisuudessa muovien kierrätyksestä tulee merkittävä osa tuotteiden kehitystä ja suunnittelua, sillä toimivan kierrätyksen avulla on mahdollista alentaa tuotteiden kokonaiskustannuksia.

Lähdeluettelo

Autoliikenne. Muovi liikuttaa maailmaa – The world moves with plastics. Saatavissa: <http://www.subjectaid.fi/storage/ma/de4b17cac40d4fc889b282aa71068c9d/c2f1f300fe8a4896b5ac7056fdcc231c/pdf/58D241453C5EC1C93FEC8268047AACCBC24D54CA/Autoliikenne-Muovi-liikuttaa-maailmaa.pdf>

BASF. Helsinki 1993. Muovit pakkauksissa: väitteitä, tosiasioita, näkymiä.

Blauberg, Tarja-Riitta. 2015. Muovituotteet EU:n ja Suomen lainsäädännössä. Teknisten muovien kierrätysseminaari, Lahti 13.11.2015.

JätePlus 3/2015. Muovijätteen keräys ja kierrätys Pohjoismaissa. Saatavissa: <http://www.jateplus.fi/jateplus-12015/muovijätteen-kerays-ja-kierratys-pohjoismaissa/>

Kemppinen, Martti (MAMK) & Rainosalu, Egidij (KETEK) et al. 2014. LUMI- Lujitemuovijätteen materiaalin ja energian kierrätys sementtitiunissa. Saatavissa: <http://materialweek.fi/file/Kokkola-Material-Week-2013-CompositeKokkola-Martti-Kemppinen-LUMI-lujitemuovipaivat.pdf>

Merta, Elina; Mroueh, Ulla-Maija; Meinander, Malin; Punkkinen, Henna; Vähä-Nissi, Mika ja Kortet, Satu. 2012. Muovipakkausten kierrätyksen edistäminen Suomessa. TEM raportteja 11/2012. Saatavissa: https://www.tem.fi/files/32830/11_2012_muovipakkauksen_kierratyksen_edistaminen_suomessa.pdf

Moliis, Katja; Salmenperä, Hanna; Rehunen, Antti. 2014. Pakkausjätteen erilliskeräysvaatimusten vaikutusten arviointi. Ympäristöministeriön raportteja 11/2014. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA099DA38-B7FC-4DAE-A90B-AAEE0400A346%7D/102363>

Muoviteollisuus ry. (a). Biomuovit. Saatavissa: http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit_ ja_ymparisto/biomuovit/

Muoviteollisuus ry. (b). Muovit ja ympäristö. Saatavissa: http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit_ ja_ymparisto/

Muoviteollisuus ry. (c). Muovien luokitus. Saatavissa: http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit/muovien_luokitus/

Platt, David. 2015. Dramatic price hikes for resin in Europe as supply shortages bite. [viitattu 3.12.2015]. Saatavissa: <http://www.plasticsnews.com/article/20150422/NEWS/150429955/dramatic-price-hikes-for-resin-in-europe-as-supply-shortages-bite>

Suomen Uusiomuovi Oy. Saatavissa: Muovi kiertää. http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/muovien_kierratys/muovien_materiaalimerkit/

Suomen Uusiomuovi Oy. 2015. Kemiallinen kierrätys. Saatavissa:
http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/muovien_kierratys/muut_kierratystavat/

Today's Plastics, Tomorrow's Solutions...The Plastics Triangle
A simple way to classify thermoplastics is as a triangle, grouping the materials according to structure and properties. Saatavissa: <http://www.smithsadvanced.com/plastics-stockholder.htm>

UN News Centre. 2015. Biodegradable plastics are not the answer to reducing marine litter, says UN. Saatavissa: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=52583>

Vanhanen, Noora. 2006. Kassivalinta on ekoteko. Saatavissa:
<http://yle.fi/aihe/artikkeli/2006/11/23/kassivalinta-ekoteko>

Wiik, Camilla, JätePlus 3/2015. Ratkaisuja muovin kierrätykseen. Saatavissa:
Suomen Uusiomuovi Oy. Muovi kiertää materiaalina ja energiana. Saatavissa:
http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/muovien_kierratys/

Uusiomuovin vaikutukset valmistusprosessiin, tuotteiden ominaisuuksiin ja käyttöön –projektin aikana tuotetut diplomi- ja insinööriyöt:

Aaltonen Laura-Kaisa. TTY 2014. Teknisten muovien kierrätys. Saatavissa:
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22106/Aaltonen.pdf?sequence=1>

Hiljanen Maija. TTY 2014. Kierrätysmuovien modifiointi. Saatavissa:
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22283/hiljanen.pdf?sequence=1>

Neuvonen Iina. TTY 2015. Termoelastien kierrätys. Saatavissa:
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23222/Neuvonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Timonen Teemu. LAMK 2015. Termoelastomeerien kierrätys. Saatavissa:
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505127595>

Söderholm Iris. LAMK 2014. Teknisten muovien kierrätys. Saatavissa:
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405218957>

Veistilä Karoliina. LAMK 2015. Termoelastien vanheneminen. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102734/Veistila_Karoliina.pdf?sequence=1