

# MUOVIJÄTTEEN KARTOITUS JA HANKINTA UUSIOMUOVIKÄYTTÖÖN

Case: Pipelife Hafab Ab

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Muovitekniikan koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Kevät 2011  
Kusti Ruokamo

Lahden ammattikorkeakoulu  
Muovitekniikan koulutusohjelma

RUOKAMO, KUSTI: Muovijätteen kartoitus ja hankinta uusiomuovikäyttöön

Case: Pipelife Hafab Ab

Muovitekniikan opinnäytetyö, 43 sivua, 1 liitesivua

Kevät 2011

## TIIVISTELMÄ

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Pipelife Hafab Ab:n toimeksiantamana Haaparannan tuotantolaitoksella. Työn ensimmäinen tavoite oli kartoittaa sekä hankkia Pohjois-Suomen ja Pohjois-Ruotsin teollisuuden yrityksien ja laitosten tuottamat muovijätevirrat ja hyödyntää niitä kierrätysraaka-aineena putkenvalmistuksessa.

Työn toinen tavoite oli pienentää valmistuskustannuksia sekä lisääntyneen kysynnän että korkeiden raaka-ainekustannusten seurauksena. Lisäksi tarkoituksena oli vähentää ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta valmistamalla muovijätteestä uusiomuoviputkia.

Työn teoriaosassa kerrotaan putkitekniikassa käytettävistä raaka-aineista ja niiden vaatimuksista sekä uusiomuovin hyödyntämisestä Suomessa. Lisäksi perehdytään yleisesti muovijätteeseen ja sen erilaisiin kierrätysmahdollisuuksiin. Teoriaosassa kerrotaan myös työssä käytetyistä valmistus- ja testausmenetelmistä.

Työn käytännön osuudessa kerrotaan muovijätteen kartoitukseen ja hankintaan käytetyistä menetelmistä ja niiden toteuttamisesta. Lisäksi käytännön osuudessa selvitetään kartoitetuilta asiakkailta saatujen näytteiden analysoinnin perusteella muovijätteen soveltuvuutta uusiomuovikäyttöön putkenvalmistuksessa. Käytännön osuudessa esitetään myös työn aikana suoritettujen koeajojen tulokset sekä neitseellisestä ja uusiomuovista valmistettujen muoviputkien keskinäiset vertailut.

Työn lopussa esitellään konkreettiset työn tulokset ja tehdään yhteenveto työn onnistumisesta. Lisäksi pohditaan jatkokehitysmahdollisuuksia sekä projektin mahdollista jatkuvuutta.

Avainsanat: muovijäte, kierrätysraaka-aine, kierrätys, uusiomuovi

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

RUOKAMO, KUSTI: Survey and purchasing of plastic waste for recycling  
Case: Pipelife Hafab Ab

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering

43 pages, 1 appendices

Spring 2011

## ABSTRACT

---

This thesis was made at Haparanda and commissioned by Pipelife Hafab Ab. The first purpose of the thesis was to make a survey the plastic waste available in northern Finland and northern Sweden and also to utilize it as a recycled raw-material in pipe manufacturing.

The second purpose was to diminish costs of manufacturing because raw-material prices have increased because of greater demand. The third purpose was to diminish the load on the environment by utilizing the plastic waste in recycled plastic pipes.

The theoretical part describes the most common raw-materials and demands of them in the pipe industry and utilizing of recycled plastic in Finland. The theoretical part also includes study of of plastic waste in general and it's various recycling possibilities. The manufacturing and test methods that were used in this thesis are also presented.

The practical part describes the methods of both the survey and the purchasing of the plastic waste. This part also describes how the surveyed plastic waste from different customers suits pipe manufacturing. The practical part also includes test runs and the final results and compares the pipes that were made from virgin and recycled raw-materials.

The summary part estimates the success of the thesis and discusses how this kind of project could continue in the future.

Key words: plastic waste, recycle raw-material, recycling, recycled plastic

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	MUOVIT	3
2.1	Historia	3
2.2	Muovien jako	3
2.2.1	Polyeteeni	4
2.2.2	Polypropeeni	5
2.2.3	Polyvinyylidikloridi	6
2.3	Uusiomuovi	7
2.3.1	Uusiomuovi Suomessa	7
2.3.2	Uusiomuovin hyödyntäjät	8
2.3.3	Uusiomuovin etuja ja rajoituksia	9
3	MUOVIJÄTE	10
3.1	Muovijäte Suomessa	10
3.2	Jätelaki	10
3.3	Muovijätteen jako	11
3.4	Muovijätteen kierrätys	11
3.4.1	Uudelleenkäyttö	12
3.4.2	Energiahyötykäyttö	12
3.4.3	Materiaalihyötykäyttö	13
4	RAAKA-AINEIDEN VAATIMUKSET PUTKITEOLLISUUDESSA	14
4.1	Neitseellinen raaka-aine	14
4.2	Uusiokäyttö ja kierrätysraaka-aineiden käyttömahdollisuudet	15
4.3	Standardien asettamat vaatimukset	16
4.3.1	Salaojaputket	16
4.3.2	Tuplavahvat viemäriputket	17
5	TYÖSSÄ KÄYTETYT VALMISTUSMENETELMÄT	19
5.1	Ekstruusio	19
5.2	Ruiskuvalu	20
6	TYÖSSÄ KÄYTETYT TESTAUSMENETELMÄT	22
6.1	Iskulujuus	22
6.2	Rengasjäykkyys	23
6.3	Kutistumakoe	25

7	MUOVIJÄTTEEN KARTOITUS	27
7.1	Kartoitetut raaka-aineet	27
8	NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI	28
8.1	Tiheyden määrittäminen	29
8.2	Sulaindeksin määrittäminen	30
8.3	Hapetuskestävyyssajan määrittäminen	31
9	MUOVIJÄTTEEN HANKINTA	33
9.1	Muoviteollisuus	33
9.2	Muut asiakkaat	34
10	KIERRÄTYSRAAKA-AINEEN VALMISTUS	35
10.1	Keräily ja esikäsittely	35
10.2	Murskaus ja rouhinta	36
10.3	Pelletointi, pakkaus ja siiloon puhaltaminen	36
11	YHTEENVETO	38
11.1	Kartoitus	38
11.2	Pelletointi ja koeajot	38
11.3	Jatkotutkimushaasteet	38
11.3.1	Projektin hyödyllisyys ympäristönäkökulmasta	38
	LÄHTEET	41
	LIITTEET	43

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Pohjois-Ruotsin sekä Pohjois-Suomen alueella toimivien teollisuuden yritysten ja laitoksien tuottamia tai synnyttämiä muovijätevirtoja. Kartoituksen lisäksi tavoitteena oli tutkia saatavilla olevan muovijätteen laatua ja sen soveltuvuutta uusiomuovikäyttöön Pipelife Ha-fab Ab:n Haaparannan tuotantolaitoksella.

Kartoituksen yhteydessä asiakkaiden muovijätteestä hankittiin näytteitä, joille suoritettiin kolme soveltuvuutta ja muovilaadun varmistavaa koetta, jotka olivat tiheyden ja sulaindeksiarvon määrittäminen sekä hapetuskestävyyssajan tutkiminen. Edellä mainittujen kokeiden avulla muovijätteestä saatiin tietoja sen soveltuvuudesta uusiomuovikäyttöön putkitekniikassa.

Kaikki saatavissa ollut putkitekniikan soveltuva muovijäte hankittiin asiakkailta suoraan tai niiden keräily kontteihin aloitettiin saatavilla olevan määrän mukaan. Hankittu muovijäte murskattiin ja rouhittiin ennen pelletointia.

Kierrätysmuovia käytettiin sekoitettuna tehdasstandardin alaisina valmistettaviin salaoja- ja viemäriputkiin sekä ruiskuvalulla valmistettaviin kitkamuhveihin. Kierrätysmuovista ja neitseellisestä raaka-aineesta valmistettujen putkien mekaanisia ominaisuuksia vertailtiin keskenään tekemällä niille erilaisia standardeissa esiintyviä kokeita. Tuotteille suoritettiin iskulujuus- ja kutistumakokeet, rengasjäykkyyden- ja hapetuskestävyyssajan sekä sulaindeksin määrittävät kokeet.

Kierrätysmuovin käytöllä pyrittiin vähentämään kaatopaikoille ja polttolaitoksille päätyvää muovin määrää. Tämän lisäksi kierrätysmuovin käyttäminen neitseellisen lisänä pienensi raaka-ainekustannuksia.

Pipelife Hafab Ab:n Haaparannan tehdas on perustettu vuonna 1987 Hafab AB nimellä. Vuonna 2001 Hafab Ab:sta tuli osa Pipelife Finland Oy:tä, jonka muut tehtaot sijaitsevat Iissä, Utajärvellä, Joensuussa ja Tallinnassa. Pipelife Finlandin pääkonttori sijaitsee Oulussa, ja sillä on myyntikonttorit Vantaalla sekä Tampereella. Pipelife Finlandin liikevaihto on 50 miljoonaa euroa, ja se työllistää 171 ihmistä. Sen markkina-alueita ovat Pohjoismaat, Baltian maat ja Venäjä. Pipelife on yksi maamme johtavista putkivalmistajista KWH:n ja Uponorin ohella. (Pipelife Finland Oy. 2011a)

Pipelife Finland Oy on osa Pipelife International-konserina, joka toimii 29 eri maassa. Konsernin liikevaihto vuonna 2009 oli 699 miljoonaa euroa ja se työllisti yhteensä 2457 työntekijää. Sillä on 31 tuotantolaitosta, ja sen pääkonttori sijaitsee Wienissä, Itävallassa. Pipelife International sijoittui kolmannelle sijalle maailmanlaajuisessa putkivalmistajien Top-Ten-listalla vuonna 2010. Konserin omistavat 50/50 Wienerberger ja Solvay. (Pipelife Finland Oy. 2011a)

Pipelife Finland valmistaa putkia erilaisiin käyttökohteisiin, joita ovat talotekniikka, infrarakentaminen, kaapelinsuojaus, teollisuusputkistot sekä ympäristötuotteet. Suomen tehtaista Haaparannan yksikkö valmistaa seuraavia tuotteita: paineettomat PP-, HT-viemäriputket, PE-paineputket, tuplavahvasadevesi- ja rumpuputket, tuplasalaoja- ja yhdistelmäputket, tupla- ja triplakaapelinsuojaputket. Haaparannan tehtaan suurin markkina-alue on Suomi, jonka lisäksi putkia viedään myös muihin pohjoismaihin, Baltian maihin sekä Venäjälle. (Pipelife Finland Oy. 2011a)

## 2 MUOVIT

### 2.1 Historia

Muovien kehitys on alkanut 1800-luvulla ja ensimmäisenä muovina voidaan pitää kovakumia eli eboniittia, jota valmistettiin vulkanoimalla kautsua. Ensimmäinen täysin syntetttinen muovi oli kuitenkin 1907 patentoitu fenolin ja formaldehydin yhdistelmä fenoliformaldehydimuovi eli bakeliitti. Läpimurto polyestereiden ja polyamidien kohdalla puolestaan tapahtui 1920-luvulla, kun Carothers kehitti ensimmäiset alifaattiset polyesterit. Polyestereitä alettiin valmistaa teollisesti sen jälkeen kun Whinfield kehitti ominaisuuksiltaan paremman polyeteenitereftalaatin. (Seppälä 2005, 19.)

Vuonna 1933 PE-HD eli korkeatiheyspolyeteeni keksittiin vahingossa englantilaisessa ICI:n laboratoriossa. 1930-luvulla kehitettyjen polyeteenin, polyvinyylikloridin ja polystyreenin käyttö lisääntyi 1940-luvulla. Lisäksi Zieglerin ja Nattan kehitystyön seurauksena isotaktisen polypropeenin käyttö laajeni runsaaseen teollisuuskäyttöön 1950-luvulla. (Seppälä 2005, 20.)

### 2.2 Muovien jako

Muovit voidaan jakaa ryhmiin niiden erilaisten fysikaalisten ominaisuuksien mukaan. Muovien jako niiden muovausominaisuuksien mukaan jakaa muovit kahteen pääryhmään: kerta- ja kestromuoveihin. (Seppälä 2005, 27.)

Kertamuoveja voidaan nimensä mukaisesti muovata vain kerran, koska kertamuovi muodostuu hartsin kovettumisreaktiossa, missä hartsin polymeeriketjut silloittuessaan muodostavat verkkomaisen rakenteen, jota ei voida muokata uudelleen lämmön avulla. Epoksihartsit, tyydyttämättömät polyesterit sekä fenoliformaldehydimuovit ovat sekä tunnetuimpia että käytetyimpiä kertamuoveja. (Seppälä 2005, 27.)

Kestomuoveja puolestaan voidaan muovata uudelleen, koska lämmitettäessä niiden molekyylijä yhdessä pitävät voimat heikkenevät ja vastaavasti jäähdyttäessä



niiden voimat vahvistuvat, jotka sitovat molekyylit yhteen. Kestomuovit ovat termoplastisia, eli niitä voidaan muokata aina uudelleen lämmön avulla, mutta on syytä muistaa, että jokainen uudelleen muokkaus heikentää niiden ominaisuuksia. (Seppälä 2005, 27.)

Tässä työssä keskitytään pelkästään kestumuveihin ja niiden käyttämiseen muoviputken valmistuksessa. Käytetyimmät raaka-aineet putkitekollisuudessa ovat polyeteeni, polypropeeni ja polyvinylikloridi.

### 2.2.1 Polyeteeni

Polyolefiineihin kuuluva polyeteeni on osakiteinen muovi, joka on rakenteeltaan suoraketjuinen ja joka valmistusmenetelmästä riippuen voi sisältää sekä lyhyitä että pitkiä haaroja. Polyeteenistä on kehitetty monia erilaisia laatuja, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan niiden käyttökohteen mukaan. Tärkeimpien polyeteenilaatujen, kuten PE-LD:n ja PE-HD:n, sulamislämpötilat eroavat toisistaan jo kymmenillä asteilla. PE-LD:n sulamislämpötila on 108 ja 120 °C ja PE-HD:n puolestaan 130 ja 136 °C välillä. (Seppälä 2005, 165,169.)

Polyeteeni jaetaan sen tiheyden mukaan eri luokkiin, joista käytetään virallisesti nimityksiä PE-LD (matalatiheyspolyeteeni), PE-MD (keskitiheyspolyeteeni) ja PE-HD (korkeatiheyspolyeteeni). Edellä mainitut polyeteenilaadut ovat yleisimpiä muoviputken valmistuksessa käytetyistä ja niiden nimet määräytyvät niiden tiheys- alueen mukaan seuraavasti:

- PE-LD n. 910-930 kg/m<sup>3</sup>
- PE-MD n. 930-940 kg/m<sup>3</sup>
- PE-HD n. 940-970 kg/m<sup>3</sup>

PE-LD:n käyttäminen putkenvalmistuksessa on vähentynyt sen alhaisen paineenkesto-ominaisuuden seurauksena. PE-MD:stä ja PE-HD:stä valmistetaan näin ol-

len suurin osa polyeteeniputkista. PE-MD:sta valmistetut putket toimitetaan yleensä kieppi- ja kelatoimituksina. PE-HD:sta valmistettujen putkien toimitus tapahtuu kieppi- ja kelatoimitusten lisäksi myös salkoina. (Pipelife Finland Oy. 2011b)

PE-HD:lla on parhaimmat ominaisuudet putkenvalmistuksessa käytettävistä polyeteeneistä, joten se on käytetyin raaka-aine tällä hetkellä eri putkenvalmistajilla. PE-HD:sta valmistettu putki on sitä jäykempää mitä suurempi sen tiheysarvo on, jonka lisäksi se mahdollistaa putkille hyvät mekaaniset ominaisuudet, kuten hyvät paineenkesto- ja joustavuusominaisuudet. Sitä on myös helppo hitsata, ja se kestää hyvin naarmuuntumista sekä hankautumista. Lisäksi PE-HD:sta valmistettu putki on hajuton ja mauton, jonka lisäksi sen kemiallinen kestävyys on hyvä. (Pipelife Finland Oy. 2011b)

Polyeteenista valmistettuja putkia käytetään mm. kaivo-, vesi- ja kaapelinsuojaputkissa, ja niille on asetettu standardeissa erilaisia vaatimuksia. Esimerkiksi vesiputkille määrätään paineluokka ja kaapelinsuojaputkille rengasjäykkyysluokka.

### 2.2.2 Polypropeeni

Polypropeenit kuuluvat valtamuovien ryhmään, propeenin syntyy sivutuotteena öljynjalostuksessa ja rinnakkaistuotteena eteenin valmistuksessa. Polypropeeni kuuluu polyeteenien tavoin polyolefiineihin ja ominaisuuksiltaan polypropeeni muistuttaakin korkeatiheyspolyeteeniä, vaikka PE-HD:n ja PP:n välillä on myös huomattavia eroja niiden ominaisuuksissa. (Seppälä 2005, 176–177.)

Polypropeeni voidaan jakaa kolmeen luokkaan: PP-H (homopolymeeri), PP-R (satunnaiskopolymeeri), PP-B (blokki eli möhkälepolymeeri). PP:n tiheys on noin  $900 - 910 \text{ kg/m}^3$ , ja sitä voidaan kasvattaa talkilla, joka on yksi eniten käytetyimmistä täyteaineista polypropeeniputkien valmistuksessa. (Pipelife Finland Oy. 2011c.) Polypropeenin sulamislämpötila on noin  $160 - 175 \text{ }^\circ\text{C}$  välillä ja sen lasitumislämpötila arvo on  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  välimaastossa. (Seppälä 2005, 176–177.)

PP-R ja PP-B ovat kopolymeerejä, koska niiden valmistukseen käytetään propeenin lisäksi eteeniä. PP-H valmistetaan pelkästään propeenista. Eteenin määrällä voidaan vaikuttaa polypropeenin tärkeimpiin tuoteominaisuuksiin, kuten iskulujuuteen, paineenkestoon sekä kimmomoduuliin. (Pipelife Finland Oy. 2011c.)

PP-H:lla on huonompi iskunkestävyys kylmissä olosuhteissa, mutta sen lämmön- ja kemiallisenkeston ominaisuudet ovat paremmat kuin PP-B:lla ja PP-R:lla. Polypropeenista valmistettuja putkia käytetään pääasiassa teollisuusputkistoissa. Kylmä- ja kuumavesiputkistoissa käytetään PP-R:ää sen hyvän paineenkesto-ominaisuuden vuoksi. PP-B soveltuu parhaiten ulko- ja sisäviemärikäyttöön, missä tarvitaan hyvää iskunkestävyyttä kylmissä olosuhteissa. (Pipelife Finland Oy. 2011c.)

### 2.2.3 Polyvinyylidikloridi

Polyeteenien jälkeen toiseksi käytetyimmät muovit on valmistettu vinyylidikloridista. Polyvinyylidikloridin eli PVC:n polymerointiin käytetään teollisuudessa kolme eri menetelmää, joilla voidaan vaikuttaa sen erikoisominaisuuksiin. Polyvinyylidikloridin valmistusmenetelmät ovat emulsio-, suspensio- ja massapolymerointi. PVC:n kiteisyysaste on vain 5-10 %, joten se lasketaan kuuluvan amorfisiin muoveihin. (Seppälä 2005, 184–186.)

PVC jaetaan yleisesti kahteen pääluokkaan: peruspolymeereihin sekä sekoitteisiin. Putkenvalmistajat ostavat pääsääntöisesti peruspolymeerit raaka-ainevalmistajilta ja tekevät itse omat sekoitteensa omalla tuotantolaitoksellaan. (Pipelife Finland Oy. 2011d.) Täyte- ja pehmitinaineita voidaan käyttää PVC:hen jopa 50 %, useimmiten sekoitettavat täyteaineet ovat halpoja, kuten liitu ja kaoliini. Täyte- ja pehmitinaineiden avulla tuotteeseen saadaan haluttuja ominaisuuksia, jonka lisäksi ne laskevat tuotteen hintaa. (Seppälä 2005, 186)

PVC:llä on hyvä kemiallinen kestävyys, ja se kestää erinomaisesti esimerkiksi happoja, halogeeniä sekä hapettavia aineita. PVC:n yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on sen K-arvo, jonka avulla tiedetään sen soveltuvuus erilaisiin tuotteisiin.

siin. K-arvo kertoo PVC:n moolimassan lukuarvon, ja yleensä peruspolymeerit valmistetaan K-arvoilla 58, 60, 65, 68 ja 70. K-arvon 55–60 omaava polymeeri on kohtalaisen helposti työstettävissä, ja sitä käytetään useimmiten kalvojen ja kovi-en muovituotteiden valmistuksessa. Levyt, kovat putket ja pehmitettynä erilaiset letkut sekä profiilit valmistetaan polymeeristä, jonka K-arvo on 60:n ja 80:n välillä. (Seppälä 2005, 186–187.)

Putkenvalmistuksessa käytetään PVC-U-raaka-ainetta eli ns. kovaa polyvinyylidikloridia, joka antaa putkelle hyvät ominaisuudet, kuten palamattomuuden, hyvän jäykkyyden ja iskulujuuden sekä pitkän käyttöiän. (Pipelife Finland Oy. 2011d.) Kovan PVC:n tiheys on  $1038 \text{ kg/m}^3$ , ja sen K-arvo on 60:n ja 80:n välillä. PVC-U:n kimmokerroin on jopa 3000 MPa, kun PVC-P:n eli pehmeän polyvinyylidikloridin kimmokerroin on vain 20:n ja 40:n MPa:n välillä. PVC-putkia käytetään muun muassa infra-tuotteissa, kuten maaviemäriputkistoissa, kaapelinsuojauksessa ja paineputkissa. (Seppälä 2005, 186–187.)

## 2.3 Uusiomuovi

Uusiomuovi on käytetyn muovituotteen hyödyntämistä uudelleen tuotteena. Kes-tomuovista valmistettuja tuotteita voidaan hyödyntää uudelleen lukuisia kertoja, mutta sen ominaisuudet heikentyvät jokaisessa uudelleenkäyttöprosessissa. Uusiomuovia käytetään yleensä vain sellaisissa tuotteissa, joiden vaatimukset eivät ole korkeita, sekä sellaisissa tuotteissa, missä niiden käyttäminen on sallittua. Uusiomuovia käytetään esimerkiksi muovipusseissa ja muoviputkissa. (Helsinki 2011.)

### 2.3.1 Uusiomuovi Suomessa

Suomessa toimii useita pelkästään muovijätteen hyödyntämiseen keskittyneitä toimijoita. Heidän toimintansa perustuu asiakkailta vastaanotetun muovijätteen kierrättämiseen takaisin asiakkaalle granulaatteina tai sen myymiseen kolmannelle osapuolelle kierrätysraaka-aineena. Lisäksi tämänkaltaiset toimijat valmistavat

myös omia tuotteita käyttäen valmistuksessa asiakkaalta vastaanottamaansa muovijätettä. (Eerola 2006.)

Suomessa toimii myös Pakkausalan ympäristörekisteri PYR, joka kerää pakkauksia valmistavilta yrityksiltä materiaalikohtaisia hyötykäyttömaksuja, joiden avulla se tukee mm. tuottajayhteisöjen toimintaa. Suomen Uusiomuovi Oy on muovipakkausalan tuottajayhteisö. Sen tehtävänä on ohjata näitä tukia eteenpäin kierrätysraaka-aineita hyödyntäville yrityksille. (Eerola 2006.)

Suomessa parhaiten kierrätetään pantilliset muovipullot, joiden kierrätystavoite on 90 % ja niiden kierrättämisestä vastaa Suomen palautuspakkaus Oy (PALPA 2011). Myös muovikasseille on ilmestynyt kauppojen pullonpalautuspisteiden viereen omat keräyspisteensä ja muovikassit kierrätetään Suominen Joustopakkaus Oy:n ja L&T:n toimesta uusiomuovipusseiksi. (Muovikassikiertoon 2011). Lisäksi vuonna 2000 Suomen muoviputketeollisuus ja alan tukkuliikkeet laittoivat alulle vapaaehtoisen muoviputkien keräys- ja hyötykäyttöhankeeseen ja heidän keräyspisteitä on ympäri Suomea (Kainulainen & Masahr 2003, 17.)

### 2.3.2 Uusiomuovin hyödyntäjät

Suomessa tunnettuja toimivia uusiomuovituotevalmistajia tai muiden muovijätettä tuotannossaan hyödyntäviä yrityksiä on toistakymmentä. L&T Muoviportti Oy, Ekiplast Oy, Muovix Oy, Kuusisaaren muovityö, MK Uusiomateriaalit Oy, Nurle Oy sekä Raniplast ovat muiden muassa tämänkaltaisia yrityksiä. Esimerkiksi Muovix Oy tekee muilta muoviteollisuuden yrityksiltä vastaanottamastaan muovijätteestä puumuovikomposiittituotteita ja L&T Muoviportti valmistaa vastaanottamastaan muovijätteestä kierrätysraaka-ainetta. (Eerola 2006.)

Muovien kierrätys Suomessa on kuitenkin yleensä muovituotteita valmistavan yrityksen sisäistä kierrätystä, missä tuote huonon laadun tai muun vian seurauksena hylätään uudelleen kierrätettäväksi. Pääsääntöisesti muovituotevalmistajat rouhivat nämä vialliset tuotteet itse ja valmistavat niistä uusia tuotteita. Muovituotteita valmistavat yritykset, joilla ei ole tällaista mahdollisuutta, lähettävät vialliset

tuotteensa useimmiten muovijätettä vastaanottaville yrityksille, jotka rouhivat ja pelletoivat ne uudelleen käytettäväksi kierrätysraaka-aineeksi. Lisäksi on myös yrityksiä, jotka toimittavat muovijätteensä suoraan kaatopaikalle tai polttolaitokseen niiden vähäisen määrän vuoksi. (Eerola 2006.)

### 2.3.3 Uusiomuovin etuja ja rajoituksia

Suomessa kaikista käytetystä muovista noin 90 % on kestopuoveja ja niitä on kierrätetty kaupallisesti jo 1970-luvulta alkaen. Vuosittain uusiomuoviteollisuus pystyy käsittelemään arviolta 20 000 tonnia kierrätysmateriaalia, ja tulevaisuudessa määrän uskotaan lisääntyvän tietotaidon ja ympäristöystävällisen ajatusmaailman seurauksena. (Järvinen 2000, 102.)

Uusiomuovien käyttämisen eduksi voidaan katsoa juuri sen ympäristöystävällisyys ja sen mukana tuoma positiivinen imago. Lisäksi kierrätysraaka-aineen käyttäminen tuotteissa vähentää materiaalihävikkiä, jos yrityksen tapana on ollut toimittaa syntynyt muovijäte kaatopaikalle tai poltettavaksi energiantuotantolaitokselle. (Järvinen 2000, 102–103.)

Uusiomuovien käytön kasvua rajoittavat useat eri tekijät, joiden vuoksi niiden kierrätys ei ole kehittynyt sille tasolle mihin tavoitteet on asetettu. Rajoittavia tekijöitä ovat uusiomuovin kallis hinta, rajalliset markkinat, jätemuovien sisältämät epäpuhtaudet sekä lukuisat eri muovilaadut. (Järvinen 2000, 102–103.)

### 3 MUOVIJÄTE

#### 3.1 Muovijäte Suomessa

Suomessa tuotetaan vuodessa noin 80 miljoonaa tonnia jätettä, mistä muovijätteen osuus on noin 160 000 tonnia. Pakkausjätteen osuus on noin puolet syntyneestä muovijätteestä. Vuonna 2008 muovijätettä käsiteltiin Suomen tilastokeskuksen mukaan noin 79 000 tonnia, mistä energiahyötykäytön osuus oli 50 000 tonnia, aineskäytön eli uusiokäytön osuus oli noin 28 000 tonnia. Kaatopaikalle muovijätettä päätyi tutkimuksen mukaan 1000 tonnia, lukemiin eivät sisälly sähkö- ja elektroniikkaromuista, kotitalouksien sekäjätteistä eivätkä romuajoneuvoista syntyvät muovijätteet. Suomen tilastokeskuksen tiedoista suurin osa perustuu tuottajavastuuorganisaatioiden, julkisten laitosten tai toimielinten ylläpitämiin rekisteri- ja tilastotietoihin. (Tilastokeskus 2011.)

#### 3.2 Jätelaki

Suomen jätelain JäteL 1072/93 mukaan jätteitä tulisi välttää ja hyödyntämistä lisätä, mutta samainen jätelaki antaa vain yleisiä ohjeita jätteistä eikä mainitse erikseen muoveja tai muita materiaaleja. Jätelain pohjalta määrätään kuitenkin säädöksiä, jotka liittyvät jätteisiin ja niiden hyödyntämiseen. Säädökset ja lait vaihtelevat maittain, mutta ainakin Suomessa noudatetaan pääasiassa EU:n asettamia säädöksiä. Säädökset ovat yleensä sekä tuote että materiaalikohtaisia. (Järvinen 2000, 100–101.)

Yksi kehityslinja on tuottajan vastuulaki, jonka tarkoituksena on, että tuotteen valmistaja osallistuu hylätyn tuotteet jätehuoltoon tai sen hyötykäyttöön. Suomessa kunnat päättävät oman kunnan jätehuollon järjestämisestä ja eri kuntien väliset erot voivat olla todella suuria. (Järvinen 2000, 100–101.)

Muoveja koskeva 94/62EY direktiivi on EU:n asettama pakkausjätedirektiivi, jonka mukaan Suomessa tuli vuonna 2001 kierrättää kaikesta muovipakkausjätteestä 15 % materiaalina ja 30 % muilla menetelmillä. (Järvinen 2000, 100–101.)

### 3.3 Muovijätteen jako

Muovijäte voidaan jakaa eri kategorioihin sen syntypaikan mukaan, joista viisi määrällisesti suurinta muovijätteen syntypaikkaa ovat pakkausjätteet, yhdyskuntajätteet, sähkö- ja elektroniikkaromut (SER), autot ja rakennusjätteet. Suomessa muovijätteen erilliskeräystä ei ole pystytty järjestämään onnistuneesti sen vaikean toteutuksen seurauksena. Monilla kuntien jätehuoltoyrityksillä on muovien keräystä, mutta käytännössä kaikki muovilaadut kerätään samaan astiaan, mikä vaikeuttaa sen hyödyntämistä kierrätysraaka-aineena (Eerola 2006.)

Suomessa muiden teollisuuden alojen kuin muoviteollisuuden muovijätteet keräävät talteen yleensä alihankkijana toimivat jätehuoltoyritykset, jotka toimittavat muovijätteet eteenpäin polttolaitoksille, kaatopaikoille tai muovijätettä hyödyntäville yrityksille. Kotitalouksissa muovien kierrätys on vaikeaa, koska muovijäte on useimmiten likaista ja eri muovilaatuja voi olla sekaisin samassa tuotteessa tai pakkauksessa. Syntyvä muovijäte koostuu elintarvikepakkauksista, muovipusseista sekä käytöstä poistettujen koneiden tai laitteiden osista. Lisäksi kotitalouksista puuttuvat useimmiten eri muovilaatuja varten tarkoitetut keräysastiat, minkä seurauksena muovijäte sijoitetaan sekajäte- tai energiajakekeräysastiaan.

### 3.4 Muovijätteen kierrätys

Muovien kierrätys voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

- uudelleenkäyttö
- energiahyötykäyttö
- materiaalihyötykäyttö
  - o kemiallinen kierrätys
  - o mekaaninen kierrätys.



### 3.4.1 Uudelleenkäyttö

Uudelleenkäytöllä tarkoitetaan toimintaa, missä muovituote puhdistetaan tai pestään käytön jälkeen ja otetaan sen jälkeen uudelleen alkuperäiseen käyttötarkoitukseen. Uudelleenkäyttö ei ole tuotteen hyödyntämistä eikä sen kaltainen tuote ole jätettä. (Hyttinen 2010, 2.)

Uudelleenkäytettäviä muovituotteita ovat esimerkiksi suurissa tapahtumissa yleisesti käytettävät polykarbonaatista (PC) valmistetut muovituopit sekä ruokakaupoissa käytettävät polypropeenista (PP) tai polyeteenistä (PE) valmistetut korit, lavat tai vastaavat alustat, missä tuotteet ovat esillä. (Järvinen 2000, 101.)

### 3.4.2 Energiahyötykäyttö

Energiahyötykäyttö voidaan määritellä seuraavasti: kaikkea muovijätettä ei voida hyödyntää ekologisesti tai taloudellisesti kannattavalla tavalla. Tämän kaltaiset jätteet hyödynnetään polttolaitoksissa tuottamalla siitä sähköä ja lämpöä korvaten fossiilisia polttoaineita, lisäämällä samalla energiaomavaraisuutta. Samalla kaatopaikkojen kuormitus pienentyy ja vastaavasti niiden käyttöaika pidentyy. (Järvinen 2000, 103.)

Muovijätteen käyttäminen polttoaineena polttolaitoksissa vaatii lajittelun, missä muovit, metallit, lasit sekä muut materiaalit erotetaan toisistaan. Muovijäte pitää myös rouhia ennen kuin se on polttokelpoista ja vasta tämän jälkeen muovi voidaan polttaa yhdessä pääpolttoaineen kanssa, joka voi olla esimerkiksi puuta, turvetta tai kivihiiltä. (Järvinen 2000, 103.)

Muovijätteiden polttamiseen on asetettu seuraavia rajoituksia:

- Muovien ja muiden palavien jätteiden lajittelu.
- Polttolaitoksen päästöt eivät saa kasvaa.
- Muovit, joiden tekninen ja taloudellinen kierrätys ei ole kannattavaa, voidaan polttaa.
- Muovien keräys ja polttaminen sovitetaan polttolaitoksen kapasiteettiin.

(Järvinen 2000, 103.)

### 3.4.3 Materiaalihyötykäyttö

Muovijätteen materiaalihyötykäyttö voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat kemiallinen kierrätys ja mekaaninen kierrätys.

Kemiallisessa kierrätyksessä muovijäte hajotetaan kemiallisesti takaisin pieniksi yhdisteiksi, jonka jälkeen se voidaan esimerkiksi polymeroida uudelleen käytettäväksi granulaateiksi. Aihetta on tutkittu ja sitä kehitetään, mutta toistaiseksi kemialliselle kierrätykselle ei ole löytynyt toimivaa ja taloudellisesti kannattavaa ratkaisua Suomessa. Japanissa, USA:ssa, Kiinassa sekä Saksassa tämänkaltaisia suuria kemiallisia kierrätyslaitoksia on, mutta kyseisten maiden muovijätteen määrä on moninkertainen Suomeen verrattuna. (Järvinen 2000, 101.)

Mekaanisella kierrätyksellä tarkoitetaan toimintaa, missä yleensä puhdistettu muovijäte käsitellään mekaanisesti murskaimella, rouhimella sekä pelletointilaitteistolla uudelleen käytettäväksi tuotteessa. Mekaaninen kierrätys on siis muovijätteen sisältämän raaka-aineen hyödyntämistä. Mekaanisen kierrätysprosessin läpikäyneitä tuotteita kutsutaan uusiomuovituotteiksi. (Järvinen 2000, 102.)

## 4 RAAKA-AINEIDEN VAATIMUKSET PUTKITEOLLISUUDESSA

Monikerrosrakenteisien muoviputkien ja putkiyhteiden valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden vaatimukset on määritelty standardissa SFS-EN 13476-2:2007. Raaka-aineiden vaatimukset vaihtelevat käyttökohteiden ja valmistusmenetelmien mukaisesti, jonka lisäksi standardissa on määritelty erikseen neitseellisen- ja kierätyks-raaka-aineen käyttöä koskevat rajoitukset ja vaatimukset. Massiiviseinäisillä muoviputkillä on omat standardinsa, joita ei tässä työssä käsitellä.

### 4.1 Neitseellinen raaka-aine

Putkenvalmistuksessa käytettävistä neitseellisistä raaka-aineista, polyeteenistä ja polypropeenista on esitetty vaatimukset standardissa SFS-EN 13476-2. Standardin mukaan neitseellisestä polypropeenista suulakepuristamalla valmistettujen muoviputkien tulee kestää 140 tunnin sisäinen paineenkestävyyskoe 4,2 MPa:n paineella 80 °C:n lämpötilassa ja 1000 tunnin sisäinen paineenkestävyyskoe 2,5 MPa:n paineella 95 °C:n lämpötilassa. Sisäinen painekoe suoritetaan vesi-vesityyppisenä, missä vettä laitetaan sekä koekappaleena toimivan putken sisään että altaaseen, missä painekoe suoritetaan. Putki läpäisee painekokeen, mikäli se ei rikkoudu kokeen aikana. (SFS-EN 13476-2, 2007, 20-22.)

Käytettävän raaka-aineen sulaindeksi tulee olla 230 °C ja 2,16 kg punnuksella puristettuna  $\leq 1,5$  g/10 min. Lisäksi polypropeenista valmistetun putken täytyy läpäistä hapetuskestävyyskoe, joka suoritetaan isotermisesti 200 °C 30 - 60 minuutin ajan. Putken sisäpinnasta otetun näytteen tulee kestää hapetusta  $\geq 8$  minuuttia. (SFS-EN 13476-2, 2007, 20-22.)

PE:stä valmistettujen putkien tulee kestää 165 tunnin sisäinen paineenkestävyyskoe 4,0 MPa:n paineella 80 °C:n lämpötilassa ja 1000 tunnin sisäinen paineenkestävyyskoe 2,8 MPa:n paineella 80 °C:n lämpötilassa. Putki läpäisee kokeen, jos se kestää rikkoontumatta kokeen ajan. Polyeteenistä valmistetuille putkille sisäinen paineenkestävyyskoe suoritetaan myös vesi-vesi tyyppisenä. (SFS-EN 13476-2, 2007, 22-23, 24.)

Polyeteeniputkissa käytettävän raaka-aineen sulaindeksin tulee olla 190 °C ja 5,0 kg:n punnuksella puristettuna  $\leq 1,6$  g/10 min. Hapetuskestävyyssajan määrittäminen kohteessa polyeteenistä valmistetun putken tulee kestää 200 °C  $\geq 20$  minuuttia hapetusta. Lisäksi putkesta otetun näytteen referenssitiheys tulee olla  $\geq 930$  kg/m<sup>3</sup>. (SFS-EN 13476-2, 2007, 22–24.)

#### 4.2 Uusiokäyttö ja kierrätysraaka-aineiden käyttömahdollisuudet

Kierrätysraaka-aineiden käyttäminen tyyppihyväksynnällä varustetuissa muoviputkissa ja putkiyhteissä on määritelty standardeissa SFS-EN 13476-2 ja SFS-EN 13476-3. Kierrätysraaka-ainetta saa käyttää putken ja putkiyhteiden valmistuksessa tietyin ehdoin, mikäli kierrätysraaka-aine on peräisin suulakepuristamalla valmistetuista muoviputkista, ruiskuvalutuista putkiyhteistä ja rotaatiovalutuista yhteistä tai muista osista. Kierrätysraaka-aineen käyttö puolestaan ei ole sallittua tyyppihyväksynnällä merkityissä muoviputkissa ja putkiyhteissä, mikäli kierrätysraaka-aine on peräisin muista tuotteista kuin edellä on mainittu. (SFS-EN 13476-2, 2007, 84.)

Raaka-aineen valintaprosessissa on näin ollen otettava huomioon kierrätysraaka-aineen alkuperä, mikäli sitä aiotaan käyttää muoviputkissa tai putkiyhteissä, joille on myönnetty tyyppihyväksyntämerkki, jonka myöntää Suomen standardisoimisliitto. Muoviputkia ja putkiyhteitä valmistetaan myös tehdasstandardien alaisina, jolloin niille ei ole haettu tai myönnetty tyyppihyväksyntämerkkiä. Tehdasstandardien mukaisesti valmistettuja putkia tai yhteitä eivät sido samat vaatimukset kuin tyyppihyväksytyt putkia tai yhteitä. (Heinänen 2010.)

Tehdasstandardisoitujen putkien- ja yhteiden valmistuksessa saa käyttää myös kierrätysraaka-ainetta, joka on peräisin muista tuotteista kuin muoviputkista tai putkiyhteistä. Tehdasstandardin mukaisesti valmistetut putket testataan kuitenkin standardien mukaisesti ja niiden tulee läpäistä tehdasstandardissa määritetyt vaatimukset, kuten rengasjäykkyys tai iskulujuuskokeet, vaikka niille ei olisikaan myönnetty tai haettu Suomen standardoimisliiton tyyppihyväksyntämerkkiä. (Heinänen 2010.)

### 4.3 Standardien asettamat vaatimukset

Tässä työssä keskityttiin sellaisten muoviputkien valmistukseen ja testaamiseen, missä kierrätysraaka-aineiden käyttö on sallittua tehdasstandardin alaisille muoviputkille eri käyttökohteissa. Tällaisia käyttökohteita olivat Pipelife Hafab Ab:n Haaparannan tehtaalla valmistettavat salaojaputket, tupla ja triplakaapelinsuojaputket sekä tuplavahvat maaviemäriputket. Edellä mainitut tuotteet valmistetaan ja testataan esitettyjen standardien mukaisesti, vaikka niille ei ole myönnetty Suomen standardoimisliiton tyyppihyväksyntämerkkiä.

#### 4.3.1 Salaojaputket

Standardissa SFS 5675 esitetään polyolefiineista eli polyeteeneistä ja polypropeenista valmistettujen salaojaputkien vaatimukset. Salaojaputkiksi kutsutaan muoviputkia, jotka ovat ulkopinnaltaan aallotettuja ja sisäpuolelta poikkileikkaukseltaan pyöreitä ja sileitä, jotka on tarkoitettu käytettäväksi salaojaputkina rakennuksilla tai muiden vastaavanlaisien vaativien kohteiden salaojituksessa. (SFS 5675, 1990, 1.)

Raaka-aineena käytetään joko polyeteeniä tai polypropeenia. Käytettävän raaka-aineen tulee olla laadultaan homogeenistä ja sellaista, joka täyttää standardissa SFS 5675 esitetyt vaatimukset. Jos stabilointiin käytetään pelkästään nokimustaa, sen pitoisuuden tulee olla  $2,4 \pm 0,6$  painoprosenttia. Sulaindeksin tulee olla polyeteenillä  $\leq 1,6$  g/10 min 5 kg:n punnuksella 190 °C puristettuna. Polypropeenin sulaindeksin pitää olla  $\leq 1$  g/10 min 2,16 kg:n punnuksella 230 °C puristettuna. (SFS 5675, 1990, 1.)

Putkien mitat määräytyvät standardien SFS 3132 ja SFS 3135 mukaisesti. Keskimääräinen ulkohalkaisija määritetään kehämittauksella cirkometriä käyttäen, kun taas keskimääräinen sisähalkaisija määritetään neljän poikkileikkauksen aritmeettisenä keskiarvona. Putken soikeus saa olla enintään 6 %, ja seinämäpaksuus tulee olla niin suuri, että se täyttää standardin SFS 5675 vaatimukset. Lisäksi putken pituuden tulee olla 1 m kerrannainen. (SFS 5675, 1990, 1-2.)

Salaojaputket rei'itetään ja reikien tulee olla suunnilleen suorakaiteen muotoisia. Rei'ityksestä ei saa syntyä jäänteitä, jotka estävät tai vaikeuttavat veden pääsyä putkeen tai veden virtausta putkessa. Putkien reikäpinta-alan tulee olla 10...100 cm<sup>2</sup>/m. (SFS 5675, 1990, 2.)

Salaojaputkien mekaaniset ominaisuudet varmistetaan tekemällä valmistetuille putkille sekä rengasjäykkyys- että iskulujuuskokeet vuorokauden kuluttua valmistumisesta. Lisäksi putkien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet täytyvät, kun ne kestävät maaperässä tavallisesti esiintyviä aineita. Käytettävän raaka-aineen tulee olla riittävän hyvin stabiloitua suojatakseen ympäristön aiheuttamalta vanhenemiselta. Vuoden kestäneen varastoinnin jälkeen putkien ominaisuuksien tulee säilyä toimitusehtojen mukaisesti. Putken pituusmassa ei saa alittaa tyyppitarkastuksessa kirjattua arvoa enempää kuin 5 %. (SFS 5675, 1990, 3.)

Jos putki täyttää tämän standardin vaatimukset, valmistaja saa Suomen standardisoimisliiton erikseen tarkemmin määritetyin ehdoin luvan käyttää SFS:n virallisesti vahvistettua tyyppihyväksyntämerkkiä. (SFS 5675, 1990, 4.)

#### 4.3.2 Tuplavahvat viemäriputket

Standardissa SFS 3453 esitetään vaatimukset polyeteenistä ja polypropeenista valmistetuille kevennetyille putkille, jotka on tarkoitettu asennettaviksi paineettomina maahan viettoviemäriputki käyttöön. (SFS 3453, 1990, 2.)

Kevennetyt viemäriputket voivat olla rakenteeltaan kerrosrakenteisia tai onteloseinämäisiä putkia, joiden sisä- ja ulkopinnat ovat sileitä (Tyyppi A). Lisäksi ne voivat olla rakenteeltaan aallotettuja, missä putken sisäpinta on sileä ja ulkopinta aallotettu (Tyyppi B). (SFS 3453, 1990, 3.)

Raaka-aineena käytetään polyeteeniä tai polypropeenaa. Polyeteenistä valmistettuihin viemäriputkiin voidaan lisätä sellaisia ominaisuuksiltaan tunnettuja lisäaineita, jotka tarvitaan niiden työstettävyyden parantamiseksi sekä laadun varmistamiseksi. UV-stabilaattorina voidaan käyttää nokimustaa, jolle on asetettu vaati-

mukset standardissa. Perusraaka-aineena käytettävän polyeteenin sulaindeksi ei saa ylittää arvoa 1,6g/10 min, kun sulaindeksimittaus suoritetaan 190 °C 5 kg:n punnuksella puristettuna. (SFS 3453, 1990, 3).

Polypropeenista valmistetuissa maaviemäriputkissa perusraaka-aineena käytetään kopolymeeri-PP:tä, jossa saa olla maksimissaan 20 % komonomeeriä. Polypropeenista valmistettaviin maaviemäriputkiin voidaan lisätä ominaisuuksiltaan tunnettuja lisäaineita, jotka helpottavat työstämistä ja parantavat laatua. Perusraaka-aineen tiheys tulee olla välillä  $890 \text{ kg/m}^3$  -  $950 \text{ kg/m}^3$ , ja se määritetään standardin ISO 3477 mukaisesti. Sulaindeksi määritetään SFS 3150 mukaisesti 230 °C 5 kg:n punnuksella puristettuna ja mitattu sulaindeksi-arvo ei saa ylittää arvoa 5 g/10 min. Polyeteenistä ja polypropeenista valmistettujen maaviemäriputkien mekaaniset ominaisuudet testataan suorittamalla putkille iskulujuus-, rengasjäykkyys- ja lommahduskokeet (SFS 3453,1990, 3, 9).

## 5 TYÖSSÄ KÄYTETYT VALMISTUSMENETELMÄT

Muoviputkien valmistuksessa yleisin valmistusmenetelmä on suulakepuristus eli ekstruusio ja muoviputkiyhteiden puolestaan ruiskuvalu. Tässä työssä käytettiin molempia valmistusmenetelmiä erilaisten muoviputkien ja putkiyhteiden valmistukseen. Putkien valmistuksessa käytettiin Krauss Maffein valmistamia ekstrudereita. Korrugoidut eli aallotetut putket valmistettiin koekstruusiolla.

### 5.1 Ekstruusio

Ekstruusio eli suulakepuristuslinjastoon kuuluvat yleensä syöttösuppilo, ekstruuderit, suutin, kalibrointityökalu, jäähdytysaltaat, vetolaite sekä saha tai katkaisulaite. Lisäksi linjastolla voi olla kiinteä tai siirrettävä kiepittäjä sekä kärry, mihin valmiit putket pakataan. (Järvinen 2000, 110.)

Muoviputkia voidaan valmistaa ekstruuderilla 16 mm:n halkaisijasta aina 1200 mm:n halkaisijaan asti erilaisilla seinämävahvuuksilla ja kerrosrakenteilla saumattomasti. Suuremman dimension putkia on mahdollista valmistaa muilla valmistusmenetelmillä kuten kelaus- tai kierrekäämäysmenetelmällä. (SFS 13476-1, 18.)

Ekstruusiossa putket valmistetaan yksi- tai kaksiruuviekstruudilla, missä muovi plastisoidaan homogeeniseksi paineen, lämmön ja kitkan avulla. Putken valmistuksessa plastisoitu massa puristetaan puristinpäässä olevan suuttimen läpi ruuvin avulla. Suuttimen jälkeen profiili jäähdytetään sekä kalibroidaan haluttuihin mittoihin. Putkilinjan loppupäässä on saha tai katkaisulaite, millä putkesta saadaan halutun mittainen. Vaihtoehtoisesti putki voidaan ajaa kiepittäjälle, jolloin voidaan ajaa pitempi määrä putkea, joka on helpompi asentaa. Katkaisun jälkeen putkeen voidaan tarvittaessa asentaa muhvi joko käsin tai hitsaamalla esimerkiksi kitkahitsauksella. Putket toimitetaan tankoina tai kieppeinä asiakkaan tarpeiden mukaan. (Järvinen 2000, 109–110.)

Koekstruusiossa putkilinjalla on kaksi tai useampia ekstruudereita, joiden avulla voidaan ajaa putkeen monikerrosrakente. Kaksikerros- eli tuplaputkissa, sisäpinta



on sileä ja ulkopinta aallotettu. Tuplaputkia käytetään esimerkiksi salaoja- ja kaapelinsuojaputkissa. Kolmikerros- eli triplaputkissa sisä- ja ulkokerros ovat sileitä ja keskikerros on aallotettu. Niitä käytetään tuplaputkien tavoin kaapelinsuojaukseen. Aallotettu pinta saadaan aikaan tyhjiömuovaamalla kuumennettu putki linjassa kiertäviin muottipaloihin. (Seppälä 2005, 275.)

## 5.2 Ruiskuvalu

Ruiskuvalulla valmistetaan suuria sarjoja ja sarjakoot vaihtelevat tuhansien kappaleiden sarjoista miljoonien kappaleiden sarjoihin. Myös pienemmät sarjakoot voidaan valmistaa ruiskuvalulla, jos haluttuihin tuoteominaisuuksiin ei päästä muilla työstömenetelmillä. (Perkiö 2007.)

Käytettäviltä raaka-aineilta vaaditaan hyviä virtausominaisuuksia, minkä lisäksi niiden tulee olla muokattavissa lämmön, paineen ja kitkan avulla. Ruiskuvalu sopii sekä amorfisille että osakiteisille muoveille, ja sillä voidaan valmistaa tuotteita, jotka ovat erittäin mittatarkkoja. Ruiskuvalettujen kappaleiden koko on tavallisesti muutamasta grammoista muutamaan kilogrammaan, mutta myös suuremmat ja painavimmat kappaleet ovat mahdollisia kalliimmilla ruiskuvalukoneilla. Ruiskuvalettujen tuotteiden jälkityöstö pyritään minimoimaan jo suunnitteluvaiheessa erilaisilla ratkaisuilla. Yleisimpiä ruiskuvalutuotteen viimeistely vaihteita ovat tuotteen maalaus ja valutappien poistaminen. (Perkiö 2007.)

Ruiskuvalumenetelmässä syöttösuppiloon syötettävä raaka-aine plastisoidaan homogeeniseksi lämmön, kitkan ja paineen avulla. Ruuvin vetäytyessä takaisin sylinterin päähän tasalaatuinen massa työntyy eteenpäin, jonka jälkeen sulamassa ruiskutetaan muottiin. Samaan aikaan muottia aletaan jäähdyttää ja kun kappale on jäähtynyt, takamuotti aukaistaan ja kappale poistetaan muotista ulostyönnon avulla. (Perkiö 2007.)

Ruiskuvalussa yhtä kierrosta kutsutaan jaksoksi, jaksoaika voi vaihdella tuotteesta riippuen kymmenistä sekunneista muutamaan minuuttiin. Jaksoaika alkaa muotin sulkeutumisesta ja päättyy kappaleen poistoon muotista. Suunnitteluvaiheessa

tuotteesta on tehtävä rakenteeltaan mahdollisimman tasalaatuinen, koska erikokoiset seinämävahvuudet saattavat aiheuttaa tuotteeseen imuja, koska ohuempi seinämärakenne jäähtyy nopeammin kuin paksummat kohdat. Mitä nopeammaksi eri vaiheet saadaan optimoitua sitä lyhyempi jaksoaika ja edullisemmat valmistuskustannukset. (Perkiö 2007.)

## 6 TYÖSSÄ KÄYTETYT TESTAUSMENETELMÄT

Työssä valmistetuille tuotteille suoritettiin erilaisia mekaanisia ja termisiä testauksia, jotka on määritelty standardeissa. Vaadittavien testien määrä vaihtelee testattavasta tuotteesta riippuen ja kaikille työn aikana valmistetuille tuotteille suoritettiin kaikki ne testaukset, jotka on esitetty kyseisen tuotteen omassa standardissa.

### 6.1 Iskulujuus

Iskulujuuden määrittäminen porrasmenetelmällä perustuu standardiin SFS-EN 1411. Testin pääperiaate on hakea minimiraja, missä testattava koekappale kestää iskun. Rajaa haetaan aloittamalla testi halutusta pudotuskorkeudesta ja sen jälkeen sitä jatketaan nostamalla pudotuskorkeutta 0,1 m aina, kun koekappale kestää edellisen pudotuksen, ja vastaavasti pudotuskorkeutta lasketaan 0,1 m, mikäli koekappale rikkoontuu. (SFS-EN 1411, 1996, 4.)

Testi voidaan suorittaa esikoemenettelyllä tai pääkoemenettelyllä. Esikoemenettelyssä koekappaleita on kymmenen, ja pääkoemenettelyssä iskettäviä koekappaleita on 20. Kaikkien valmistuserästä satunnaisesti valituista putkista katkaistujen koekappaleiden tulee olla pituudeltaan  $200 \text{ mm} \pm 10$ . Koekappaleet vakioidaan  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa vähintään tunnin ajan ennen varsinaisen testin suorittamista alle 8,6 mm seinämäisille putkille, 8,6 - 14,1 mm seinämäisillä putkilla vakiontiaika on kaksi tuntia. Isku tulee suorittaa 10 sekunnin kuluessa kappaleen poistamisesta vakiontilämpötilasta, ja jokaiselle koekappaleelle suoritetaan vain yksi isku. (SFS-EN 1411, 1996, 8, 10.)

Iskurin massa valitaan standardissa olevan taulukon mukaan tai niin, että  $b_{50}$ -arvo on 0,5-2,0 m välillä.  $b_{50}$ -arvo saadaan, kun määrätyn painoisella iskurilla isketään koekappaleita ja testattavasta valmistuserästä 50 % koekappaleista rikkoontuu.  $B_{50}$ -arvo lasketaan seuraavalla kaavalla:

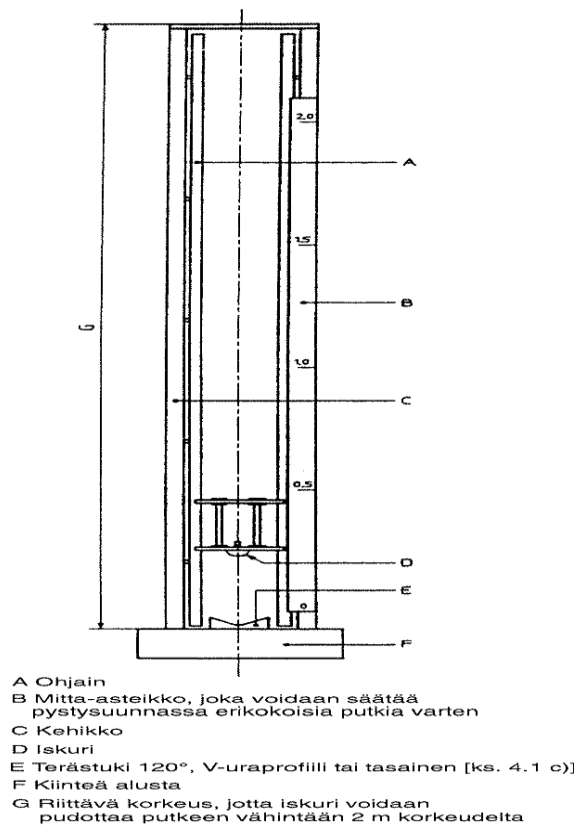
$$B_{50} = \frac{\bar{x}_b + \bar{x}_u}{2} \quad (1)$$

missä

$X_b$ = niiden pudotuskorkeuksien keskiarvo, missä koekappale rikkoontui.

$X_u$ = niiden pudotuskorkeuksien keskiarvo, missä koekappale ei rikkoontunut.

Kuviossa 1 on esitetty kuvaus iskukoelaitteistosta. (SFS-EN 1411, 1996, 8, 10.)



KUVIO 1. Tyypillinen iskukoelaitteisto muoviputkien iskulujuuden määrittämiseksi (SFS-EN 1411, 6)

## 6.2 Rengasjäykkyys

Standardissa SFS-EN 9969 määritetään kestumoviputkien rengasjäykkyys, joka kertoo, kuinka paljon kuormitusta putki kestä, kun sitä puristetaan kahden vaakatasossa olevan levyn välissä vakionopeudella. Vakionopeus määräytyy putken nimellishalkaisijan perusteella. Taulukossa 1 esitetään puristusnopeuden määrittäminen erikokoisille putkille.

TAULUKKO 1. Puristusnopeuden määräytyminen putken nimellishalkaisijan mukaisesti (SFS-EN 9969,1995, 6)

Putken nimellishalkaisija $d_n$ mm	Puristusnopeus mm/min
$d_n \leq 100$	$2 \pm 0,4$
$100 < d_n \leq 200$	$5 \pm 1$
$200 < d_n \leq 400$	$10 \pm 2$
$400 < d_n \leq 1000$	$20 \pm 2$
$d_n > 1000$	$50 \pm 5$

Rengasjäykkyyskoe suoritettiin Zwick/Roellin laitteistolla, johon kuuluvat puristuslaitteen lisäksi TestXpert-tietokoneohjelma. Rengasjäykkyys lasketaan funktiona voimalla, joka vaaditaan muodostamaan muodonmuutos  $0,03d_1$  putken poikkileikkaus-halkaisija suunnassa. Rengasjäykkyys voidaan laskea myös kaavalla:

$$S = \frac{EI}{D^3} \quad (2)$$

S = putken rengasjäykkyys ( $\text{N/m}^2$ )

E = putken kimmomoduuli ( $\text{N/m}^2$ )

I = putken hitausmomentti ( $\text{m}^3$ )

D = putken keskihalkaisija (m)

Rengasjäykkyyskokeen koekappaleet tulee olla  $300 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ :n pituisia putkia, ja ne valitaan valmistetusta koe-erästä satunnaisesti. Koekappaleiden vakiointiaika on vähintään 24 tuntia valmistuksesta koeolosuhteissa. Koekappaleen vakiointi- ja testauslämpötila on  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Koe suoritetaan valmistuserästä satunnaisesti valitulle putkelle. Putkesta tehdään kolme koekappaletta ja niille kaikille suoritetaan rengasjäykkyuden mittaus kolmesta eri kohdasta. Koekappale hyväksytään, jos kolmen kohdan mittauksen keskiarvo ylittää vaaditun rengasjäykkyysluokan arvon. (SFS-EN 9969, 1995, 8, 10.)

Muoviputkille on asetettu niiden käyttötarkoituksen perusteella käyttöluokat, jotka merkitään putkeen leimalla. Merkintä tapahtuu seuraavasti eri käyttöluokille:

- A luokka, raskas käyttö: merkintä SN16/A
- B luokka, keskiraskas käyttö: merkintä SN8/B
- C luokka, kevyt käyttö: merkintä SN4/C.

### 6.3 Kutistumakoe

Pituussuuntaisen muodonmuutoksen määrittämiseen muoviputkille sovelletaan standardia SFS-EN 743 ja koe suoritetaan kiertoilmauunia apuna käyttäen. Muodonpysyvyys lasketaan prosentteina alkuperäisen pituuden muutoksena pituuteen, joka saavutetaan kutistumakokeen jälkeen. (SFS-EN 743, 1995, 6.)

Kutistumakokeessa koekappaleet katkaistaan vähintään 200 mm:n pituiseksi ja koekappaleet valitaan satunnaisesti valmistetusta erästä. Koekappaleita vakioidaan valmistuksen jälkeen 23 °C:n lämpötilassa vähintään kaksi tuntia. Vakioinnin jälkeen putkenpäihin merkitään merkkiviivat kehän suuntaisesti 100 mm päähän toisistaan niin, että merkkiviivojen ja putkenpäiden välinen etäisyys on vähintään 10 mm. Lopuksi koekappaleisiin porataan kaksi reikää, joista ne ripustetaan uuniin. (SFS-EN 743, 1995, 6)

Koekappaleita lämmitetään kiertoilmaunissa tunnin ajan tietyssä lämpötilassa. Lämpötilan valintaan vaikuttaa putkessa käytettävä raaka-aine. Polyeteenistä valmistettuja putkia lämmitetään 110 °C:seen ja polypropeenista valmistettuja putkia 150 °C:seen. Tunnin uunituksen jälkeen koekappaleet jäähdytetään vakiointilämpötilaan 23 °C:seen  $\pm 2$  °C, jonka jälkeen keskiviivan suhteen suurin ja pienin arvo merkkiviivojen välillä kirjataan ylös. Pituussuuntainen muodonmuutos  $R_L$  lasketaan prosentteina seuraavalla kaavalla:

$$R_L = \frac{VL}{L_o} \times 100 \quad (3)$$

$$VL = L_o - L$$

$L_o$  = merkkiviivojen alkuperäinen etäisyys millimetreinä ennen lämmitystä

$L$  = merkkiviivojen etäisyys millimetreinä lämmityksen jälkeen vakiontilämpötilassa. (SFS-EN 743, 1995, 4, 6.)

## 7 MUOVIJÄTTEEN KARTOITUS

Muovijätteen kartoituksen tarkoituksena oli selvittää Pohjois-Suomen ja Pohjois-Ruotsin alueella toimivien yritysten tuottaman muovijätteen määrä ja sen laatu. Kartoituksen tavoitteena oli tutkia, hyödyntävätkö alueen yritykset muovijätteensä itse ja soveltuisiko se Pipelife Hafab AB:n käytettäväksi putkenvalmistus raaka-aineena.

### 7.1 Kartoitetut raaka-aineet

Tarkoituksena oli kartoittaa ja hankkia sellaisia muovilaatuja, joita Pipelife pystyy hyödyntämään omassa tuotannossaan. Tuotantoon soveltuvia raaka-aineita olivat PE-HD, PE-LD, PP ja PVC, joista PE-HD:n käyttäminen on selvästi suurinta heidän tuotannossaan. PVC:tä kartoitettiin Pipelifen Utajärven tehtaassa käyttöön ja muita muovilaatuja Haaparannan tehtaalle. Ensisijaisena tavoitteena oli kartoittaa kovaa muovijätettä, koska sahausjätteen ja kalvomaisen muovin hyödyntäminen ei ollut mahdollista käytettävissä olevalla laitteistolla. Lisäksi oltiin kiinnostuneita kalvomaisesta muovista sekä sahausjätetyyppisestä muovijätteestä ja niiden saatavilla olevista määristä, koska näiden tietojen avulla voitiin arvioida ja pohtia mahdollisten investointien kannattavuutta, jotta tämänkaltaiset muovijätteet voitaisiin rouhia ja pelletoida kierrätysraaka-aineeksi tulevaisuudessa.



## 8 NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI

Kartoitettujen asiakkaiden kanssa keskusteltiin heidän toiminnassaan syntyvän muovijätteen laadusta ja määristä. Alustavien keskustelujen jälkeen asiakkaille ehdotettiin tapaamista ja sovittujen asiakastapaamisten yhteydessä muovijätteestä kerättiin näytteet paikan päällä. Asiakastapaamisissa saatiin lisätietoja asiakkaan muovijätteen vuosittaisista määristä, niiden lajittelusta sekä niiden puhtaudesta.

Tapaamisten yhteydessä kerätyille näytteille suoritettiin kolme muovilaadun tunnistamista varmentavaa koetta: tiheyden-, hapetuskestävyyssajan- ja sulaindeksinmäärittävät kokeet. Kokeet suoritettiin Haaparannan tehtaan testauslaboratoriossa käyttämällä tiheyden määrittämiseen Wallace Instrumentsin elektronista tiheyden määrittäjävaakaa, Mettler Toledon DSC-laitetta hapetuskestävyyssajan määrittämiseen sekä Davenportin sulaindeksilaitteistoa sulaindeksin määrittämistä varten. Kuviossa 2 on esitetty muutamia esimerkkejä kerätyistä näytteistä.



KUVIO 2. Esimerkkejä asiakastapaamisten yhteydessä kerätyistä näytteistä

## 8.1 Tiheyden määrittäminen

Näytteiden tiheydenmäärittäminen suoritettiin käyttämällä Wallace Instrumentsin elektronista tiheydenmäärittämissä, missä näyte punnitaan ensin ”ilmassa” ja sen jälkeen sopivassa nesteessä. Tiheyden määrittämistä varten kokeessa käytettiin nesteenä akkuvettä. Näytteen valmistus tapahtui joko puukolla tai peltisaksilla ja näytteen tuli olla painoltaan 2,56 g-5,65 g, jos näytteen arvioitu tiheys oli 0,800–1,200 g/cm<sup>3</sup> väliltä. (Electronic Densimeter Tester User Manual)

Tiheyden määrittäminen on yksinkertainen ja nopea menetelmä suorittaa vaakaa asennetun punnitustyökalun ja ohjelman avulla. Laboratorion vaadittu testauslämpötila on 23±0,5 °C ja näytteen tiheys lasketaan punnitustulosten lisäksi käytettävän nesteen tiheydestä testauslämpötilassa. Testi perustuu ISO 1183 -standardiin.

Tiheys voidaan määrittää seuraavan kaavan avulla:

$$\rho_s = \frac{m_{s,A} * \rho_{IL}}{m_{s,A} - m_{s,IL}} \quad (4)$$

$\rho_s$  = näytteen tiheys 23 °C:ssa, kg/m<sup>3</sup>

$\rho_{IL}$  = nesteen tiheys kg/m<sup>3</sup>

$m_{s,A}$  = näytteen paino ilmassa, g

$m_{s,IL}$  = näytteen paino nesteeseen upotettuna, g

Taulukossa 2 on esitetty kartoitetun muovijätteen tiheydet.

TAULUKKO 2. Kartoitettujen näytteiden tiheydet

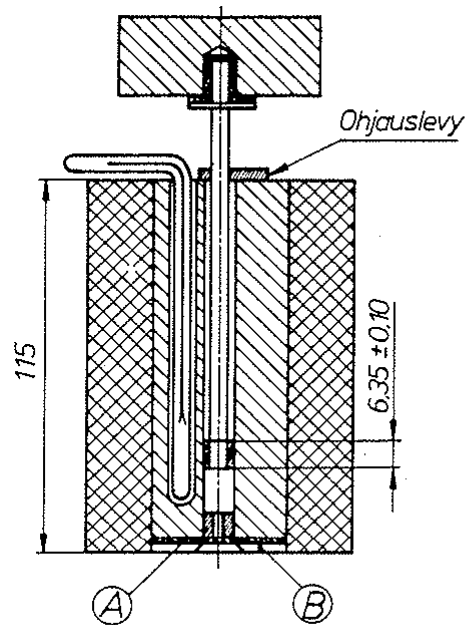
Näyte	Tiheys g/cm <sup>3</sup>
Pelloplast PE-LD	0,83
Muovikori Hartwall	0,96
1000l kanisteri Metsä Botnia	0,98
PE-HD 16mm putki	0,99
HDPE putki 90mm KMR	0,94
HDPE putki 25mm KMR	0,97
HDPE putki 63mm KMR	0,99
Valukakku PE-LD Draka Cable	0,96
PE+vaaho Draka Cable	0,69
Valukakku PE-(LD+HD)	0,97

Kaapelinsuoja PP Draka Cable	1,1
HDPE levy KMR	0,95

## 8.2 Sulaindeksin määrittäminen

Sulaindeksin mittaaminen suoritettiin Davenportin sulaindeksilaitteistolla tehtaan testauslaboratoriossa. Sulaindeksin mittaustulokset antavat tietoa tutkittavan näytteen virtausominaisuuksista, molekyyliarakenteesta ja sen työstettävyydestä. Sulaindeksimittauksessa tutkittava näyte puristetaan sulaindeksilaitteiston pystysuoran sylinterin alaosaan laitettavan suuttimen läpi, joka on määritelty standardissa. Polyeteenin sulaindeksimittauksessa käytetään 190 °C:n lämpötilaa ja polypropeenin 230 °C. Sulaindeksi määrittyy sen mukaan kuinka paljon suuttimen läpi pursuaa muovia grammoina 10 minuutin aikana. Punnuksina sulaindeksin mittaamisessa käytetään 2,16 kg:n, 5,0 kg:n ja 21,0 kg:n painoisia metallisia painoja riippuen tutkittavasta raaka-aineesta. Sulaindeksin määrittäminen perustuu ISO 1133 -standardiin. (SFS 3150. 1982, 2, 3.)

Koe voidaan tehdä sekä valmiille tuotteelle että raaka-aineelle pakkaamalla tutkittava muovi lämmitettyyn sylinteriin, jonka jälkeen muovi puristetaan suuttimen läpi männän yläpäähän laitettavan punnuksen avulla. Kuviossa 3 esitetään sulaindeksilaitteen kokoonpanokuva ja sen toimintaperiaate. Taulukossa 3 on nähtävissä kartoitettujen näytteiden sulaindeksiarvot.



Kuva 1 Sulaindeksilaitte. Sulakkeen kiinnityslevy A ja eristyslevy B

KUVIO 3. Sulaindeksilaitteisto ja sen toimintaperiaate (SFS 3150. 1982, 2)

TAULUKKO 3. Kartoitettujen näytteiden sulaindeksi-arvot g/10min

Näyte	Sulaindeksi g/10min - (5kg/190 °C)
Pelloplast PE-LD	0,96
Muovikori Hartwall	8,4
1000 l kanisteri Metsä Botnia	0,11
PE-HD 16mm putki Talvivaara	2,51
HDPE putki 90mm KMR	0,31
HDPE putki 25mm KMR	0,57
HDPE putki 63mm KMR	0,26
Valujäte PE-LD	3,85
PE+vahto Draka Cable	19
Valukakku PE(LD+HD) Draka Cable	4,25
Kaapelinsuoja PP Draka Cable	1
HDPE levy KMR	0,64

### 8.3 Hapetuskestävyyssajan määrittäminen

Muoviputkille suoritetaan sen hapetuskestävyyden määrittämiseksi ISO 5103-standardiin perustuva koe, käyttäen termiseen analyysiin soveltuvaa, indiumreferenssillä varustettua DSC- tai DTA-laitetta. (SFS 5103, 1982, 17.)

Kokeet suoritettiin Haaparannan tehtaan testauslaboratoriossa ja ne suoritettiin Mettler Toledon DSC-laitetta ja siihen kuuluvaa tietokoneohjelmaa apuna käyttäen. Koekappale valmistetaan leikkaamalla näyte putken sisäpinnasta, kun koe suoritetaan muoviputkille tai putkiyhteille. Tässä tapauksessa näyte leikattiin hankittujen näytteiden sisäpinnasta, koska kyseessä oli putki ja muista tuotteista satunnaisesti valitusta kohdasta. Hapetuskestävyyssajan määrittämisessä näytteen tulee olla painoltaan noin 10 mg ja ennen määrittystä käytettävään uuniin puhalletaan inerttiä kaasua, jotta sinne saadaan inaktiivinen atmosfääri. Kokeessa käytetty kaasu oli happi. (SFS 5103, 1982, 17.)

Kokeessa mitattiin hapetuskestävyyssajan lisäksi tutkittavan näytteen sulamispiste. Kokeen alussa uuni esilämmitettiin 50 °C:seen, jonka jälkeen näytettä lämmitettiin 200 celsius asteeseen nopeudella 20 °C/min. Näytettä pidetään 200 celsius asteessa 30–60 minuuttia riippuen siitä kuinka paljon tietoa näytteen hapettumisen kestävydestä tarvitaan. Edellä mainitun aikavälin aikana laite hapettaa tutkittavaa näytettä ja kokeen aikana tietokoneohjelma piirtää käyrän näytteen hapetuskestävyyssajasta. Standardin SFS-EN 13476-2 mukaan polyeteeniputken tulee kestää vähintään 20 minuuttia hapetusta ja polypropeenista valmistetun putken vähintään 8 minuuttia. Hapetuskestävyyssajan määrittämisestä suoritettaessa näytteen hapettumista mitattiin isotermisesti 30 minuutin ajan. Taulukossa 4 on esitetty kartoitetun muovijätteen hapetuskestävyyssaja. (SFS 5103, 1982, 17.)

TAULUKKO 4. Kartoitettujen näytteiden hapetuskestävyyssaja minuuhteina

Näyte	Hapetuskestävyys aika (min)
Pelloplast PE-LD (kiekko)	2,5
Muovikori Hartwall	1,8
1000l kanisteri Metsä Botnia	5
PE-HD 16mm putki Talvivaara	18,6
HDPE Putki 90mm KMR	30
HDPE Putki 25mm KRM	30
PP-H Putki 63mm KMR	30
Valukakku PE-LD Draka Cable	30
PE+vaahto Draka Cable	5
Valukakku PE-(LD+HD) Draka Cable	30
kaapelinsuoja PP Draka Cable	30
HDPE levy KMR	30

## 9 MUOVIJÄTTEEN HANKINTA

Kun asiakastapaamisten yhteydessä kerätyille näytteille oli suoritettu niiden tunnistamiseksi tarvittavat analyysit, niiden soveltuvuudesta tuotantoon keskusteltiin raaka-ainehankinnoista vastaavan henkilön kanssa. Tärkeimpiä kriteereitä muovijätteen hankinnalle oli sen soveltuvuus putkenvalmistukseen, puhtaus sekä hankinnan taloudellinen kannattavuus.

Edellä mainittujen kriteereiden perusteella päätettiin jatketaanko kartoitettujen asiakkaiden kanssa neuvotteluja. Pääsääntöisesti neuvotteluissa pyrittiin pääsemään tilanteeseen, missä molemmat voittavat eikä muovijätteen hankinta aiheuta asiakkaalle lisäkustannuksia. Hankinnat olivat kuitenkin aina asiakaskohtaisia ja eniten niihin vaikuttivat saatavilla olevan muovijätteen laatu ja määrä sekä yrityksen toimiala.

### 9.1 Muoviteollisuus

Muovituotteita valmistavilta yrityksiltä hankittava muovi oli yleensä helpompi tunnistaa, koska heidän tuotannossaan käytettävien raaka-aineiden ominaisuudet, kuten sulaindeksi ja tiheys sekä muovilaatu olivat tiedossa. Lisäksi muovijäte oli yleensä lajiteltu valmiiksi keräysastioihin muovilaaduittain ja muovijäte oli myös puhdasta.

Asiakastapaamisten yhteydessä huomattiin lisäksi, että muovijäte oli monessa eri muodossa. Suurin osa jätteestä oli huonon laadun takia hylätyt tuotteet sekä linjojen ylös- ja alasajojen aikana syntyvät valukakut. Muovituotteita valmistavilla yrityksillä oli tietoa ja tuntemusta raaka-aineiden lisäksi niiden hinnoista, joten neuvotteluissa käytiin paljon keskustelua muovijätteen hankintaan liittyvistä kustannuksista.

Monet kartoitetut asiakkaat kierrättivät oman muovijätteensä itse ja näin ollen heidän muovijätettä ei saatu hankittua. Lisäksi joidenkin muovituotteita valmistavien yritysten muovijäte oli sellaisessa muodossa, mitä ei olisi voinut hyödyntää

käytettävissä olevalla rouhimella, vaikka se olisi teoriassa soveltunut kierrätysraaka-aineeksi. Tällaista muovijätettä olivat sahausjätteet sekä muovikalvot. Muovituotteita valmistavien yritysten muovijättemäärät vaihtelivat paljon yrityksen kokuksen mukaan.

## 9.2 Muut asiakkaat

Kartoitettujen asiakkaiden joukossa oli paljon yrityksiä, jotka eivät itse valmista muovituotteita, mutta heidän toiminnan seurauksena syntyy paljon muovijätettä. Monet tämänkaltaisista asiakkaista olivat kiinnostuneita antamaan tai myymään muovijätteensä uusiokäyttöön. Ongelmalliseksi tilanteen teki monesti se, että muovijäte oli liikaista ja kaikki muovilaadut olivat sekaisin samassa keräysastias-  
sa, minkä seurauksena sen hankinta ei olisi ollut kannattavaa.

Mukana oli myös sellaisia yrityksiä, jotka olivat lajitelleet muovijätteensä, jonka lisäksi muovijäte oli puhdasta. Muovituotteita valmistaviin yrityksiin verrattuna näillä asiakkailla ei ollut yleensä tietoa muovien raaka-ainehinnoista tai muovijätteen hyödyntämisprosessista, joten monet olivat kiinnostuneita pääsemään eroon muovijätteestään ilmaiseksi, koska tähän mennessä he olivat joutuneet maksamaan niiden toimittamisesta kaatopaikalle tai polttolaitokselle.

## 10 KIERRÄTYSRAAKA-AINEEN VALMISTUS

Muovijätteen uusiokäytön reitti muovijätteestä uusiomuovituotteeksi on pitkä prosessi, joka sisältää monia eri vaiheita. Kestomuovien uudelleen hyödyntämisen rajoittavia tekijöitä ovat muovijätteen epäpuhtaudet, lujitetut muovit, huono lajittelu sekä vaikea tunnistettavuus. Muovinkierrätyksen kierto Pipelife Hafab Ab:n tuotantolaitoksella:

- keräys syntypaikalta
- kuljetus
- vastaanottotarkastus ja kuorman purku
- esikäsittely (peseminen/sahaus)
- syöttö linjastolle
- murskaus
- rouhinta
- pelleointi
- säkitys / Puhaltaminen silloon
- tuotteen valmistus / koestus.

### 10.1 Keräily ja esikäsittely

Muovijäte kerätään ja lajitellaan kontteihin asiakkaan tuotantolaitoksella sitä mukaan, kun muovijätettä syntyy. Kontin täytyttyä asiakas ilmoittaa vastaanottajalle ja vastaanottaja järjestää kuljetuksen kontin noutoa varten.

Vastaanottotarkastuksen tarkoituksena on varmistaa, että kerätty muovijäte on lajiteltu sopimuksen mukaan muovilaaduittain, jos asiakkaan muovijäte sisältää useita eri raaka-aineita. Lisäksi tarkastetaan muovijätteen puhtaus, koska epäpuhtauksia kuten hiekkaa ja öljypohjaisia tuotteita sisältävä muovijäte voi pilata koko erän. Epäpuhtaudet kuluttavat murskaimien terät ja tukkivat pelleointilinjan sihtipakat sekä hidastavat kierrätysraaka-aineen valmistusprosessia.



## 10.2 Murskaus ja rouhinta

Murskaimella voidaan murskata muoviputkien lisäksi myös muovituotteita, jotka ovat niin sanottua kovaa muovia. Pienet ja ohuet muovikappaleet saattavat mennä murskaimesta läpi, mutta viimeistään rouhin hienontaa ne. Muovikalvoja ja kelmuja murskain ei murskaa, koska ne ovat rakenteeltaan niin ohuita. Erilaisella terällä myös muovinkalvon hyödyntäminen voisi olla mahdollista.

Muoviromun syöttäminen tapahtuu murskaimen etupuolella olevaan syöttölävaan, jota voidaan ohjata sähköisesti. Murskettava muovijäte heitetään lavalle, jonka jälkeen lavaa nostetaan korkeammalle ja lavalla oleva romu kipataan murskaimen aukkoon. Aukossa pyörivä terä murskaa sinne syötetyn muoviromun pieniksi palasiksi, minkä jälkeen murskatut palat putoavat kuljettimelle. Kuljetin siirtää murskatun muovijätteen murskaimen vieressä sijaitsevalle rouhimelle.

Rouhin on niin sanottu hienorouhin, joka rouhii syötettävät muovinpalaset hienoksi muruksi. Rouhimen syöttö tapahtuu suoraan murskaimen kuljettimelta ja rouhittu muovi puolestaan puhalletaan putkia pitkin pelletointilinjan ekstruuderin syöttösuppiloon.

## 10.3 Pelletointi, pakkaus ja siiloon puhaltaminen

Murskatun ja rouhitun muovijätteen tuotantoprosessissa muovirouhe syötetään ekstruuderin suppiloon, joka on varustettu täristimellä, jonka avulla muovirouheen syöttö ekstruuderin ruuville helpottuu. Pelletointilinjan ekstruuderin on yksiruuviekstruuderin ja prosessin aikana syötetty muovirouhe plastisoidaan homogeeniseksi massaksi paineen, lämmön ja kitkan avulla.

Homogeeniseksi plastisoitu muovimassa puristetaan tämän jälkeen ruuvin avulla sihtipakan eli tiheän metalliverkon lävitse, missä on magneettierotin epäpuhtauksia varten. Lopuksi muovimassa puristuu pyöreän työkalun lävitse, missä on toistakymmentä reikää. Tämän jälkeen nauhamainen muovimassa leikataan pelleteik-

si pyörivän leikkurin avulla. Leikkurin jälkeen pelletit jäähdytetään vedellä, jonka jälkeen valmiit pelletit puhalletaan vedenerottimen jälkeen keräysastioihin tai suoraan haluttuun siiloon.

Linjaston päässä olevista keräysastioista pelletit voidaan puhaltaa joko paineilmalta putkia pitkin suoraan siiloihin tai pakata suursäkkeihin. Säkitetyt pelletit vietään putkilinjalle, mistä ne syötetään linjaston syöttösuppilon imurilla avulla.

## 11 YHTEENVETO

### 11.1 Kartoitus

Muovijätteen kartoitus oman tuotannon käyttöön oli luultavasti ensimmäinen laatuaan Pohjois-Suomen ja Pohjois-Ruotsin alueella. Projekti onnistui hyvin Suomen puolella, mistä kertoo kartoitettujen asiakkaiden halukkuus lähteä tekemään yhteistyötä muovijätteen vähentämiseksi. Ruotsin puolella halukkuutta yhteistyöhön ei löytynyt, ja siihen varmasti vaikuttavat erilaiset syyt kuten kehittyneempi muovienkeräysjärjestelmä.

### 11.2 Pelletointi ja koeajot

Muovijätteen pelletointi ja tuotteiden koeajot onnistuivat ja niiden aikana ei ollut normaalista poikkeavia häiriöitä tai ongelmia. Kaikkien valmistettujen tuotteiden testaustuloksistakin voidaan nähdä, että tuotteiden koeajot olivat onnistuneet.

### 11.3 Jatkotutkimushaasteet

Asiakkaiden kanssa tehdyt yhteistyösopimukset mahdollistavat projektin kehittämistä ja sen jatkuvuutta, koska kierrätysraaka-aineeksi soveltuvaa muovijätettä on saatavilla runsaasti pelkästään kesällä tehtyjen yhteistyösopimusten perusteella. Yksi suurimmista haasteista on kehittää kierrätysjärjestelmää monipuolisemmaksi. Yksi mielenkiintoinen haaste olisi laajentaa kartoitus koko Suomen kattavaksi, koska pelkästään Pohjois-Suomesta saadut kokemukset olivat positiivisia yllätyksiä.

#### 11.3.1 Projektin hyödyllisyys ympäristönäkökulmasta

Useimpien muoviputkien suuri lämpöenergiämäärä on mahdollista hyödyntää polttamalla. PE- ja PP-putkilla on periaatteessa yhtä korkea energia-arvo/kg kuin öljyllä. PCV-putkien energiasisältö/kg on vajaa puolet öljyn energiavasta, ja niiden energian hyötykäytöllä on teknisiä rajoituksia. Taulukossa 5 esitetään PVC:n, PP:n ja PE-putkien energiankulutus MJ/kg.

TAULUKKO 5. PVC:n, PE:n ja PP:n energiankulutus raaka-aineen valmistuksessa, ekstruusiassa ja polttamisessa (Kainulainen & Masahr 2003, 29.)

Putkityyppi	valmistus	putken valmistus	polttoarvo
PVC	65	1,5-2	18
PE	81	2-3	43
PP	80	2,2–3,5	44

Taulukon 5 arvojen perusteella huomataan, että muoviputket kannattaa kierrättää, jos se on mahdollista, koska neitseellisen raaka-aineen valmistukseen menee paljon enemmän energiaa kuin muoviputken uudelleen kierrättämiseen. Tämän lisäksi polttamisesta syntyy hiilidioksidia, joka lisää kasvihuonekaasuja ilmakehässä. Taulukossa 6 esitetään erilaisten muoviputkien suhteellinen energiankulutus ja polttoarvo.

TAULUKKO 6. PVC:sta, PP:sta ja PE:stä valmistettujen erilaisten putkityyppien suhteellinen energiankulutus ja polttoarvo (Kainulainen & Masahr 2003, 29.)

Putkityyppi	Energiankulutus	Polttoarvo
Massiivinen PVC putki	1,0	0,3
Kevennetty PVC putki	0,6	0,2
Kevennetty PE putki	0,7	0,4
Massiivinen PE, PP putki	1,6	0,8

Taulukon 6 arvojen perusteella PVC-putkien polttoarvo on noin kolmannes siihen kulutettavasta energiasta. PE- ja PP-putkilla polttoarvo on noin puolet siihen kulutettavasta energiasta. Myös muun muovijätteen kuin muoviputkien kierrättäminen

on kannattavaa ja suotavaa, koska mitä vähemmän muovia pääsee luontoon tai mitä vähemmän sitä poltetaan polttolaitoksilla sitä enemmän se säästää luontoa.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Porvoo: WS Bookwell Oy

Kainulainen, J. & Masahr, I. 2003. Muoviputkijärjestelmät. Helsinki: Chemas Oy

Seppälä J. 2008. Polymeeritekniikan perusteet 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy

### Sähköiset lähteet

Eerola, S. 2006. Muovipoli, RePlast FinEst -seminaari [viitattu 2.2.2011]. Saatavissa: [http://www.palmenia.helsinki.fi/replastfinest/ws1/Sauli\\_Eerola.pdf](http://www.palmenia.helsinki.fi/replastfinest/ws1/Sauli_Eerola.pdf)

Hyttinen, E. 2010. Pakkauksiin ja pakkausjätteisiin liittyvän lainsäädännön kehittyminen EU:ssa ja Suomessa 2000-luvulla –ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari. Lappeenrannan teknillinen yliopisto [viitattu 2.2.2011] Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/59284/nbnfi-fe201002231405.pdf?sequence=3>

Muovikassikiertoon, 2010. Yhteistyökumppanit [viitattu 2.2.2011]. Saatavissa: <http://www.muovikassikiertoon.fi/yhteistyossa>

Nieminen, I.-S. & Nurmio, K. 2011. Opetuspaketti [viitattu 2.2.2011]. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/muovit2/kierratys/index.htm>

Perkiö, K. 2007. Muoviteollisuuden koneet. Kurssimateriaali Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala.

Pipelife Finland Oy. 2011a. Yritysesittely. [2.2.2011] Powerpoint-tiedosto.

Pipelife Finland Oy. 2011b. Polyeteeni [2.2.2011]. Saatavissa: <http://www.pipelife.fi/fi/Laatu/polyeteeni.php>

Pipelife Finland Oy. 2011c. Polypropeeni [2.2.2011]. Saatavissa:  
<http://www.pipelife.fi/fi/Laatu/polypropeeni.php>

Pipelife Finland Oy. 2011d. Polyvinyylidikloridi [2.2.2011]. Saatavissa:  
<http://www.pipelife.fi/fi/Laatu/polyvinyylidikloridi.php>

Suomen Palautuspakkaus Oy, PALPA. 2010. [viitattu 2.2.2011]. Saatavissa:  
<http://www.palpa.fi/yritys>

SFS EN 13476-1. 2007. Muoviputkijärjestelmät maanalaiseen paineettomaan viemärointiin. Pehmittämättömästä polyvinyylidikloridista (PVC-U), Polypropeenista (PP) ja polyeteenistä (PE) valmistetut rakenneseinämäiset putkijärjestelmät. Osa 1: Yleiset vaatimukset ja toiminnalliset ominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS EN 13476-2. 2007. Muoviputkijärjestelmät maanalaiseen paineettomaan viemärointiin. Pehmittämättömästä polyvinyylidikloridista (PVC-U), Polypropeenista (PP) ja polyeteenistä (PE) valmistetut rakenneseinämäiset putkijärjestelmät. Osa 2: Vaatimukset putkille ja putkiyhteille sileällä sisä- ja ulkopinnalla sekä järjestelmälle, tyyppi A. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS EN 1411. 1996. Muoviputket- ja putkistojärjestelmät. Kestomuoviputket. Iskunkestävyyden määrittäminen porrasmenetelmällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 3150. 1982. Muoviputket. Kestomuovien sulaindeksin määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 3453. 1990. Muoviputket. Paineettomat kevennetyt maahan asennettavat PE- ja PP- viemäriputket ja –putkiyhteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 5103. 1985. Muoviputket. Hapetuskestävyyden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 5675. 1991. Muoviputket. Kaksiseinämäiset salaojaputket ja putkenosat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 743. 1995. Muoviputkistojärjestelmät. Kestomuoviputket. Pituussuuntainen muodonpysyvyyden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 9699. 1995. Kestomuoviputket. Rengasjäykkyyden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Tilastokeskus. 2011. Jätetilasto 2008 [viitattu 2.2.2011]. Saatavissa:  
[http://www.stat.fi/til/jate/2008/jate\\_2008\\_2010-05-26\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/jate/2008/jate_2008_2010-05-26_fi.pdf)

Suulliset lähteet

Heinänen, K. 2010. Laatupäällikkö Pipelife Hafab Ab. Haastattelu 30.8.2010

## LIITTEET

LIITE 1 Esimerkki Pipelife Hafab Ab:n tehdasstandardista.





Pipelife Finland Oy  
Tutkijantie 4B

STATEMENT

90570 OULU

12.10.2005

#### PRODUCTION OF DRAINAGE PIPES

The corrugated and perforated drainage pipes are produced of PE-HD (high density polyethylene) in Pipelife Hafab Ab, Haaparanta factory. Our pipes are classified as SN8.

Our Haaparanta factory is ISO 9001 certified, thus also our SN 110mm and 160mm drainage pipes are produced under ISO 9001 quality system.

Oulu 12.10.2005

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ari Pokka".

Ari Pokka  
Quality manager  
Pipelife Hafab AB

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Erkki Heilala".

Erkki Heilala  
Sales director  
Pipelife Finland Oy