



Polyuretaanijätteen hyötykäyttö

Iiro Nurmiranta

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Paperi-, tekstiili- ja kemian-
tekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

NURMIRANTA, IIRO:
Polyuretaanijätteen hyötykäyttö

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Huhtikuu 2014

Opinnäytetyön tekemiseen vaikutti valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoite saada yhdyskuntajätteen määrä laskuun vuoteen 2016 mennessä sekä valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013), joka kieltää orgaanisen jätteen sijoittamisen kaatopaikoille vuodesta 2016 alkaen ja pyrkii tehostamaan kierrätystä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia keinoja vähentää Solepex Oy:n tuotannossa syntyvää polyuretaanijätettä, tehostaa uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä. Tavoitteena oli tutkia tapoja hyödyntää tuotannossa syntyvää polyuretaanijätettä.

Tutkimusmenetelmänä oli järjestelmällinen koeajosarja ruiskuvalukoneella, missä selvitettiin kuinka paljon ja millaista polyuretaanijätettä on mahdollista kierrättää neitseellisen termoplastisen polyuretaanin joukkoon sekoitettuna.

Tuloksina saatiin tietoa ajoparametreista ja mittauksista eri määriä polyuretaanijätettä sisältävistä kengänpohjista. Kierrätyskengänpohjista mitattiin kulutus- ja taivutuskestävyys, kovuus ja johtavuusominaisuuksia. Näiden lisäksi arvioitiin ulkomuotoa, väriä, hajua ja kitkaominaisuutta.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tuotannossa syntyvää polyuretaanijätettä voidaan neitseellisen termoplastisen polyuretaanin joukkoon sekoitettuna ajaa koeajoissa käytetyllä ruiskuvalukoneella ja muotilla koeajomittakaavassa suhteellisen onnistuneesti.

Koeajon mittakaavasta johtuen ei voida kuitenkaan sanoa lopullisesti, että polyuretaanijätteen hyötykäyttöä tutkitulla tavalla on laajemmassa tuotannossa ongelmaton tai kannattava. Tämän selvittämiseksi vaaditaan mittavampaa koeajoa, jotta saadaan jatkuvaan tuotantoon oikeat ajoparametrit ja paras polyuretaanijätteen osuus neitseellisen termoplastisen polyuretaanin suhteen. Kierrätysraaka-aineesta tehdyt kengänpohjat voisivat sopia esimerkiksi kakkoslaadun jalkineisiin ja olosuhteisiin, joissa parhaat ominaisuudet eivät ole tarkoituksenmukaisia, eikä niitä välttämättä edes vaadita.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Paper, Textile and Chemical Engineering
Chemical Engineering

NURMIRANTA, IIRO:
Reuse of polyurethane waste

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 12 pages
April 2014

The objective of this thesis was to collect information on how Solepex Ltd. could reduce the amount of polyurethane waste from production and to make reuse and recycling more efficient. The purpose was to research ways to make use of the polyurethane waste

The data were collected from systematic test runs with injection molding machine. The test run gave data about how much and what kind of polyurethane waste can be reused mixed with virgin thermoplastic polyurethane.

As results information about parameters for the injection molding machine was obtained. Abrasion resistance, flex resistance, hardness and conductivity were measured of the shoe soles from the test run. The appearance, color, odor and friction were also evaluated.

These results suggest that it is possible to reuse polyurethane waste at least in a test run scale.

Further research is required to determine the right parameters for larger scale production with polyurethane waste. Polyurethane waste could be used in products which do not have so high quality requirements.

Key words: polyurethane, recycling, reuse

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LAINSÄÄDÄNTÖ	7
	2.1 Valtakunnallinen jätesuunnitelma.....	7
	2.2 Jätelainsäädäntö	7
	2.3 Jätelaki	8
	2.3.1 Tuottajavastuu	8
	2.3.2 Etusijajärjestys	8
	2.3.3 Yleinen velvollisuus noudattaa etusijajärjestystä.....	9
	2.4 Jätevero	9
	2.5 Päästökauppalaki	9
3	POLYURETAANI	10
	3.1 Yleistä	10
	3.2 Ominaisuudet	10
	3.3 Käyttökohteita.....	11
4	TERMOPLASTINEN POLYURETAANI	12
	4.1 Yleistä	12
	4.2 Ominaisuudet	12
	4.3 Käyttökohteita.....	12
5	POLYURETAANIN LÄHTÖAINEET	13
	5.1 Isosyanaatti	13
	5.2 Polyoli	14
	5.3 Lisäaineet	15
	5.3.1 Ketjunjatkajat ja silloittajat	15
	5.3.2 Antistaatit	15
	5.3.3 Bakteerien kasvun estoaineet	15
	5.3.4 Väriaineet	16
	5.3.5 UV-valonkestävyys	16
6	KIERRÄTYS.....	17
	6.1 Kierrätyksen tilanne Suomessa	17
	6.2 Jätteen synnyn ehkäisy.....	18
	6.3 Kierrätys materiaalina	18
	6.3.1 Polyuretaanin käsittely hyödynnettävään muotoon	19
	6.3.2 Polyuretaanijätteen hienonnus	19
	6.4 Hyödyntäminen energiana	19
	6.4.1 Poltto	20

6.4.2	Jätteenpolttolaitos.....	21
6.4.3	Rinnakkaispolttolaitos.....	21
7	RUISKUVALUTEKNIikka	22
7.1	Yleistä ruiskuvalutekniikasta	22
7.2	Valuprosessi.....	22
7.2.1	Ruiskuvalukoneen valujakso.....	22
7.2.2	Raaka-aineannoksen valmistaminen	24
8	TESTAUSMENETELMÄT	25
8.1	Taivutuskestävyys.....	25
8.2	Kulutuskestävyys	25
8.3	Shore-kovuus	25
8.4	Sähkönjohtavuus	26
9	TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI	27
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	31
	Liite 1. Polyuretaanijätteen koeajon raportti	31

1 JOHDANTO

Solepex Oy on jalkineiden ulkopohjien valmistamiseen ja kehittämiseen erikoistunut kotimainen yritys. Irtopohjien valmistajana yritys on pohjoismaiden suurin ja Suomen ainoa irtopohjia valmistava yritys. Asiakkaita ovat kaikki merkittävät suomalaiset jalkinevalmistajat, jotka käyttävät jalkineissaan irtopohjia.

Pohjanvalmistuksessa raaka-aineina käytetään polyuretaania (PU), termoplastista polyuretaania (TPU) sekä termoplastista kumia (TR). Muitakin tuotteita, kuin pohjia, pystytään valmistamaan käytettävistä raaka-aineista.

Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko tuotannossa syntyvää polyuretaanijätettä hyödyntää yrityksen jo olemassa olevalla konekannalla. Valitulla ruiskuvalukoneella ja muotilla suoritettiin koeajo, jonka avulla selvitettiin ajoparametreja sekä rouhitun polyuretaanijätteen määrän vaikutusta ajettavuuteen ja valusta saatavan kengänpohjan ominaisuuksiin.

Tutkintotyön alussa käsitellään aiheen lainsäädännöllistä taustaa ja perustietoa polyuretaaneista. Lopussa käydään läpi tutkimuksen tuloksia ja näiden pohjalta johtopäätökset ja pohdinta. Luvussa 2 kerrotaan aiheeseen liittyvästä lainsäädännöstä. Luvussa 3 kerrotaan yleistä polyuretaanista. Luvussa 4 kerrotaan yleistä termoplastisesta polyuretaanista. Luvussa 5 käydään läpi polyuretaanin lähtöaineita. Luvussa 6 kerrotaan kierrätyksestä ja käydään läpi kierrätyksen eri tapoja.

Työhön liittyvät koeajot ajettiin ruiskuvalukoneella ja luvussa 7 esitellään ruiskuvalutekniikkaan liittyvää tietoa. Työhön liittyvistä mittauksista, kulutus- ja taivutuskestävyydestä, kovuudesta ja johtavuuden mittauksesta kerrotaan yleistä teoriaa luvussa 8.

Luvussa 9 käydään läpi ja arvioidaan tuloksia. Tarkemmat koeajon tiedot ja mittauksista saadut tulokset on esitetty liitteessä 1. Liite 1. on luottamuksellinen ja on vain toimeksiantajan versiossa. Johtopäätökset ja pohdinta ovat luvussa 10, jossa esitetään kehittämissuunnitelmia ja mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

2 LAINSÄÄDÄNTÖ

2.1 Valtakunnallinen jätesuunnitelma

Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016 linjaa Suomen jätehuollon kehittämisen tavoitteet ja kuvaa toimet tavoitteiden saavuttamiseksi. Jätesuunnitelman keskeiset päämäärät ovat:

- jätteiden syntymisen ehkäisy,
- jätteiden materiaalikierrätyksen ja biologisen hyödyntämisen lisääminen,
- kierrätykseen soveltumattoman jätteen polton lisääminen,
- jätteiden haitaton käsittely ja loppusijoitus,
- jätehuollosta aiheutuvien kasvihuonepäästöjen pienentäminen vähentämällä erityisesti biohajoavan jätteen sijoittamista kaatopaikalle.

Jätesuunnitelman tavoitteesta kierrättää vuonna 2016 syntyneestä yhdyskuntajättemäärästä materiaalina 50 % ollaan vielä kaukana. Materiaalihyödyntämisen osuus on vaihdellut 32–36 prosentin välillä vuodesta 2005 lähtien.

Monia toimia tavoitteiden saavuttamiseksi on käynnistetty. Valtakunnallisen jätesuunnitelman toteutumisen tehostamiseksi yhdyskuntajätteen kierrätystavoite sisällytettiin uuteen valtioneuvoston asetukseen jätteistä. Asetuksen mukaan paperi-, kartonki-, lasi-, metalli-, muovi ja biojäte on kierrätettävä pääsääntöisesti erillään ja kierrätettävä materiaalina. Tavoitteena on sama 50 % kierrätysaste vuoden 2016 alusta alkaen. Myös valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013) tehostaa kierrätystä kieltämällä orgaanisen jätteen sijoittamisen kaatopaikoille vuodesta 2016 alkaen (YMra 6/2014).

2.2 Jätelainsäädäntö

Materiaalivirtojen hallintaa ohjataan usealla lainsäädännöllä, joista Suomessa yhden keskeisen muodostaa jätelainsäädäntö. Sen perustana on jätelaki, joka perustuu EU-jätedirektiiviin.

2.3 Jätelaki

Jätelain 1§:ssä määritellään koko lainsäädännön tarkoitus eli ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista (Jätelaki 17.6.2011/646).

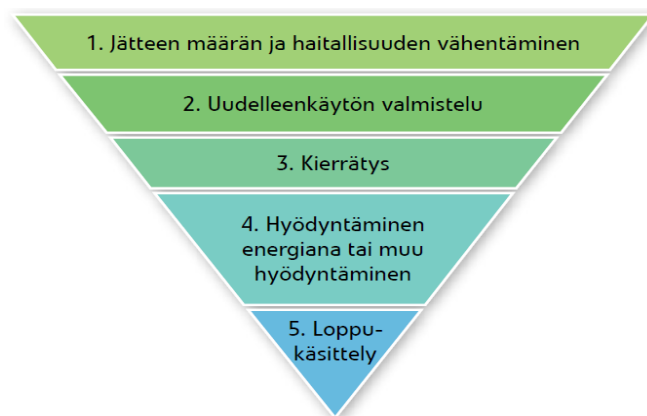
2.3.1 Tuottajavastuu

Tuottajan on järjestettävä käytöstä poistettavien tuotteiden vastaanottoa paikkoja siten, että tuotteen voi maksutta ja vaivattomasti luovuttaa näin järjestettyyn vastaanottoon.

Kenkäteollisuus ja sen tuotteet eivät vielä kuulu tuottajavastuun piiriin tuottajina ja tuotteina. Tuottajavastuun piiriin kuuluu tällä hetkellä keräyspaperi, pakkaukset, sähkö- ja elektroniikkalaitteet, ajoneuvon renkaat, ajoneuvot sekä paristot ja akut (Jätelaki 17.6.2011/646).

2.3.2 Etusijajärjestys

Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsittely (Jätelaki 17.6.2011/646).



KUVIO 1. Etusijajärjestys (ympäristöhallinnon verkkopalvelu)

2.3.3 Yleinen velvollisuus noudattaa etusijajärjestystä

Kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan noudatettava etusijajärjestystä. Valtionneuvoston asetuksella voidaan lisäksi antaa tarkempia säädöksiä jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämiseksi, jätteen uudelleenkäytön valmistelulle, kierrätykselle ja muulle hyödyntämiselle asetettavista määrällisistä tavoitteista ja velvoitteista sekä määräjoista tavoitteiden saavuttamiselle ja velvoitteiden täyttämiseksi. Tavoitteet ja velvoitteet voivat olla jätelajeittain erilaisia (Jätelaki 17.6.2011/646).

2.4 Jätevero

Jäteveroa maksetaan jäteverolain mukaan sellaisesta kaatopaikalle sijoitettavasta jätteestä, jonka hyödyntäminen olisi mahdollista. Näin ollen mm. kierrätettäväksi kelpaavat ja muut energiana hyödynnettävissä olevat jätteet kuuluvat kaatopaikalle sijoitettuna jäteveron piiriin. Jäteveron tarkoituksena on edistää jätteen hyödyntämistä. Vuoden 2013 alusta kaatopaikalle toimitetusta jätteestä suoritettava vero on 50 €/jätetonne (Jätevero 1126/2010).

2.5 Päästökauppalaki

Päästökauppaan eivät kuulu laitokset, joiden ympäristöluvassa annettujen määräysten mukaisesti noudatetaan jätteiden polttolaitosta koskevia vaatimuksia. Rinnakkaispolttolaitokset siis kuuluvat päästökauppaan (Päästökauppalaki 311/2011).

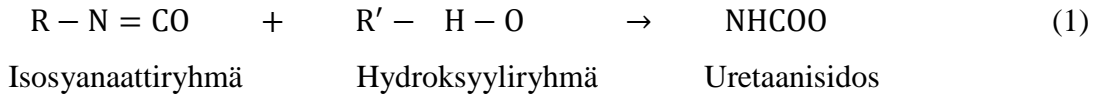
3 POLYURETAANI

3.1 Yleistä

Polyuretaanilla voi olla kerta- tai kestopuovinen kemiallinen rakenne. Fyysiseltä rakenteeltaan se voi olla kova kappale, kova tai pehmeä solumuovi tai vaahtoa.

Polyuretaanin kemiallinen koostumus voi vaihdella laajasti riippuen käytetystä polyolista ja isosyanaatista. Polyuretaani syntyy näiden kahden aineen reaktiosta. Kemiallisten rakenteiden ja fyysisten muotojen monipuolisuus tekevät polyuretaanista laajasti käytetyn polymeerin (Szycher 2013, 3).

Polyuretaanit syntyvät siis isosyanaatin ($R-N=C=O$) ja moniarvoisen alkoholin eli polyolin ($R'-OH$) reaktiosta. Reaktiossa muodostuva uretaanisidos toistuu polyuretaanin rakenteessa ja siitä on peräisin myös yleisnimi polyuretaani (Szycher 2013, 2- 3).



3.2 Ominaisuudet

Polyuretaanien tiheyttä ja solurakennetta voidaan säädellä erittäin laajalla alueella. Lopputuotteen ominaisuuksia voidaan muunnella vaihtelemalla perusraaka-aineita tai käyttämällä erilaisia lisä- ja täyteaineita (Kurri ym. 2002. 162-163).

Polyuretaanit ovat esimerkiksi vahvimpia tunnettuja kumeja. Vetolujuusarvo on suunnilleen 50 – 60 MPa, mikä on huomattavasti isompi kuin normaalilla korkealaatuisella kumilla, jonka vetolujuus 30 MPa. Kovuus on yleensä 10 Shore-A – 90 Shore-D. Polyuretaanien poikkeuksellisen hyvä kulutuskestävyys syntyy korkean vetolujuuden, repimislujuuden ja suhteellisen korkean murtovenymän ansiosta (Rapra, Rubber & Plastics).

Kenkien pohjamateriaaliksi polyuretaani sopii sen laajan ominaisuusvariaation ansiosta. Polyuretaanin erinomaisen öljyjen ja liuottimien kestävyys lisäksi lisäaineilla voidaan halutessa saada esimerkiksi antistaattisuus ja puolijohtavuus, sekä likaisiin ja märkiin olosuhteisiin bakteerien kestävyys.

3.3 Käyttökohteita

Polyuretaanin käytön laajuudesta kertoo paljon taulukko 1., jossa on esitetty polyuretaanin käyttöä eri aloilla. Taulukossa on esitelty ala sekä lueteltu tuotteita, missä käytetään polyuretaania sen eri muodoissa. Polyuretaaneja voidaan käyttää kuitujen, kiinteiden muovituotteiden, kovien ja pehmeiden solumuovien, elastomeerien, lakkojen ja liimojen tuotantoon (Tammela 1990, 225).

TAULUKKO 1. Polyuretaanien käyttö eri aloilla (Työterveyslaitos 2013)

Rakennusala	lämpö- ja äänieristyslevyt, kaukolämpöputkien eristys, ikkuna- ja ovipuitteet, tiivisteet, viemäriputkien saneeraus, saumausvaahdot, lattiapäällysteet, liimat, maalit ja lakat
Kotitalous	patjat, tyynyt, huonekalujen rungot, pehmusteet ja päällysteet, kylmäkoneiden eristeet, elektroniset erikoissovellukset
Kuljetusala	autojen puskurit, lasitiivisteet, autojen sisäosat, lentokoneen osia, veneiden kellukkeet, pelastusliivit, pelastusveneet, nostokölit
Urheilu	pallot, mailat, sukset, lumilaudat, rullaluistimet, suojavälineet, säänkestävät vaatteet, jalkineet, pulssimittarit, polkupyörän satulat
Lääkintäala	keinoiho ja suonet, implantaatiot, kipsit, katetrit, endoskoopit, sydämen apulaitteet, hygieniatuotteet
Teollisuus	vyöt, letkut, elastiset langat, kaapelipäällysteet, keernat, teräksen suojaus, kalvot, kuljettimet, tiivisteet, suodattimet, suojakypärät ja käsineet
Autokorjaamot	maalit, lakat, liimat, tiivistys- ja saumausmassat, alustamassat, muoviosat, vaahtomuovi, uretaanikumi, pehmusteet

4 TERMOPLASTINEN POLYURETAANI

4.1 Yleistä

Termoplastiset elastomeerit ovat verrattain uusia materiaaleja, mutta niistä on jo muodostunut merkittävä mitattuna tonneissa ja rahallisessa arvossa. Tämä johtuu siitä, että termoplastiset elastomeerit luovat uusia markkinoita ja samalla korvaavat muoveja ja perinteisiä kumeja tietyissä sovelluksissa. Ne tarjoavat kumeille tuttuja ominaisuuksia, mutta ovat paremmin ja nopeammin prosessoitavia (Szycher 2013, 352).

4.2 Ominaisuudet

Termoplastinen polyuretaani (TPU) on kestumuovi ja sen ominaisuudet ovat samankaltaisia kuin kertamuovisen polyuretaanin. Sen hyvät kitkaominaisuudet vaikuttavat työstettävyyteen, mikä näkyy ruiskuvalussa materiaalin muottiintarttumis- ja juoksevuusongelmina (Järvinen 2008, 101).

Tärkeimpinä ominaisuuksina varsinkin kenkäteollisuudessa nousevat termoplastisen polyuretaanin hyvä kulutuskestävyys, kylmätaivutusominaisuudet, naarmuuntumisen kesto, UV-kestävyys. Näiden lisäksi ulkonäölliset ominaisuudet nousevat tärkeiksi, kuten läpinäkyvyysominaisuudet, mattapinta haluttaessa ja pinnan tarkkuus. Muita tärkeitä tekijöitä ovat laaja värivalikoima ja maailmanlaajuinen saatavuus (Footware Brochure 2013, 6).

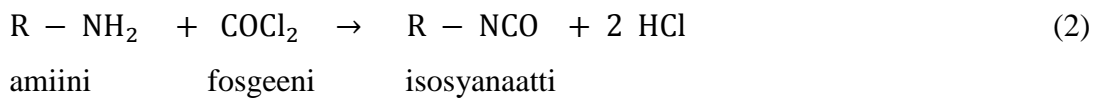
4.3 Käyttökohteita

TPU:ta voidaan käyttää seosaineena parantamaan sitkeyttä ja pintakitkaa. Ruiskuvalamalla siitä valmistetaan mm. kengänpohjia, kellonrannekkeita sekä runsaasti erilaisia kaksikomponenttituotteita jäykkien teknisten muovien kanssa (Järvinen 2008, 101-102).

5 POLYURETAANIN LÄHTÖAINEET

5.1 Isosyanaatti

Teknisessä mittakaavassa edullisimmaksi tavaksi valmistaa isosyanaattivalmisteita on osoittautunut amiiniyhdisteen ja fosgeenin reaktioon perustuva prosessi.

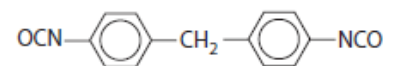


Suomessa yleisimmin käytetyt isosyanaatit ovat TDI (tolueenidi-isosyanaatti), MDI (metyleenibisfenyyli-isosyanaatti) ja polymeerinen MDI (PMDI) sekä HDI (heksametyleenidi-isosyanaatti).

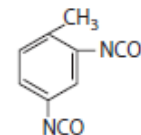
Nimi

Rakenne

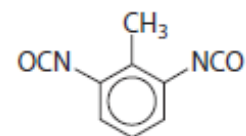
4,4'-metyleenidifenyyliidi-isosyanaatti (MDI)



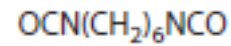
2,4-tolueenidi-isosyanaatti (TDI)



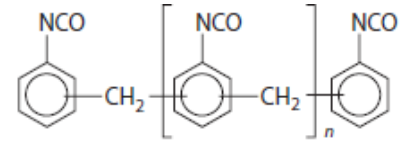
2,6-tolueeni-di-isosyanaatti (TDI)



1,6-heksametyleenidi-isosyanaatti (HDI)



polymeerinen metyleenidifenyylidi-isosyanaatti (PMDI)



KUVA 1. Suomessa yleisimmin käytetyt isosyanaatit (Szycher 2013, 90;108)

5.2 Polyoli

Polyuretaanien valmistuksessa käytetään yleisesti ainakin muutamaa rakenteeltaan erilaista polyoliryhmää: polyestereitä ja polyeettereitä. Käytetty polyoli vaikuttaa paljon polyuretaanin ominaisuuksiin. Polyoleja, joilla on korkeampi molekyylipaino, käytetään kun halutaan joustavia polyuretaaneja. Pienemmän molekyylipainon polyoleja käytetään kun halutaan jäykempiä polyuretaaneja (Szycher 2013, 64).

Polyesteripolyoleja käytetään, kun lopputuotteelta vaaditaan erinomaista liuottimien ja öljyn kestoja. Tuotteet, jotka ovat valmistettuja polyesteripolyoleista, kestävät huomattavasti hankaavaa kulutusta kuin polyeetteripohjaiset tuotteet. Polyeetteripolyolit ovat yleensä halvempia kuin polyesteripolyolit, mutta polyesteripolyoleilla saadaan polyuretaanille parempi liuottimienkesto, kulutuskesto ja taivutuskestävyys (Szycher 2013, 56-68).

5.3 Lisäaineet

5.3.1 Ketjunjatkajat ja silloittajat

Ketjunjatkajat ovat pienimolekyylipainoisia reagoivia yhdisteitä, jotka tuottavat polyuretaaneille niiden elastomeeriset ominaisuudet. Ne voidaan luokitella hydroksyyli(OH-) ja amiini(NH-)loppuisiin yhdisteisiin (Szycher 2013, 155).

Di-funktionaalisia yhdisteitä pidetään ketjunjatkajina. Yhdisteitä, joilla on korkeampi funktionaalisuus, pidetään silloittajina. On olemassa suuri määrä erilaisia silloittajia, joilla on erilainen reaktiivisuus ja funktionaalinen ryhmä (Szycher 2013, 155).

5.3.2 Antistaatit

Muovipolymeerit ovat luonnostaan eristeitä. Antistaattia lisäämällä muovien pinnassa syntyvät varaukset purkautuvat. Käyttökohteesta riippuen antistaattinen aine voi olla esimerkiksi nestemäisessä muodossa tai granulaatteina.

5.3.3 Bakteerien kasvun estoaineet

Aineita käytetään estämään bakteerien kasvu muovin pinnassa. Aineita on useita erilaisia ja esimerkiksi Dow valmistaa antimikrobista ainetta. Aine auttaa estämään sienten kasvua muovin pinnassa. Ainetta voidaan sekoittaa raaka-aineiden sekaan, jolloin aine saadaan tasaisesti valmistettavaan tuotteeseen. Aineella ei ole värjäävää vaikutusta, eikä se heikennä tuotteen kemiallisia tai fyysisiä ominaisuuksia (The Dow Chemical Company, 2014).

5.3.4 Väriaineet

Muovien värjäys toteutetaan väreillä tai pigmenteillä. Monilla pigmenteillä on suurehko vaikutus muovien ominaisuuksiin, joten on tärkeää, että värien kokonaisvaikutus tutkitaan huolellisesti ennen kuin ne otetaan tuotantoon. Esimerkiksi mustassa värissä voi olla sinkkiä ja tällä on suuri vaikutus johtavuuteen.

5.3.5 UV-valonkestävyys

UV-valoa kestävä ominaisuus voidaan saada esimerkiksi lisäämällä liuosta, jossa on erityinen sekoitus UV-valoa absorboivia aineita ja antioksidantteja. Lisäaineen käyttö on suositeltavaa etenkin vaaleille väreille.

6 KIERRÄTYS

6.1 Kierrätyksen tilanne Suomessa

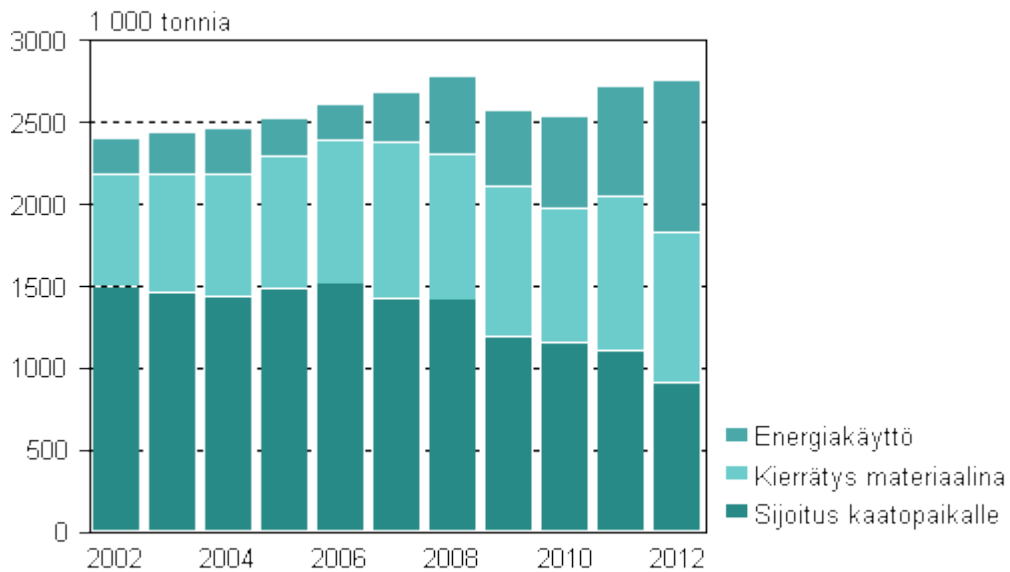
Kierrätyksellä tarkoitetaan jättemateriaalien käyttämistä tuotannossa uusiorka-aineena korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita (Jätelaitosyhdistys ry 2014).

Jätelain uudistumisen myötä tulevaisuudessa jätettä päätyy entistä vähemmän kaatopaikalle ja suurempi osa jätettä tullaan kierrättämään uusiokäyttöön. Yhdyskuntajätteestä 50 prosenttia tulee kierrättää materiaalina vuoteen 2016 mennessä. Pidemmällä aikavälillä Suomessa hyödynnetään lähes kaikki jäte jollain tavalla, joko kierrättämällä tai hyödyntämällä energiana.

Jätelaitosyhdistys JLY ry arvioi, että Suomi ei tule saavuttamaan tavoitteeksi asetettua 50 % kierrätysastetta vuoteen 2016 mennessä, ellei jättemateriaaleja ohjata nykyistä selvästi enemmän rinnakkaispolton sijasta kierrätykseen. Tällä hetkellä rinnakkaispoltoon ohjautuu kaupan ja palvelutoiminnan hyvälaatuisia jätevirtoja, joiden kierrätyspotentiaali on suurin (Uusiouutiset 2013).

Kaatopaikalle sijoitetun yhdyskuntajätteen määrä putosi vuonna 2012 ensi kertaa kymmeneen vuosiin alle miljoonan tonnin. Kaatopaikoille sijoitettiin jätteitä 901 000 tonnia, josta 97 % oli yhdyskuntien sekajätettä.

Teollisuudessa ja muussa elinkeinomuotoisessa toiminnassa yritys saa melko vapaasti valita muovi- ja muun jätteensä loppuosoitteen ja käsittelijän. Sopimuksen voi tehdä yksityisen tai kunnallisen toimijan kanssa.



KUVIO 2. Yhdyskuntajätteen määrä ja käsittely Suomessa (Tilastokeskus 2014)

6.2 Jätteen synnyn ehkäisy

Teollisuudessa syntyvä muovijäte merkitsee moninkertaista kustannushukkaa. Moninkertainen kustannushukka muodostuu kalliista raaka-aineesta, prosessiin käytetystä energiasta ja työpanoksesta. Tämän päälle tulee maksettavaksi vielä jätteen käsittelykustannukset, rahat ja jätevero. Näistä voi muodostua useita satoja euroja maksettavaa jätetonnin kohden. Tästä syystä jätteen syntymisen ehkäisy tulee olla aina ensisijainen tavoite sekä lain mukaan, että käytännössä (Järvinen 2008, 160).

6.3 Kierrätys materiaalina

Tuotannossa syntyy aina vääjäämättä muovihylkyä. Materiaalien käyttötehokkuuden maksimoimiseksi tulisikin olla suunnitelma miten hylky voidaan käyttää hyödyksi. Yksinkertaisimmillaan kesto- ja jopa kertamuovihyllyn voi palauttaa saman tuotteen tuotantoon. Jos palauttaminen samaan tuotteeseen ei ole mahdollista, hylky voi käydä toiseen tuotteeseen tai toimia raaka-aineena toiselle yritykselle johonkin muuhun käyttökohteeseen. Tämäntapaisessa kierrätyksessä yhteistyö eri yritysten välillä voi avata mahdollisuuksia hyötyä puolin ja toisin (Järvinen 2008, 160–161).

6.3.1 Polyuretaanin käsittely hyödynnettävään muotoon

Polyuretaanijäte on useasti sellaisessa muodossa, että sitä ei sellaisenaan pystytä hyödyntämään. Polyuretaani vaatii käsittelyä pienempään ja hienojakoisempaan muotoon eli se rouhitaan. Polyuretaanijätteen rouhimiseen eli granulointiin löytyy useampia eri tekniikoita. Tekniikan valintaan vaikuttaa millaista polyuretaani on, kuinka isoja rouhitavat kappaleet ovat ja minkä kokoista rouhetta halutaan. Myös rouhittavan aineen määrä vaikuttaa siihen millainen laitekokonaisuus muodostuu kannattavimmaksi ja järkevimmäksi ratkaisuksi.

6.3.2 Polyuretaanijätteen hienonnus

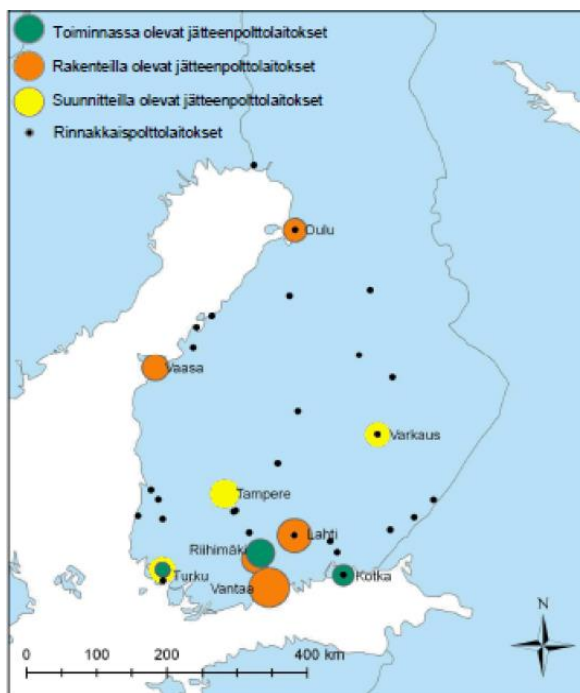
Rapid Granulator AB on maailmanlaajuisesti johtava muovikappaleiden hienonnusratkaisujen tuottaja. Tuotteet perustuvat tarkkuusteräleikkyyteen. Granulointikoneet voidaan yksilöidä tarkasti asiakkaan tarpeita vastaaviksi. Eri ratkaisuja löytyy esimerkiksi käytettäville terille, moottorille, rouhittavan aineen syötölle ja valmiin rouheen keräykselle. Erikokoisia koneita hienonnuskapasiteetin tarpeen mukaan löytyy aina yhdestä kilogrammasta tunnissa 4000:ään kilogrammaan tunnissa (Rapid Granulator – tuotesite).

6.4 Hyödyntäminen energiana

Monet jätteet sisältävät energiana hyödynnettävää materiaalia. Hyödyntämisen edellytyksenä on, että materiaalit lajitellaan omiksi jätelajeikseen ja tarkoituksenmukaisella tavalla. Energiahyödyntämisessä jätteen energiasisältö otetaan käyttöön korvaamaan fossiilisia polttoaineita lämmön- ja polttoaineentuotannossa.

Valtakunnallisen jättesuunnitelman vuodelle 2016 asetettu tavoite 30 % yhdyskuntajätteen energiahyödyntämisestä on ylitetty. Vuonna 2012 yhdyskuntajätteen energiana hyödyntämisaste oli 34 %. Kaatopaikka-asetuksen seurauksena maahamme on rakentamassa kattava jätteenpolttoverkosto (YMra 6/2014).

Energiana jätettä hyödyntävät laitokset polttavat yhdyskuntien sekajätettä, jonka joukossa on myös se osa kierrätyskelpoista jätettä, jota kotitaloudet, kauppa tai muut toimijat eivät ole lajitelleet kiinteistöllä kierrätettäväksi. Kierrätyskelpoisen jätteen ohjaamiseksi kierrätykseen polton sijaan tulee jatkossa panostaa (YMra 6/2014).



KUVA 2. Suomessa toiminnassa, rakenteilla tai suunnitteilla olevat jätteenpolttolaitokset ja jätteen rinnakkaispolttolaitokset (Työ ja elinkeinoministeriö 2012)

6.4.1 Poltto

Vuonna 2012 yhdyskuntajätteistä poltettiin 0,9 miljoonaa tonnia. Määrä vastaa yhdyskuntajätteiden käsittelystä kolmannesta ja tämä on lähellä läntisten Euroopan maiden keskiarvoa. Erityisesti yhdyskuntien sekajätettä poltettiin enemmän, jonka poltto alkoi yleistyä vuoden 2006 jälkeen, jolloin se oli viidesosa nykyisestä määrästä (Tilastokeskus 2014).

Jätelain uudistumisen myötä tiukentuneet ja tiukentuvat kierrätys- ja hyötykäyttötavoitteet voivat vaikuttaa käsittelemättömän ja poltettavaksi tarkoitettavan sekajätteen määrään ja laatuun laskevasti. Käsittelylaitoksista syntyvän poltettavan kierrätyspolttoaineen määrää se saattaa taas lisätä.

6.4.2 Jätteenpolttolaitos

Jätteenpolttolaitokset rakennetaan Suomessa ensisijaisesti yhdyskuntajätteen käsittelemiseksi. Jätteestä tuotetaan kaukolämpöä ja/tai prosessihöyryä sekä sähköä. Polttoaine koostuu pääasiassa kotitalouksien yhdyskuntajätteestä, jota ei käsitellä ennen polttoa. Polttolaitokset eivät maksa käyttämästään polttoaineesta vaan saavat siitä tuottoja jätteen tuottajilta (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 14.2.2013/151).

6.4.3 Rinnakkaispolttolaitos

Rinnakkaispoltoissa jätteet ovat yksi polttoaine muiden joukossa. Hyödynnettävä jäte käsitellään polttoon paremmin soveltuvaksi. Tämä tarkoittaa esimerkiksi metallien erottamista, koska niitä voidaan hyödyntää materiaalina. Samoin erotetaan polttoon soveltumattomia materiaaleja kuten esimerkiksi kivet. Rinnakkaispoltoissa hyödynnetään harvoin kotitalouksien yhdyskuntajätettä. Rinnakkaispolttolaitoksien poltettavat jätteet tulevat teollisuudesta ja palveluista. Nämä jätteet ovat hyvin polttoon soveltuvia ja tasalaatuisempia. Näitä kierrätyspolttoaineita valmistavat ja myyvät asiaan erikoistuneet yritykset ja rinnakkaispolttolaitokset maksavat jätteen myyjälle (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 14.2.2013/151).

7 RUISKUVALUTEKNIikka

7.1 Yleistä ruiskuvalutekniikasta

Ruiskuvalutekniikka on erittäin monipuolinen massatuotantoon soveltuva muovintyöstötekniikka, jonka avulla voidaan valmistaa edullisesti suuria sarjoja erilaisia kappaletuotteita. Menetelmällä muovi sulatetaan sylinterissä lämmön ja kitkan avulla homogeeniseksi massaksi, joka ruiskutetaan ruuvia apuna käyttäen nopeasti ja suurella paineella suljettuun muottiin. Jäähtyessään muovi kovettuu muotin muotoon. Ruiskuvalun etuna ovat työstön nopeus, helppous ja edullisuus, mutta menetelmä vaatii hyvää muovien ja valmistustekniikan tuntemusta (Seppälä 2005, 275).

7.2 Valuprosessi

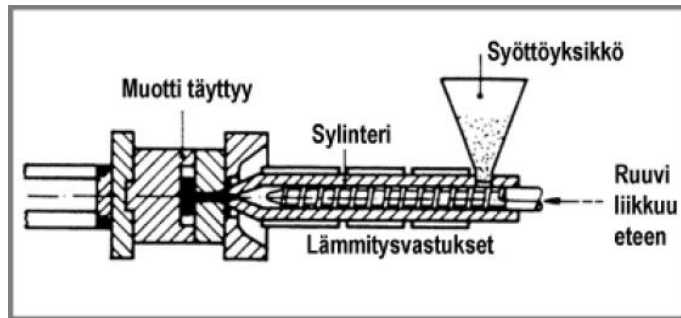
7.2.1 Ruiskuvalukoneen valujakso

Muotin sulkeminen

Muotin sulkeutumisen pitää olla alussa nopea. Loppuvaiheessa liike hidastuu muottipuoliskojen ollessa lähellä toisiaan. Tämä sen takia, että muottipuoliskot lukkiutuvat kolahtamatta ja menevät pehmeästi kiinni. Ruiskuvalukoneet luokitellaan sulkuvoiman perusteella. Sulkuvoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla ruiskuvalukone kykenee puristamaan muottipuoliskoja toisiaan vasten valuprosessin aikana (ValuAtlas 2009, 2).

Muotin täyttäminen

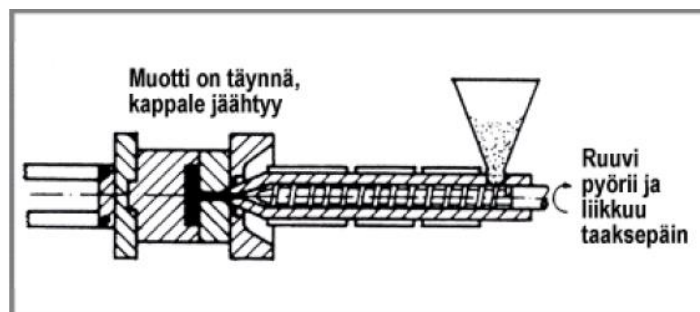
Muotin täyttäminen on ruiskuvaluprosessin tärkein vaihe. Muovimassan tulisi jäähmettyä muotissa yhtä pitkän ajan, jotta saataisiin mahdollisimman tasalaatuinen kappale. Tämän vuoksi muovisula ruiskutetaan muottiin mahdollisimman nopeasti (ValuAtlas 2009, 2).



Kuva 3. Muotin täyttäminen (ValuAtlas 2009, 1)

Jäähdytys

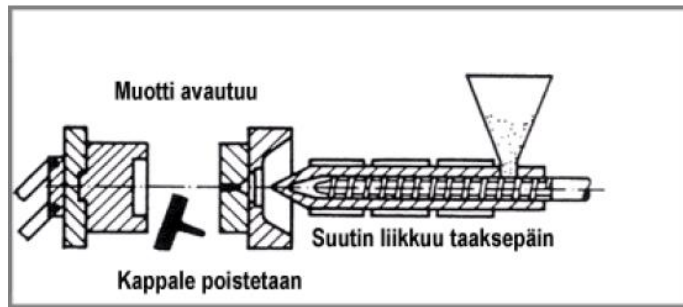
Muovimassan jäähtyminen alkaa välittömästi sen kohdattu kylmän muottipinnan. Jäähdytymiseen menee suhteellisen paljon aikaa, koska muovien ruiskutuslämpötilat ovat korkeita (150 – 450 °C) ja muovimassan lämpötilan pitää laskea n. 60 - 200 °C:een ennen kuin kappale voidaan poistaa muotista. Ruiskutuskappaleen jäähtymisen tulisi tapahtua mahdollisimman tasaisesti, jotta kappaleeseen ei syntyisi jännityksiä, huokosia ja imuja. (ValuAtlas 2009, 3).



Kuva 4. Jälkipaine ja kappaleen jäähdytys (ValuAtlas 2009, 1)

Muotin avaus ja ulostyöntö

Kun kappale on jäähtynyt ja jähmettynyt riittävästi muotissa, voidaan muotti avata ja kappale työntää muotista ulos. Jos taukoaikaa ei tarvita, voidaan seuraava ruiskuvalujakso aloittaa tämän jälkeen. Usein tauko aika on tarpeellinen, jos esim. kappale ei irtoa muotista yhdellä ulostyöntökerralla. Kun tauko aika on päättynyt, alkaa uusi ruiskuvalujakso muotin sulkemisella (ValuAtlas 2009, 3).



Kuva 5. Muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö (ValuAtlas 2009, 1)

7.2.2 Raaka-aineannoksen valmistaminen

Valujakson rinnalla kulkee prosessi, jossa valmistetaan uusi raaka-aineannos muottiin ruiskutettavaksi seuraavaan valujaksoon.

Raaka-aineen syöttö ruuville

Raaka-aineen syöttö tapahtuu yksinkertaisimmillaan virtauksena syöttösuppilosta ruuviin painovoimaan perustuen. Syöttölaitteen yhteydessä voi olla raaka-aineen kuivauslaitteisto. Raaka-aineen ollessa huonosti virtaavaa, apuna voidaan käyttää pakkosyöttölaitteita (ValuAtlas 2009, 2).

Raaka-aineen plastisointi

Plastisoinnissa granulaatti sulaa lämmitysvastuksien ja ruuvien pyörimisestä aiheutuvan sisäisen kitkan vaikutuksesta. Samalla muovisula sekoittuu ja homogenisoituu. Usein muovimateriaaleista irtoaa plastisoinnin aikana höyryjä ja kaasuja, jotka voivat aiheuttaa valukappaleeseen huokoisuutta tai heikentää sen pinnanlaatua. Kappaleen pinnasta ja rakenteesta on helpesti havaittavissa, jos muottiin on jäänyt ilmaa tai vesihöyryä. Ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty kaasunpoistoruuveja (ValuAtlas 2009, 3).

8 TESTAUSMENETELMÄT

8.1 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyystestejä on testattavasta tuotteesta ja materiaalista riippuen erilaisia. SATRA TM 161 Bennewart taivutuslujuustesti on erityisen soveltuva kenkien ulkopohjien testaukseen.

Taivutuslujuustesti on tarkoitettu määrittämään, kuinka hyvin testattavan kappaleen materiaali kestää taivutusta. Testikappaleeseen tehdään ennen kymmeniä tuhansia taivutuksia viillot, joiden pituuden kasvu kunkin viillon osalta kertovat testin tuloksen. Pituuden kasvu määritetään yksikkönä millimetri.

8.2 Kulutuskestävyys

ISO 4649:2010-standardi erittelee kaksi tapaa määrittellä kumin kulutuskestävyyttä pyörivän sylinterimäisen rumpulaitteen avulla. Testitavoissa mitataan tilavuuden pienentymää kun testattavat kappaleet kulkevat pitkin pyörivän sylinterimäisen rumpulaitteen kuluttavaa pintaa. Testitavassa A testattava kappale ei pyöri ja testitavassa B pyörii.

Testin tulos määritetään tilavuuden pienentymänä, yksikössä mm³. Testikappaleen tilavuutta verrataan ennen ja jälkeen kulutustestin.

8.3 Shore-kovuus

Yleisimmin muovien kovuutta mitataan Shore-asteikolla. Shore-A on pehmeämmille muoveille ja Shore-D kovemmille. Shore-kovuus mitataan kovuusmittarilla. Kovuusmittari mittaa kuinka syväälle materiaaliin standardoitu paininjalka uppoaa. Kaikkien Shore-asteikkojen tulokset ovat 0-100 väliltä. Mitä korkeampi arvo, sitä kovempi materiaali on kyseessä.

8.4 Sähkönjohtavuus

SFS-EN 61340-5-1 standardissa on jalkineille mittausmenetelmä. Suurin osa muoveista on eristeitä ja helposti varautuvia eli muodostavat staattista sähköä. Johtokyky kuvaa materiaalin kykyä vastustaa sähkövirran kulkua.

Staattisen sähkön mittaamiseen käytettävät mittalaitteet ovat käyttöliittymältään yksinkertaisia, mutta totuudenmukaisen mittaustuloksen saaminen, sen toistettavuuden ja merkityksen arvioiminen on lähes poikkeuksetta erittäin haastavaa.

9 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

Tutkimuksessa saatiin selville, että omassa tuotannossa syntyvää polyuretaanijätettä voidaan käyttää ruiskuvalussa termoplastisen polyuretaanin joukkoon sekoitettuna. Saatiin myös selville missä kohtaa tulee raja polyuretaanijätteen määrälle, ettei sekoitusta voida enää käytössä olleella ruiskuvalukoneella ajaa.

Koeajon tuloksena saaduista eri määriä polyuretaanijätettä sisältävistä kengänpohjista saatiin arvokasta mittaustietoa. Kengänpohjista mitattiin taivutus- ja kulutuskestävyys, kovuus ja johtavuus. Saatujen mittaustulosten avulla pystyttiin määrittämään karkeasti se polyuretaanijätteen osuus, jossa pohjien kulutus- ja taivutuskestävyysominaisuudet alkavat heiketä voimakkaasti. Näillä huomioilla on merkitystä kun suunnitellaan mahdollisia tuotteita, joissa polyuretaanijätettä voitaisiin käyttää.

Tämän lisäksi saatiin tietoa ruiskuvalun ajoparametreista. Ajoparametrit ja niistä tehdyt huomiot antavat hyvän lähtökohdan mahdollisille jatkotutkimuksille.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoite, jossa 30 % yhdyskuntajätteestä tulee hyödyntää energiana vuoteen 2016 mennessä, on ylittynyt jo vuonna 2012. Paljon sellaista jätettä poltetaan, jolla on korkea kierrätyspotentialiaali. Toisaalta tavoite, jossa 50 % yhdyskuntajätteestä hyödynnetään materiaalina vuoteen 2016 mennessä, on suhteellisen kaukana ja vaatii toimenpiteitä.

Todennäköistä on, että kierrätykseen tulee tulevaisuudessa tarkempia lainsäädännöllisiä velvoitteita tuottajavastuun kautta. Tästä syystä on järkevää selvittää tapoja vähentää tuotannossa syntyvää jätettä, tehostaa uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä. Jätteen polttamisen ei tulisi olla ainoa vaihtoehto siinä vaiheessa, kun kaatopaikalle ei saa enää jätettä toimittaa.

Solepex Oy:n tuotannossa syntyvää polyuretaanijätettä olisi järkevää käyttää jossakin tuotteessa siinä määrin kuin se on mahdollista. Se, missä määrin käyttö on mahdollista, vaatii lisää tutkimustietoa. Esimerkiksi jonkinlainen kierrätyskengänpohja vapaa-ajan jalkineeseen, jossa tuotteella ei ole niin korkeat ominaisuusvaatimukset kuin turvajalkineissa, olisi potentiaalinen vaihtoehto. Myös tuote, jossa taivutus- ja kulumiskestävyysominaisuudet eivät ole kriittisiä, voisi olla hyvä tutkimuksen kohde. Tällainen tuote voisi olla esimerkiksi käsinoja. Tuotannossa syntyvä termoplastinen kumi- ja polyuretaanijäte voidaan jo käyttää hyödyksi. Tuotteissa, joissa kierrätetyn raaka-aineen osuus on suuri, voidaan käyttää tätä tietoa markkinoinnissa.

Polyuretaanijätteen hyödyntäminen energiana on myös vaihtoehto, vaikka tavoite yhdyskuntajätteen energiahyödyntämisessä onkin jo saavutettu. Tämä siitä syystä, että kaiken polyuretaanijätteen hyödyntäminen materiaalina on vaikeasti saavutettavissa lyhyellä aikavälillä. Polyuretaanijätteen arvoa polttoaineena voidaan nostaa panostamalla lajitteluun.

Kierrätyksen velvoitteiden lisääntyessä ja kun kiinnostus kierrätettyä raaka-ainetta kohtaan kasvaa, voi tulla ajankohtaiseksi selvittää muita toimijoita, jotka voisivat hyödyntää polyuretaanijätettä jollain tavalla toiminnassaan.

LÄHTEET

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Muovifakta Oy.

Jätelaitosyhdistys ry. Www-sivu. Luettu 8.3.2014.
<http://www.jly.fi/>

Jätelaki 17.6.2011/646

Jäteverolaki 17.12.2010/1126

Kurri, K., Malén T., Sandell, R., Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. Hakapaino Oy.

Polyuretaanit ja niiden käyttö eri aloilla. Työterveyslaitos 2.4.2013. Www-sivu. Luettu 9.4.2014
http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/isosyanaatit/isosyanaa-tit_polyuretaanit_%20ja_niiden_k%C3%A4ytt%C3%B6_eri_aloilla/Sivut/default.aspx

Päästökauppalaki 8.4.2011/311

Rapid granulators. Tuote-esite. Www-sivu. Luettu 12.3.2014
http://www.rapidgranulator.com/public/downloads/Rapid_Granulator_Overview_GB.pdf

Rapra, Rubber & Plastics; Introduction to Polyurethane elastomers

Rinnakkaispolton sijasta kierrätykseen. Uusiouutiset 4.12.2013. Www-sivu. Luettu 11.4.2014.

<http://www.uusiouutiset.fi/jly-rinnakkaispolton-sijasta-kierrattykseen/>

Ruiskuvaluprosessi. ValuAtlas 13.12.2009. Www-sivu. Luettu 5.4.2014.
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>

Selvitys jätteen energiakäytöstä ja päästökaupasta 2012. Työ ja elinkeinoministeriö.
http://www.tem.fi/files/33506/Selvitys_jatteen_eneriakaytosta_ja_paastokaupasta_25.6.2012.pdf

Seppälä, J. 2005. Polymeeritekniikan perusteet. Otatieto.

Szycher, M. 2013. Szychers's Handbook of Polyurethanes. CRC Press.

Tammela, V. 1989. Polymeeritiede ja muotitekniikka, osa III. Otakustantamo.

The Dow Chemical Company. Www-sivu. Luettu 27.4.2014.
http://www.dow.com/microbial/applications/ma_p_products.htm#

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 14.2.2013/151

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Www-sivu. Luettu 28.4.2014.
www.ymparisto.fi/jatelainuudistus

YMra 6/2014: Valtakunnallisen jätesuunnitelman seurannan 2. väliraportti: johtopäätökset
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Jatteet_ja_jatehuolto/Jatesuunnittelu/Valtakunnallisen_jatesuunnitelman_seuranta

LIITTEET

Liite 1. Polyuretaanijätteen koeajon raportti

Vain toimeksiantajan versiossa