



ISTUTUSRUUKUN BIOHAJOAVUUDEN TUTKIMINEN

Santtu Heinonen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2015
Paperi-, tekstiili- ja kemian-
tekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi,- tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

HEINONEN SANTTU:

Istutusruukun biohajoavuuden tutkiminen

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Marraskuu 2015

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia uudenlaisen biohajoavan istutusruukun biohajoamista. Idea tuotteelle syntyi vuonna 2016 voimaan astuvasta orgaanisen jätteen kaatopaikkarajoituksesta. Rajoituksen tavoitteena on vähentää kaatopaikoille joutuvan orgaanisen jätteen ja niistä syntyvien päästöjen määrää. Biohajoavan ruukun avulla säästettäisiin työtunneissa, joita kuluisi biohajoamattomien istutusruukkujen erotteluun orgaanisesta jätteestä.

Opinnäytetyön aiheen antoi Akaassa muovituotteita valmistava Leomuovi Oy. Testattavat tuotteet valmistettiin ruiskuvalamalla Leomuovin tiloissa ja testit suoritettiin ensin Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa ja sitten yksityisissä tiloissa puutarhakompostorissa. Yksi työn tärkeimmistä tavoitteista oli selvittää tuotteen hajoamiseen kuluva aika kompostoimalla. Multaan haudattuna ruukun kuitenkin tulisi kestää käyttökuntoisena noin 60 päivää. Testeihin sisältyi ruukkujen kompostoimista ja punnitsemista.

Työn teoriaosassa käydään läpi valtamuovien ja teknisiin muoveihin kuuluvien biohajoavien muovien ominaisuuksia ja kerrotaan lyhyesti muoveissa käytetyistä lisäaineista. Tämän jälkeen esitellään muovien yleisimpiä työstömenetelmiä, jotka ovat myös tärkeimpiä työstäessä biohajoavia muoveja.

Lopputulokset eivät täysin odotusten mukaiset. Täydellistä hajoamista ei tapahtunut, mutta tuote haurastui huomattavasti. Tuloksien luotettavuutta olisi voinut kasvattaa lisäämällä testijaksoja ja rinnakkaisten näytekappaleiden määrää. Testien eteneminen, tulokset ja päätelmät löytyvät kokonaisuudessaan vain toimeksiantajan versiosta.

Asiasanat: biohajoava muovi, biohajoavuus, komposti

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

HEINONEN SANTTU:
Testing Biodegradability of a Planting Pot

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 1 page
November 2015

The purpose of this thesis was to investigate biodegradability of a biodegradable planting pot. The idea for the product came up from an incoming disposal restriction for organic waste in 2016. The objective of the restriction is to reduce organic waste and emissions in landfills. Biodegradable planting pots would save work hours when separation of non biodegradable pots need not be done.

The subject for this thesis was given by plastic company Leomuovi Ltd. Test products were made in Leomuovi factory with an injection molding machine. Experiments took place in laboratory of Tampere University of Applied Sciences and after that in private composter. The main goal was to investigate composting time of the pots. However, they should remain functional after being buried for about 60 days in garden soil. Experiments included composting and weighing of the pots.

Firstly this thesis covers theory of common plastics and biodegradable plastics that belong to special purpose plastics. This is followed by a section about additives and lastly some information about common processing methods.

Total decomposition did not happen, but the samples got remarkably brittle. The final results would be much more reliable with more testing and higher number of samples. The tests, results and conclusions are only in the client's version.

Key words: biodegradable plastic, biodegradability, compost

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MUOVEJA JA NIIDEN OMINAISUUKSIA	7
2.1	Valtamuovit	7
2.1.1	Polyeteeni PE	8
2.1.2	Polypropeeni PP	8
2.1.3	Polyvinyylidikloridi PVC.....	9
2.1.4	Polystyreeni PS, SB ja EPS.....	9
2.1.5	Polyteenitereftalaatti PET.....	10
2.2	Biohajoavat muovit.....	10
2.2.1	Polylaktidi PLA.....	11
2.2.2	Polykaprolaktoni PCL.....	12
2.2.3	Polyhydroksialkanoaatit PHA	12
2.2.4	Muita biopolymeerejä	13
3	LISÄAINEET.....	14
3.1	Täyteaineet.....	14
3.2	Apuaineet	15
3.3	Kuitulujitteet	15
4	MUOVIEN TYÖSTÖ	16
4.1	Ruiskuvalu	16
4.1.1	Ruiskuvalukone.....	16
4.1.2	Ruiskuvaluprosessin eteneminen	18
4.1.3	Ruiskuvalun erikoistekniikat.....	20
4.2	Ekstruusio eli suulakepuristus	21
4.2.1	Ekstruuderi	21
4.2.2	Ekstruusiosprosessin eteneminen	22
4.2.3	Ekstruusiomenetelmät.....	23
5	LEOMUOVI OY	25
	LÄHTEET.....	26
	LIITTEET	27
	Liite 1. Raaka-aineen tietolomake.....	27

LYHENTEET JA TERMIT

EPS	solupolystyreeni
PBAT	polybutyraattiadipaattitereftalaatti
PCL	polykaprolaktoni
PE	polyeteeni
PET	polyeteenitereftalaatti
PHA	polyhydroksialkanaoatti
PHBV	polyhydroksibutyraattivaleraatti
PLA	polylaktidi
PP	polypropeeni
PS	polystyreeni
PVC	polyvinyylikloridi
SB	styreenibutadieeni (iskuluja polystyreeni)
Granulaatti	muovirae, joka on yleisin muoviraaka-aineen toimitusmuoto
Kopolymeeri	sisältää vähintään kaksi eri monomeeriä, jotka ovat polyme- roituneet yhteen polymeeriksi
Masterbatch	tiiviste, joka sisältää väriainetta ja/tai muita apuaineita
Monomeeri	pystyy muodostamaan reagoimalla toisten molekyylien kanssa molekyyliketjun tai polymeerin

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan biohajoavasta muovista valmistetun istutusruukun hajoamista. Testit suoritettiin ensin laboratoriossa pienessä mittakaavassa ja sen jälkeen suuremmassa mittakaavassa puutarhassa. Testattavat tuotteet valmistettiin Leomuovilla koeajojen yhteydessä ruiskuvalamalla.

Opinnäytetyön aiheen antoi Akaan Viialassa sijaitseva muoviyritys Leomuovi Oy. Tarkoituksena oli aloittaa biohajoavien istutusruukkujen valmistus ja saada ne markkinoille vuonna 2016 tapahtuvan jätehuoltolain uudistuksen aikaan. Ennen uuden tuotteen saatamista markkinoille, piti tutkia uudesta raaka-aineesta valmistettujen ruukkujen biohajoavuuteen liittyviä ominaisuuksia, kuten hajoamisnopeutta ja -tapaa.

Opinnäytetyön kirjallisuusosassa käydään läpi teoriaa, joka sisältää tietoa valtamuoveista ja biohajoavista muoveista, niiden työstömenetelmistä ja lisäaineista. Kirjallisuusosan jälkeen on tutkimusosa, jossa kerrotaan tarkemmin tutkittavasta tuotteesta ja sen valmistuksesta, testeistä laboratoriossa ja puutarhassa sekä lopuksi käydään läpi tulokset ja niiden perusteella tehdyt pohdinnat.

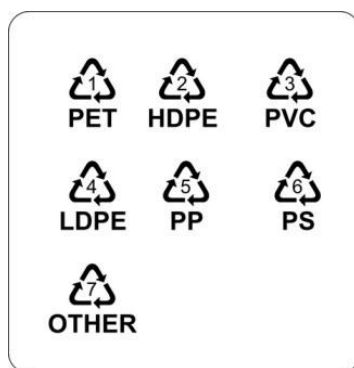
2 MUOVEJA JA NIIDEN OMINAISUUKSIA

Muoveja on monenlaisia ja ne voidaan jaotella monella eri tapaa. Yleensä muovit jaotellaan kolmeen osaan: valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin. Toinen yleinen tapa on jaottelu kesto- ja kertamuoveihin. Seuraavissa kohdissa käydään läpi valtamuovit ja teknisiin muoveihin sisältyvät biohajoavat muovit, koska nämä muovityypit ovat tärkeimpiä opinnäytetyön kannalta. Hyvin tunnetut valtamuovit ovat hyvä vertailukohde vähemmän tunnetuille biohajoaville muoveille.

2.1 Valtamuovit

Valtamuoveihin kuuluvat ne muovit, joita maailmalla käytetään eniten muovituotteiden valmistuksessa. Hinnaltaan valtamuovit ovat muita laatuja halvempia. Yleisimpiä käyttökohteita ovat esimerkiksi pakkaukset, kalvot ja päällysteet. Suomen muovimarkkinoilla käytetyistä muoveista valtamuovien osuus on 80 %. (Järvinen 2008, 26–27)

Kuvassa 1 on esitettyinä valtamuoveille annetut numeroidut kierrätysmerkit, joita voi löytää muovisista pakkauksista ja esineistä. Numerolla 7 merkityt ovat muita muoveja tai muovisekoituksia, esimerkiksi biohajoavat muovit kuuluvat tähän kategoriaan.



KUVA 1. Muovien kierrätysmerkit (Heritage Pioneer Corporate Group)

2.1.1 Polyeteeni PE

Polyeteenin (PE) kulutus maailmalla on kaikkein suurin verrattuna muihin muoveihin. PE jaetaan yleensä kahteen tyyppiin: pientiheuspolyeteeni PE-LD ja suurtiheuspolyeteeni PE-HD. Erona näillä on tiheys, joka PE-LD:llä on $0,91\text{--}0,93\text{ g/cm}^3$ ja PE-HD:llä hieman korkeampi. Muita harvinaisempiakin polyeteenityyppejä on, kuten lineaarinen pientiheuspolyeteeni LLDPE ja silloittuva polyeteeni PEX. PE:n perusominaisuuksiin kuuluvat kemikaalinkestävyys, sähköneristävyys, sitkeys, liukas pinta, alhainen lämmönkestävyys, soveltuvuus elintarvikepakkauksiin ja keveys. (Järvinen 2008, 28–29)

PE-LD:lle ja PE-HD:lle löytyy hieman erilaisia käyttökohteita, mutta enimmäkseen ne ovat samoja. Yleisimmät kohteet ovat lelut, kalvot, pinnoitukset, putket, pakkaukset ja taloustarvikkeet. (Järvinen 2008, 31)

2.1.2 Polypropeeni PP

Maailman toiseksi käytetyin muovi on polypropeeni (PP). Se on PE:tä uudempi keksintö ja se onkin syrjäyttänyt PE-HD:n monissa eri käyttökohteissa. PP:llä on PE:tä parempi lämmönkesto, parempi mittatarkkuus ja helpompi prosessoitavuus. Kuitumuovina polyeteeni on merkittävä. (Järvinen 2008, 40)

PP jaetaan kolmeen eri päätyyppiin, jotka ovat homopolymeeri, blokkipolymeeri ja satunnais- tai randomkopolymeeri. Homopolymeeri on PP:n perinteinen muoto. Blokkipolymeerissä on propeenin kanssa kopolymeroituna eteeniä, joka esiintyy polymeerissä selkeinä jaksoina. Satunnais- eli randomkopolymeerissä eteeni sijaitsee satunnaisesti. (Järvinen 2008, 41)

Käyttökohteiltaan PP on kaikista monipuolisin. Siitä voidaan valmistaa kuituja, kalvoja, pakkauksia, levyjä, putkia ja auton osia. Polypropeenikuidusta voidaan esimerkiksi valmistaa mattoja ja köysiä. (Järvinen 2008, 41)

2.1.3 Polyvinyylidikloridi PVC

Polyvinyylidikloridi (PVC) on kestopuoveista vanhin. Se keksittiin 1900-luvun alussa, mutta käyttömäärä kasvoi voimakkaasti vasta 1930-luvulla. PVC:n hyviin ominaisuuksiin kuuluvat hyvä happojen kesto ja palamattomuus. Huonoja puolia ovat prosessoinnin helpottamiseksi käytettävät kemialliset stabilisaattorit, lisäaineiden haitallisuus ja palamisessa syntyvä suolahappo. PVC:n käyttöä on pyritty vähentämään, varsinkin elintarvikepakkausissa. (Järvinen 2008, 48-49)

PVC on amorfinen muovi eli sillä ei ole tarkkaa sulamispistettä. PVC:n peruspolymeerit jaetaan kolmeen eri tyyppiin valmistusmenetelmän mukaan: suspensiopolymeeri PVC-S, emulsiopolymeeri PVC-E ja massapolymeeri PVC-M. Näistä käytetyin tyyppi on PVC-S, joka soveltuu kaapelin- ja putkenvalmistukseen. (Järvinen 2008, 49)

PVC:tä käytetään runsaasti rakennusteollisuudessa. Erilaiset putket ja pehmeät letkut ovat Suomessa suurin käyttökohde. Sähköjohdoissa ja kaapeleissa PVC:tä käytetään pinnoitteena. Tapeteissa ja lattiamatoissa PVC-kerros toimii kosteussuojana. Rakennusteollisuuden lisäksi PVC:tä käytetään paljon erilaisissa vapaa-ajan tarvikkeissa, laukuissa, sadetakeissa ja läpinäkyvissä pakkauksissa. Tuttuja kohteita ovat myös keinoahat ja pankkikortit. (Järvinen 2008, 51)

2.1.4 Polystyreeni PS, SB ja EPS

Polystyreeni (PS) on monelle tuttu lasinkirkas muovi, jota löytyy esimerkiksi koriste-esineistä ja kertakäyttöastioista. Ominaisuuksiltaan PS on kuitenkin heikko verrattuna muihin muoveihin. Se on haurasta ja herkkää kemikaaleille sekä UV-säteilylle. PS:tä on kuitenkin kehitetty iskuluja styreenibutadieeni (SB). Se ei ole PS:n tapaan läpinäkyvää ja visuaalinen laatu on muutenkin huonompi. (Järvinen 2008, 57)

PS:n ja SB:n lisäksi valmistetaan solupolystyreeniä (EPS). Sitä myydään polystyreenihelmenä, johon on imeytettynä ponnekaasuksi pentaania. Vesihöyryn avulla helmet reagoivat pentaanin avulla paisuen, täyttyen ilmalla ja liimautuen yhteen. Valmiissa tuotteessa on tilavuudeltaan vain vähän PS:ää ja 97-98 % on ilmaa. EPS:n pääkäyttö-

kohde on eristys. Eristelevyjen nimenä käytetään yleensä sen ensimmäiseen kauppanimeen perustuvaa nimitystä Styrox eli suomalaisittain styroksi.

(Järvinen 2008, 61–62)

PS:n käyttökohteita ovat esimerkiksi pakkaustuotteet, kuten jogurttipurkit ja muut maitotuotteissa käytetyt purkit, kertakäyttöastiat, heijastimet, CD-levyjen kotelot ja jääkaappien seinät (Järvinen 2008, 59). EPS yleensä soveltuu rakenteiden eristämiseen ja herkkien laitteiden, kuten kodinkoneiden, pakkaussuojiiin (Järvinen 2008, 62–63).

2.1.5 Polyeteenitereftalaatti PET

Polyeteenitereftalaatti (PET) on kasvaneen kulutuksen myötä noussut valtamuovien asemaan. Syynä tähän on amorfisen PET:n lisääntynyt käyttö juomapullojen ja ruokapakkausrasioiden valmistuksessa. Ominaisuuksiltaan PET on sitkeää ja kirkasta. Yleisimpiä käyttökohteita ovat juomapullot, elintarvikepakkaukset ja kuitumateriaalina köyissä, viiroissa ja liinoissa. (Järvinen 2008, 74–75)

2.2 Biohajoavat muovit

Biohajoavat muovit hajoavat suotuisessa biologisessa ympäristössä, kuten maassa, vedessä tai ihmiskehossa, täysin hiilidioksidiksi, vedeksi ja biomassaksi. Anaerobisissa olosuhteissa lisäksi syntyy myös metaania. Biohajoavat muovit voivat olla joko synteettisiä tai luonnonpolymeerejä. (Järvinen 2008, 110)

Biomuoveja tuotetaan koko muovialalla noin 0,4 % eli vuosittain 1,1 miljoonaa tonnia. Tästä määrästä biohajoavia muoveja on 42 % ja biopohjaisia 58 %. Biopohjaiset muovit ovat osittain tai kokonaan valmistettu uusiutuvista raaka-aineista, mutta ne eivät hajoa biohajoavien muovien tapaan, vaan ne voivat olla hyvinkin kestäviä. (Muoviteollisuus)

Pakkaus voidaan luokitella biohajoavaksi, kun se täyttää standardin mukaiset määritelmät. Eurooppalainen standardi pakkauksen kompostoituvuudelle on EN 13432 ja amerikkalainen, vähemmän vaativampi standardi, on ASTM D 6400. (Järvinen 2008, 110)

Biohajoavien muovien standardeja laatiessa, hajoamiselle tarvitaan eritasoisia määritelmiä, joita ovat seuraavat:

- Hajoaminen on haitallista muutosta kemiallisessa rakenteessa, fyysisissä ominaisuuksissa tai muovin ulkomuodossa.
- Hajoava muovi on suunniteltu niin, että tietyissä olosuhteissa sen kemiallisessa rakenteessa tapahtuu muutoksia, menettäen joitakin ominaisuuksia.
- Hydrolyyttisesti hajoava muovi hajoaa veden vaikutuksesta.
- Hapettumisella hajoava muovi hajoaa hapen vaikutuksesta.
- Fotohajoava muovi hajoaa luonnonvalon vaikutuksesta.
- Biohajoava muovi hajoaa luonnollisten mikro-organismien, kuten bakteerien, sienien ja levien toimesta.
- Kompostoituva muovi hajoaa kompostoitua hiilidioksidiksi, vedeksi, epäorgaanisiksi yhdisteiksi ja biomassaksi eikä jätä jälkeensä haitallisia jäämiä. (Stevens 2002, 74)

Määritelmät ovat hyödyllisiä muovien ominaisuuksia kuvailtaessa ja arvioidessa. Joihinkin määritelmiin sisältyy toisia määritelmiä, kuten kompostoituva muovi on myös biohajoava, mutta biohajoava muovi ei välttämättä ole kompostoituva. Jos muovin jäännökset eivät ole haitallisia ympäristölle, niin muovi on kompostoituva.

(Stevens 2002, 74)

2.2.1 Polylaktidi PLA

Biohajoavista muoveista suosituin ja laajimmin käytetty on polylaktidi (PLA). Lääketieteellisissä käyttötarkoituksissa PLA on erittäin hyödyllinen, koska se hajoaa ihmiskehoon. PLA:n käyttö on laajentunut valtavasti ja nykyään se kilpailee PET:n kanssa pakkaussovelluksissa. (Tolinski 2012, 106)

PLA:ta valmistetaan polymeroimalla laktidia, jota saadaan yhdistämällä kaksi maitohappomolekyyliä. Maitohappoa voidaan valmistaa synteettisesti tai fermentoimalla esimerkiksi sokeria tai tärkkelystä. PLA:n valmistus vaatii paljon energiaa, jota kuluu raaka-aineiden kasvattamiseen, korjuuseen, kuljettamiseen ja prosessointiin.

(Tolinski 2012, 106)

PLA:n ongelmana on hajoamiseen tarvittavat olosuhteet. Hajoaminen tapahtuu ainoastaan kontrolloiduissa kompostointiolosuhteissa ja lämpötilan tulee olla yli 60 °C. PLA ei siis hajoa luonnon olosuhteissa ja on muiden muovien tapaan luontoa roskaavaa. (Tolinski 2012, 109)

2.2.2 Polykaprolaktoni PCL

Polykaprolaktoni (PCL) on synteettinen biohajoava polymeeri ja sitä on valmistettu ensimmäisen kerran jo 1930-luvulla, mutta sen biohajoavuus huomattiin vasta vuonna 1973. PCL hajoo muita biohajoavia muoveja hitaammin ja siitä on valmistettu lääkettä luovuttavia implantteja, jotka voivat toimia yli vuoden ajan. Suuren molekyylipainon PCL:n täydelliseen hajoamiseen voi kulua neljäkin vuotta. (Aromaa 2010, 3,8)

PCL:n sulamislämpötila on melko alhainen, noin 60 °C. Ominaisuuksiltaan PCL on erittäin elastista ja liuottimien kesto on kohtalaista. Useimmat alkoholit eivät liuota PCL:ää. (Aromaa 2010, 21–22)

2.2.3 Polyhydroksialkanoaatit PHA

Polyhydroksialkanoaatteja (PHA) syntyy luonnostaan joidenkin bakteerien sisällä fermentoitumisprosessin avulla. PHA:n valmistus ei siis vaadi kemiallista synteesiä, vaan sitä saadaan eroteltua suoraan bakteereista erilaisten menetelmien avulla. Erityisesti kiinnostusta on herättänyt polyhydroksialkanoaatteihin kuuluva polyhydroksibutyraatti (PHB), joka on melko haurasta ainetta. (Tolinski 2012, 110–111)

PHB:n ominaisuuksia on saatu parannettua huomattavasti erilaisten kopolymeerien avulla ja sen käyttö on laajentunut pakkausmateriaaleista muihinkin tuotteisiin. Toinen PHB:n kopolymeereistä on polyhydroksibutyraattivaleraatti (PHBV), jolla on polypropeenin kaltaisia ominaisuuksia. Toinen kopolymeereistä on polybutyraattidipaattitereftalaatti (PBAT), joka on PHB:n ominaisuuksin verraten vahvempaa. (Tolinski 2012, 111)

PHA ei tarvitse kompostointia hajotakseen. Se on täysin maaperässä ja vesistöissä biohajoavaa ainetta. PHA liukenee myös elimistössä, joten se ei ole kovin vaarallista eläimille. (Tolinski 2012, 113)

2.2.4 Muita biopolymeerejä

Biohajoavia muoveja kehitetään jatkuvasti ja markkinoille tulee koko ajan uusia polymeerejä. On myös olemassa luonnonpolymeerejä, joita on aina löytynyt luonnosta ihan sellaisenaan. Luonnonpolymeerien pääryhmät ovat proteiinit, polysakkaridit ja polyhydroksialkanoaatit, jotka käytiin läpi jo edellisessä kohdassa. Tärkeitä proteiineja ovat silkki ja kollageeni, jota löytyy esimerkiksi luusta, jänteistä ja ihosta. Polysakkarideja ovat esimerkiksi tärkkelys, selluloosa, kitiini ja ligniini. (Järvinen 2008, 111)

3 LISÄAINEET

Teollisuudessa käytettävät muovit sisältävät lähes aina täyte-, lujite- ja apuaineita. Ne voidaan erikseen sekoittaa granulaatin sekaan tai valmistajalta voidaan tilata raaka-aine, johon on valmiiksi lisäaineet sekoitettuna. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 27)

Kiinteiden tai nestemäisten lisäainetiivisteiden eli masterbatchien avulla muovia voidaan värjätä tai lisätä siihen apuaineita, kuten UV-suojaa. Masterbatch voidaan annostella suoraan granulaatin sekaan. Muovikoneen ruuvilla aineet sulavat ja sekoittuvat yhteen homogeeniseksi massaksi. (Järvinen 2008, 208)

Biohajoavia muovituotteita valmistaessa pitää ottaa huomioon, että käytetyt lisäaineet on valmistettu uusiutuvista ja orgaanisista raaka-aineista. Monet lisäaineet kuitenkin ovat luonnollisia aineita, joilla ei ole suurta vaikutusta ympäristöön. (Tolinski 2012, 116–117)

3.1 Täyteaineet

Täyteaineita käytetään normaalisti tilavuuden kasvattamiseen ja kustannuksien pienentämiseen. Usein myös muovin mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet paranevat. Yleisimmät ominaisuudet, joihin täyteaineilla voidaan vaikuttaa, ovat jäykkyys, paino, viskositeetti ja pinnanlaatu. Muovin tilavuudesta vähintään 10 % on normaalisti täyteaineita. (Kurri ym. 2002, 28)

Täyteaineita on satoja, mutta tärkeimpiä on vain muutama. Näitä ovat esimerkiksi puu, talkki, kaoliini eli hieno savi, puhdas kvartsi ja alumiinihydroksidi. Enimmäkseen täyteaineita käytetään kestumuoveissa, mutta kertamuoveissa vain harvoin, koska täyteaineiden mukana muoviin joutuu ilmaa. (Kurri ym. 2002, 29)

Muodoltaan partikkelit voivat olla esimerkiksi palloja, hiutaleita tai kuituja. Pallomaisien partikkelien koot voivat vaihdella täyteaineen materiaalista riippuen 1–800 µm:n välillä. (Kurri ym. 2002, 29)

3.2 Apuaineet

Lisäaineita ja apuaineita on välillä vaikea erotella. Apuaineiksi luetaan esimerkiksi pigmentit, katalysaattorit, inhibiittorit, stabilaattorit, pehmittimet, voiteluaineet, irrotusaineet, antistaatit ja palonestoaineet. Apuaineiden pitoisuudet ovat yleensä huomattavasti pienempiä kuin täyteaineilla. (Kurri ym. 2002, 27–28)

3.3 Kuitulujitteet

Lasikuitua on käytetty muovien lujittamiseen jo pitkään. Se on suhteellisen halpaa, mutta hyödyt ovat suuret. Kevyempi ja vahvempi vaihtoehto lasikuidulle on hiilikuitu, mutta se on vielä erittäin kallista normaaliin käyttöön. Hiilikuitua käytetään enimmäkseen urheiluautojen, lentokoneiden ja avaruusaluusten osissa sekä urheiluvälineissä. (Tolinski 2012, 119–120)

Luonnonkuituja on myös käytetty pitkään lujitusmateriaalina. Niiden avulla muoveista saadaan entistä ekologisempia. Käytettyjä luonnonkuituja ovat esimerkiksi hamppu, bambu, banaanipuun kuori, kookoksen kuori ja puu. (Tolinski 2012, 120–124)

4 MUOVIEN TYÖSTÖ

Tässä osiossa keskitytään opinnäytetyön kannalta tärkeimpiin ja kahteen yleisimpään muovin työstömenetelmään, jotka ovat ruiskuvalu ja ekstruusio eli suulakepuristus. Muita työstömenetelmiä ovat esimerkiksi lämpömuovaus, rotaatiovalu ja kalanterointi. Muita menetelmiä ei käydä läpi, koska ne eivät ole yleisiä työstäessä biohajoavia muoveja tai ne eivät sovellu siihen ollenkaan.

4.1 Ruiskuvalu

Ruiskuvalu on muovin sulatyöstömenetelmistä vanhin ja nykyaikana kaikista suosituin. Suomessa 1940-luvulla ensimmäisenä ruiskuvaluyrityksenä toimi Sarvis Oy, jossa valmistettiin erilaisia taloustavaroita. Ruiskuvalumenetelmällä pystytään valmistamaan suuria sarjoja hyvinkin yksityiskohtaisesti muotoiltuja kappaleita. Kappaleiden koko voi vaihdella alle gramman painoisista tuotteista kymmeniä kiloja painaviin tuotteisiin ja sarjojen koko vaihtelee yleensä vähintään tuhannesta jopa miljooniin kappaleisiin.

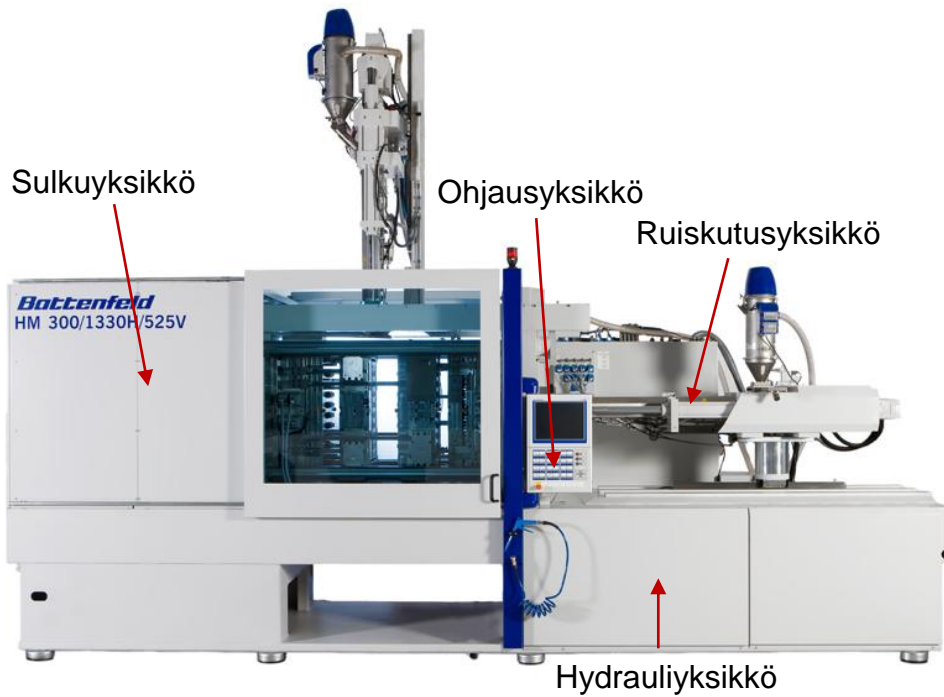
(Kurri ym. 2002, 71–72)

4.1.1 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukone jaetaan tavallisesti neljään toiminnalliseen osaan, jotka ovat sulk-, ruiskutus-, ohjaus- ja hydrauliyksikkö. Kuvaan 2 on merkitty ruiskuvalukoneessa olevat toiminnalliset osat ja niiden selitykset löytyvät kuvasta seuraavana.

(Järvinen 2000, 106–107)

Ruiskuvalukoneen oheislaitteistoon kuuluvat erilaiset raaka-aineen kuivaimet, rouhimet, granulaatin siirto-, annostelu- ja värjäysjärjestelmät sekä automaatiolaitteet, kuten robotit ja manipulaattorit. (Kurri ym. 2002, 86–92)



KUVA 2. Ruiskuvalukoneen osat havainnollistettuna Battenfeldin koneella (Wittmann Group, muokattu)

Sulkuyksikkö

Sulkuyksikkömallit jaotellaan hydrauliseen suorasulkujärjestelmään, polvinivelsulkujärjestelmään ja harvinaisempaan mekaanis-hydrauliseen järjestelmään. Sulkuyksikön tarkoituksena on muotin avaaminen, sulkeminen ja pitäminen kiinni ruiskutus- ja jälkipainevaiheessa. Ulostyöntäjät, joilla valmiit kappaleet irrotetaan muotista, sijaitsevat sulkuyksikössä. (Kurri ym. 2002, 74)

Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön tehtäviä ovat granulaatin plastisointi eli sulattaminen, sulan massan sekoittaminen homogeeniseksi ja massan ruiskuttaminen muottipesään. Granulaatti siirretään ruiskutusyksikköön yleensä automaattisten imurien avulla tai käsin kaatamalla suppiloon. (Kurri ym. 2002, 74)

Ohjausyksikkö

Ohjausyksiköllä säädetään ja valvotaan ruiskuvaluprosessia. Yksikkö koostuu tietokoneesta, näytöstä ja käsikäyttökytkimistä. Häiriötilanteessa häiriön syy näkyy ruudulla tekstimuodossa. (Kurri ym. 2002, 76)

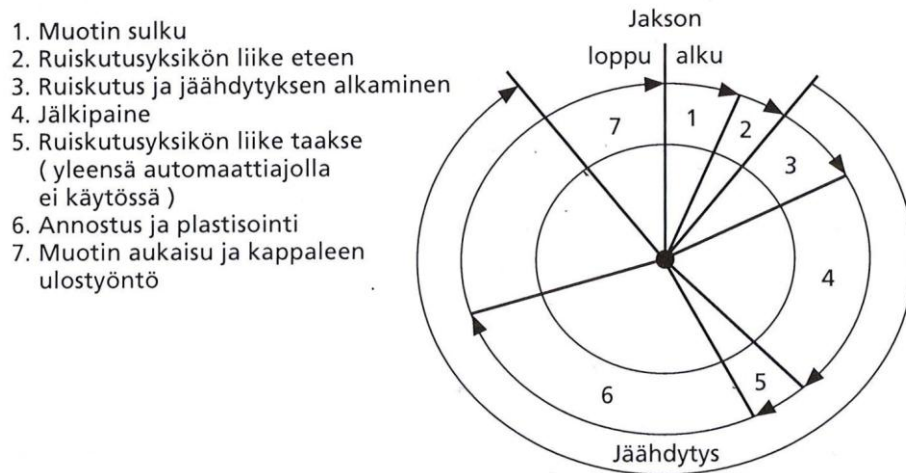
Hydrauliyksikkö

Hydrauliyksikön tehtävä on sähköhydraulisissa koneissa liikkeen aikaansaaminen hydraulisten toimilaitteiden avulla. Yksikön komponentteja ovat esimerkiksi sähkömoottori, hydraulimoottorit, hydraulipumppu, sylinterit, säätö- ja ohjausventtiilit ja suodattimet. (Kurri ym. 2002, 77)

4.1.2 Ruiskuvaluprosessin eteneminen

Ruiskuvaluprosessin aikana tapahtuvat vaiheet voidaan jakaa hieman eri tavoin, mutta kuvassa 3 vaiheet on jaettu seitsemään eri osaan, jotka käydään tässä osassa pääpiirteittäin läpi. Osa näistä vaihteista tapahtuu päällekkäin muiden vaiheiden kanssa.

(Järvinen 2000, 106)



KUVA 3. Ruiskuvalun eri vaiheet (Kurri ym. 2002, 78)

Seuraavissa kohdissa käydään läpi kuvassa 3 olevat vaiheet, lukuun ottamatta ruiskutusyksikön liikkeitä, koska niitä ei yleensä tapahdu automaattisen työkierron aikana kiertonopeuden lyhentämiseksi. Liike eteen tapahtuu vain ensimmäisellä työkierrolla, jonka jälkeen ruiskutusyksikön suutin jää kiinni muotin suuttimeen.

(Kurri ym. 2002, 79)

Muotin sulku

Muotin tulee sulkeutua joustavasti ja nopeasti. Sulkunopeus hidastuu juuri ennen muotitipuoliskojen lukkiutumista, jotta ne eivät kolahtaisi yhteen ja vältytään muotin rikkoutumiselta. (Kurri ym. 2002, 78)

Ruiskutus

Muovimassa ruiskutetaan muottipesään keskelle kappaletta suurella paineella ja nopeudella mäntänä toimivan kierukkaruuvien avulla. Muovimassan tulisi jäähtyä muotissa yhtä pitkän ajan, joten nopea ruiskutus takaa tasalaatuisen kappaleen. Kappaleen paksuudenvaihtelut voivat olla ongelmallisia jäähdyttäessä. Ruiskutusnopeuden hallinta on tärkeä osa ruiskuvaluprosessia. (Kurri ym. 2002, 79)

Jälkipaine

Ruiskutuksen jälkeen jälkipaineella pyritään työntämään muottiin lisää muovisulaa jähmettymisen aiheuttaman kutistumisen korvaamiseksi. Liian alhainen jälkipaine voi aiheuttaa tuotteeseen onteloita, reikiä tai imuja. Liian suuri jälkipaine taas aiheuttaa kappaleeseen pursetta, kieroutumista ja haurautta. (Kurri ym. 2002, 80)

Jäähdytys

Työkierron pisin vaihe on jäähdytys, joka alkaa heti ruiskutuksen alkaessa. Muovisula alkaa jähmettymään heti, kun se osuu muottipesän seinämiin. Jäähdytyksen tulee tapahtua tasaisesti, jotta tuotteista saadaan tasalaatuisia ja virheettömiä. (Kurri ym. 2002, 80)

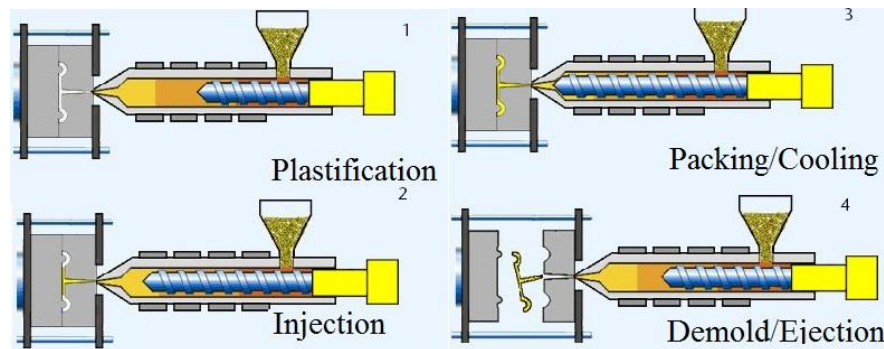
Annostus ja plastisointi

Annostelussa ruuvi pyörii ja samanaikaisesti liikkuu taaksepäin siirtäen asetetun annoksen ruuvien etuosaan. Plastisoinnissa granulaatti sulaa lämpövastuksien ja ruuvien pyörimisestä aiheutuvan kitkan avulla. Kitkalämmön vaikutus sulattamiseen tarvitusta lämmöstä voi olla jopa 75 % ja loput on lämpövastuksien avulla tuotettua lämpöä. (Kurri ym. 2002, 81)

Muotin aukaisu ja kappaleen ulostyöntö

Jäähdytysajan loputtua muotti avataan joustavasti ja nopeasti. Kappale voidaan poistaa jo muotin avauksen aikana ulostyöntäjien avulla. Muotin avausmatkaa asettaessa otetaan huomioon tuotteen koko, ulostyöntäjien liike ja mahdollisen robotin liikkeit, jotta tuotteen poistuminen muotista onnistuu ilman ongelmia. (Kurri ym. 2002, 82)

Kuvassa 4 on yksinkertaisesti esitettyä ruiskuvalun eri vaiheet. Ensimmäisessä kohdassa muovigranulaatti plastisoidaan ja siirretään ruuvin eteen. Toisessa kohdassa muovisula ruiskutetaan muottipesään ja jäähdytys alkaa. Kolmannessa kohdassa jäähdytys jatkuu ja pidetään jälkipainetta. Neljännessä kohdassa annostellaan uusi annos ja avataan muotti valmiin kappaleen irrottamiseksi.



KUVA 4. Ruiskuvalun vaiheet (Xie, L., Shen, L. & Jiang, B. 2011)

4.1.3 Ruiskuvalun erikoistekniikat

Ruiskuvalun erikoistekniikoilla on mahdollista valmistaa entistä monimutkaisempia ja monipuolisempia tuotteita. Erikoistekniikoilla on mahdollista ruiskuvalaa materiaaleja, jotka eivät ennen ole olleet ruiskuvaltavissa. Tässä osassa käydään läpi kaasuvusteinen-, monikomponentti- ja kaksivaiheruiskuvalu. (Järvinen 2008, 182)

Kaasuvusteinen ruiskuvalu

Menetelmän tarkoituksena on valmistaa onttoja kappaleita typpikaasun avulla. Tämä onnistuu siten, että 50–80 % sulalla muovilla täytettyyn muottiin ruiskutetaan typpikaasua, jolloin kaasun aiheuttama paine painaa muovisulan muotin reunoille ja tuotteeseen jää ontto keskikohta. Menetelmän avulla voidaan säästää materiaalia, lyhentää jaksonaikaa ja tuotteelle saadaan hyvä pinta. Huonoja puolia ovat kalliit laiteinvestoinnit ja vaikea ruiskuvalun hallinta tasaisien seinämien saamiseksi. (Kurri ym. 2002)

Monikomponenttiruiskuvalu

Tässä menetelmässä tuotteeseen ruiskutetaan kahta tai useampaa muovilaatua samanaikaisesti. Tuotteeseen voidaan saada pintaan visuaalisesti ja kestävyydeltään erilaista muovia kuin sisäosaan, kuten esimerkiksi auton puskureissa sisäosa on pehmeää ja ulkokuori on kovaa. Menetelmän avulla tuotteeseen voidaan myös ruiskuttaa kahta tai useampaa eri väriä. Prosessin hallinta on vaikeaa ja laiteinvestoinnit ovat kalliita. Eri muovilaatuja yhdistäessä on otettava huomioon, että muovien keskinäinen tarttuvuus on mahdollista. (Kurri ym. 2002, 95)

Kaksivaiheruiskuvalu

Tämä on liitosvalumenetelmä, jolla tuotteeseen saadaan eri materiaalista valmistettuja kohtia. Tunnetuimmat käyttökohteet tälle menetelmälle ovat erilaiset kahvat, joissa on kovaa materiaalia tuomassa tuotteelle jäykkyyttä ja pehmeää materiaalia antamassa pitoa. Hyviä esimerkkejä tuotteista ovat hiihtosauvojen kahvat, hammasharjat ja tiskiharjat. (Kurri ym. 2002, 95)

4.2 Ekstruusio eli suulakepuristus

Ekstruusio on monien muovituotteiden valmistuksessa käytetty perusmenetelmä ja ruiskuvalun tapaan tuotannon määrä on suuri. Ekstruusiossa sylinterin sisässä pyörivä ruuvi plastisoi muovin paineen, kitkan ja sylinterin seinämästä johtuvan lämmön avulla. Sylinteristä ruuvi työntää muovimassaa muotoillun suulakkeen läpi. (Järvinen 2000, 109)

4.2.1 Ekstruuderi

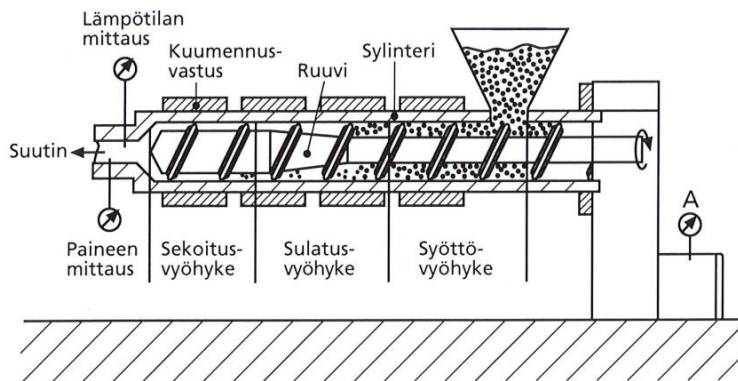
Ekstruudereita on yleensä kahta eri päätyyppiä, jotka ovat yksiruuvi- ja kaksiruuviekstruuderi. Erona näillä on sylinterin sisällä olevien ruuvien määrä. Kaksiruuviekstruuderia käytetään pääasiassa kovan PVC:n puristamisessa. Kuvassa 5 on yksiruuviekstruuderi, joka on kahdesta päätyypistä yleisempi. (Järvinen 2000, 109)



KUVA 5. Yksiruuviekstruuder (Harden Technologies Ltd. 2012)

4.2.2 Ekstruusioprosessin eteneminen

Toisin kuin ruiskuvalussa, ekstruusioprosessi on jatkuvatoiminen eli varsinaisia jaksonaikoja ei ole. Kuvassa 6 nähdään ekstruuderin sylinterin sisällä olevat eri vyöhykkeet. Syöttövyöhykkeeltä granulaatti kulkeutuu sulatusvyöhykkeelle, jossa alkaa tapahtumaan vähitellen sulamista joko pelkästään kitkan tai kitkan ja sähkövastuksien avulla. Sulatusvyöhykkeeltä massa siirtyy sekoitusvyöhykkeelle, jossa aines sekoittuu tasaiseksi eli homogenisoituu. Ruuvien muodolla eli geometrialla on vaikutusta muovimassan käyttöön. Ruuvien geometrialla voidaan esimerkiksi säädellä paineenkorotusta, materiaalin tarttuvuutta sylinterin sisäpintoihin ja kaasun poistoa. (Kurri ym. 2002, 99)



KUVA 6. Ekstruuderin rakenne (Kurri ym. 2002, 99)

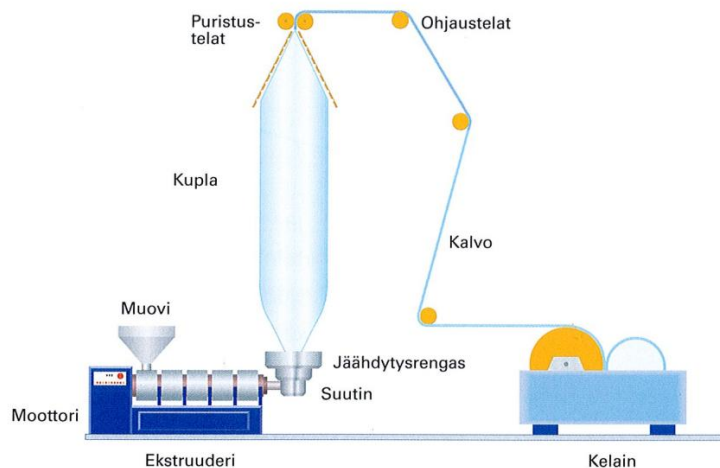
4.2.3 Ekstruusiomenetelmät

Ekstruusio on yleensä osa isompaa kokonaisuutta. Suulakkeen läpipuristuksen jälkeen seuraavana on lopullisen tuotteen valmistukseen tarvittavat laitteistot, joilla lopulliselle tuotteelle saadaan tarkat muodot ja mitat. Ekstruusiolla valmistettuja tuotteita ovat esimerkiksi kalvot, putket, tangot, köydet sekä eri materiaalien päällystykset, kuten kankaan, paperin ja kaapelien päällystykset. Tässä osassa käydään läpi kalvo- ja levynvalmistus, ekstruusiopäällystys sekä putken- ja profiilinvalmistus. (Kurri ym. 2002, 98)

Kalvon- ja levyn valmistus

Kalvoja tehdään kahdella tapaa, jotka ovat puhallus- ja tasokalvomenetelmä. Kuvassa 7 nähdään puhalluskalvon valmistuksen periaate. Ekstruuderissa on kiinni rengassuutin, jonka läpi plastisoitu muovi puristuu synnyttäen suuren muoviletkun. Vetolaitteiston nopeutta säätämällä voidaan vaikuttaa kalvon paksuuteen. Puhallusmenetelmän yleisimmät muoviraaka-aineet ovat PE ja PP. Tavallisimmat tuotteet tällä menetelmällä valmistettuna ovat erilaiset muovipussit. Tasokalvomenetelmässä PE:n ja PP:n lisäksi yleisiä muoveja ovat PVC ja PS, joista valmistetaan levyjä ja kalvoja.

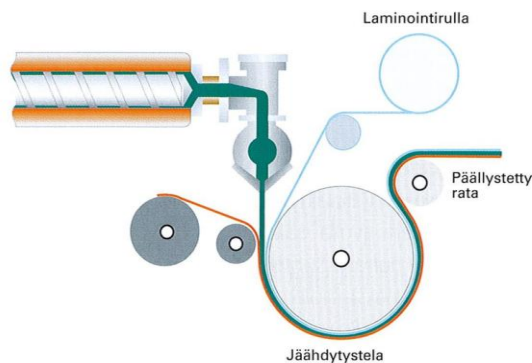
(Järvinen 2008, 175–176)



KUVA 7. Periaatekuva kalvon valmistuksesta (Järvinen 2008, 175)

Ekstruusiopäällystys

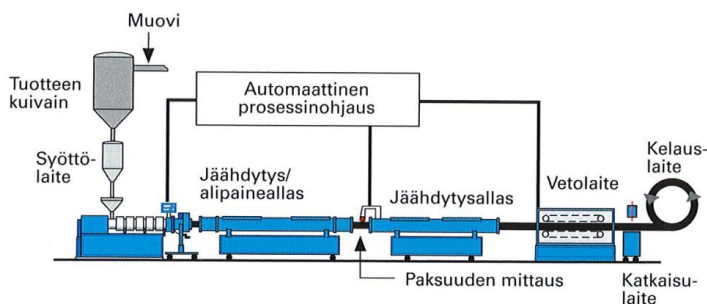
Ekstruusiopäällystys on yleinen menetelmä Suomessa. Eniten päällystettyjä materiaaleja ovat paperi ja kartonki. Näiden lisäksi voidaan myös päällystää muovikalvoja, kangasta ja terästä. Yleisin päällystysaine on polyeteeni. Päällyste suojaa kuiturakenteita kosteudelta ja samalla toimii esimerkiksi pakkauksien kuumasaumausmuovina. Kuvassa 8 näkyy, kuinka muovi tulee ekstruuderista suulakkeen läpi alusradalle puristustelan ja jäähdytystelan väliin. Ekstruuderista tullessaan muovin lämpötila on noin 320 °C. Muovi jäähtyy ja päällystetty rata kelataan rullalle. (Järvinen 2008, 176)



KUVA 8. Periaatekuva ekstruusiopäällystyksestä (Järvinen 2008, 176)

Putken- ja profiilinvalmistus

Tässä menetelmässä ekstruuderin suutin on lopputuotteen mukainen. Heti suuttimen jälkeen sulassa tilassa oleva muovi menee kalibrointityökaluun, jossa tuote saa lopullisen muotonsa yli- tai alipaineen avulla. Syntyvä profiili tai putki vedetään vetolaitteen avulla jäähdytysaltaan läpi ja sen jälkeen tuote katkaistaan haluttuun mittaan. Putken raaka-aineena toimii normaalisti PVC, PE ja PP. Profiilit ovat yleensä PVC:tä. Myös kumituotteita valmistetaan tällä menetelmällä paljon. Kuvassa 9 on putken valmistukseen vaadittava järjestelmä. (Järvinen 2008, 177)



KUVA 9. Periaatekuva putken valmistuksesta (Järvinen 2008, 176)

5 LEOMUOVI OY

Leomuovi Oy on Akaan Viialassa sijaitseva yritys, joka valmistaa lukuisia eri muovikomponentteja. Yritys perustettiin vuonna 1984, kun Lapinleimu Oy:n muoviosasto siirtyi Viialaan Leo Koskisen omistukseen. Nykyisin yrityksen omistavat toimitusjohtaja Risto Kalliainen ja tekninen johtaja Sami Rantala.

Leomuovi on alusta asti valmistanut ilmanvaihtoalan muovikomponentteja ja omina tuotteinaan sormiruuveja sekä tähtinuppeja. Tuotteita käytetään esimerkiksi rakennus-, elektroniikka-, kone-, muovi-, metalli- ja huonekaluteollisuudessa. Enimmäkseen asiakasunta sijoittuu kotimaahan, mutta se on sujuvasti laajentunut myös naapurimaihin. Nykyaikainen ja jatkuvasti uudistuva konekanta tukee hyvin Leomuovin kehittymistä tulevaisuudessa. Asiakkaita on jo yli 500 yksityisistä tilaajista suuriin teollisuuslaitoksiin. Leomuovilla valmistetuilla mittatarkoilla ruiskuvaluosilla on esimerkiksi pystytty korvaamaan paperiteollisuudessa tarvittavia kalliita teräsosia. Lisäksi muoviosan vaihtaminen on paljon helpompaa kuin teräsosan vaihtaminen.

Liikevaihto vuonna 2014 oli yli 3 miljoonaa euroa ja työntekijöitä tehtaalla on 16 (Asiakastieto). Leomuovilla on ISO 9001 -mukainen laatujärjestelmä ja ISO 14001 -mukainen ympäristöjärjestelmä.

LÄHTEET

Aromaa, H. 2010. Polykaprolaktonin käyttö ja ominaisuudet biomateriaalina. Materiaalitekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Asiakastieto. Leomuovi Oy. Luettu 10.9.2015
<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/leomuovi-oy/16459860/taloustiedot>

Harden Technologies Ltd. 2012. Luettu 29.10.2015
<http://www.compounding-extruder.com/products/high-speed-single-screw-plastics-extruders/>

Heritage Pioneer Corporate Group. Luettu 4.10.2015
<http://www.hpcorporategroup.com/what-do-plastic-recycling-symbols-mean.html>

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

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy

Metabolix. 2015. Luettu 10.11.2015
<http://www.metabolix.com/products/biopolymers>

Muoviteollisuus Ry. Muovitieto. Biomuovit. Luettu 29.10.2015
http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit_ja_ymparisto/biomuovit/

PolyOne. 2015. Luettu 17.11.2015
<http://www.polyone.com/products/colorants/masterbatches/oncolor-bio>

Stevens, E. S. 2002. Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton (NJ): Princeton University Press

Telko. Tuotteet. Biomuovit. Luettu 28.10.2015
http://www.telko.com/fi/tuotteet/muovit/tekniset_muovit/biomuovit/

Tolinski, M. 2012. Plastics and sustainability: towards a peaceful coexistence between bio-based and fossil fuel-based plastics. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons

Wittmann Group. 2015. Luettu 27.9.2015
<http://www.wittmann-group.com/injection-molding/hydraulic/hm-mc-45-300.html>

Xie, L., Shen, L. & Jiang, B. 2011. Modelling and Simulation for Micro Injection Molding Process. Luettu 12.11.2015
<http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamicstechnologies-and-applications/modelling-and-simulation-for-micro-injection-molding-process>

LIITTEET

Liite 1. Raaka-aineen tietolomake

Poistettu julkisesta versiosta.