Opinnäytetyö (AMK)

Prosessi- ja materiaalitekniikka

2018

Mikko Humalajoki

MAATALOUSMUOVIN KIERRÄTYS JA HYÖTYKÄTTÖ

– käytetyn paalimuovijätteen hyödynnettävyys materiaalina

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK)

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikka (Insinööri AMK)

2018 | 54 sivua

Mikko Humalajoki

MAATALOUSMUOVIN KIERRÄTYS JA HYÖTYKÄYTTÖ

- käytetyn paalimuovijätteen hyödynnettävyys materiaalina

Suomen maatiloilla syntyy vuosittain merkittävä määrä erilaista muovijätettä. Valtakunnallisia yhtenäisiä ohjeita muovijätteen keräämiseksi ja kierrättämiseksi ei ole, vaikka erilaisia ohjeita ja määräyksiä muovijätteiden käsittelystä onkin sekä kansainvälisesti että kansallisesti. EU:n muovistrategian tavoitteena on, että kaikki EU:n alueella käytettävä muovi on kierrätettävää tai uudelleen käytettävää materiaalia vuonna 2030.

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena selvittää paalimuovijätteen soveltuvuutta kierrätykseen ja käyttöön raaka-aineena. Teoriaosuudessa perehdyttiin muovijätteen kierrätystä ja hyötykäyttöä koskeviin hankkeisiin ja tutkimusohjelmiin, kuten ARVI-tutkimusohjelmaan, EU:n muovistrategiaan ja Muovitiekarttaan Suomelle. Teoriaosuudessa perehdyttiin myös alan kirjallisuuteen, julkaisuihin sekä erilaisiin sähköisiin lähteisiin. Yhteistyötä sekä tiedon että materiaalien vaihdossa tehtiin Hämeen ammattikorkeakoulun kanssa.

Käytännön testaukset tehtiin prässäämällä. Prässäyksessä haluttua raaka-ainetta sisältävä muotti laitetaan prässiin, joka kuumentaa ja puristaa raaka-aineen muotin muotoiseksi.

Ensimmäisissä prässäyksissä käytettiin käyttämätöntä muovikalvoa optimaalisten parametrien määrittämiseksi. Määritettävät parametrit olivat lämpötila, muovimassan määrä halutulle muotille, esilämmitys-, puristus-, ja jäähdytysajat. Tämän jälkeen samaa menetelmää käytettiin puhdistetulla ja puhdistamattomalla paalimuovilla. Saatuja näytekappaleita testattiin vetokokeilla ja niitä myös tutkittiin visuaalisesti. Lopuksi valmistettiin näytekappaleita palapelin palan muotoisella muotilla ja tutkittiin niiden yhteensopivuutta toisiinsa.

Tulokseksi saatiin, että mitä korkeampi lämpötila ja mitä pidemmät esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat olivat, sitä parempia kappaleita saatiin. Kosteus ja likaisuus eivät merkittävästi vaikuttaneet paalimuovijätteen prosessointiin. Sen sijaan paalimuovijätteen kosteus vaikutti heikentävästi kappaleen murtovoimaan. Palapelin palan muotoisella muotilla valmistetut näytekappaleet sopivat hyvin kiinni toisiinsa. Menetelmää kehittämällä voitaisiin luoda menetelmä, jolla käytetystä paalimuovijätteestä voitaisiin valmistaa esimerkiksi tuotantotilojen lattioita.

ASIASANAT:

muovijäte, maatalousmuovi, kierrätys, materiaalihyödyntäminen, prässi

BACHELOR´S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Chemical and Materials Engineering

2018 | 54 pages

Mikko Humalajoki

RECYCLING AND UTILIZATION OF AGRICULTURAL PLASTIC

- exploitability of used bale plastic waste as material

A significant amount of different plastic waste is generated each year on Finnish farms. There are no uniform nationwide guidelines for the collection and recycling of plastic waste, although various guidelines and regulations on the handling of plastic waste are available both internationally and nationally. The objective of the EU's plastics strategy is that all plastic used in the EU is recyclable or reusable in 2030.

The purpose of this thesis was to determine the suitability of bale plastic waste for recycling and use as a raw material. The theoretical part focused on projects and research programs on the recycling and recovery of plastic waste, such as the ARVI research program, the EU's plastic strategy and the Plastics Roadmap for Finland. Cooperation by way of information and materials exchange was done with Häme University of Applied Sciences.

Practical testing was comprised pressing. During pressing a mold containing the desired material is placed into the pressing machine that heats and compresses the raw material into shape.

In order to determine the optimal parameters, an unused plastic film was used in the first pressings. The parameters to be determined were the temperature and the amount of plastic mass for the desired mold as well as the preheating, compression, and cooling times. The same method was then used with cleaned and uncleaned bale plastics. The samples obtained were tested by traction tests and they were also visually inspected. Finally, samples were produced with a puzzle piece shaped mold and examined for compatibility with each other.

The conclusion was that the higher the temperature and the longer the preheating, compression and cooling times were, the better the results were. Moisture and dirt did not have a significant effect on the processing of bale plastics. Instead, the moisture of the plastic mass lessened the sample’s breaking resistance. The samples produced with a puzzle piece shaped mold engaged well with each other. The method could be further developed into a technique that could, for example, enable the manufacturing of floors for production premises out of bale plastic waste.

KEYWORDS:

plastics waste, agricultural plastic, recycling, material utilization, press

SISÄLTÖ

SANASTO **7**

1 JOHDANTO **8**

2 MUOVI JA MUOVIN KIERRÄTYS **9**

2.1 Euroopan unionin ja Suomen kansalliset ohjeet ja määräykset muovijätteen käsittelemiseksi 9

2.2 Muovin kierrätys ja hyötykäyttö 11

2.2.1 Materiaalien arvovirrat ARVI-tutkimusohjelma 13

2.2.2 Kiertotalouskylä 14

2.2.3 Euroopan unionin muovistrategia 15

2.2.4 Muovitiekartta Suomelle 16

2.2.5 Likaisen muovijätteen keräys ja kierto (LiMuKe) - hanke 17

3 PAALIMUOVIN PROSESSOINTI **18**

3.1 Prässäys 18

3.1.1 Prässi LP-S-20 20

3.1.2 Prässi LP-S-20 toimintaperiaate 23

4 MAATALOUSMUOVIN PROSESSSOINTI JA TESTAUS **25**

4.1 Muovimassan määrittäminen halutulle muotille 29

4.2 Esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajan määrittäminen 30

4.3 Lämpötilan määrittäminen 31

4.4 Tehdyt näytekappaleet vetokokeita varten 31

4.5 Kappaleiden valmistaminen palapelin palan muotoisesta muotista 34

4.6 Vetokokeiden tekeminen kappaleille 34

5 TULOKSET **37**

5.1 Optimaalisen muovimassan määrä halutulle muotille 37

5.2 Optimaalisen esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajan määrä 37

5.3 Optimaalisen lämpötilan määritys 38

5.4 Muita parametrejä 40

5.5 Vetokokeisiin tehdyt kappaleet 41

5.6 Vetokokeiden tulokset 42

5.7 Palapelin palan muotoisen kappaleen valmistus käyttäen apuna alustaa, joka antoi kuvion kappaleelle 47
5.8 Palapelin palan muotoisen kappaleen valmistus ilman kuviota antavaa alustaa 49

6 LOPPUPÄÄTELMÄT 52

LÄHTEET 54

LIITTEET

Liite 1. Muovien prässäykset.
Liite 2. Kappaleille tehtyjen vetokokeiden tulokset.

KAAVAT

Kaava 1. Puristusvoiman laskeminen paineen avulla. 22
Kaava 2. Ensimmäinen vaihe määritettäessä paineen P suuruutta. 23
Kaava 3. Toinen vaihe määritettäessä paineen P suuruutta. 23
Kaava 4. Yhteiskappaleiden murtovoima-arvon muuttaminen murtolujuudeksi. 46

KUVAT

Kuva 1. Yleisempien muovien materiaaliluokitukset. (Muoviteollisuus ry, 2018) 12
Kuva 2. Prässin toimintaperiaate. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 10) 19
Kuva 3. Prässi Scientific LP-S-20. 20
Kuva 4. Öljyssä olevan paineen vaikutus puristusvoimaan. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p.33) 22
Kuva 5. Prässäyksissä käytetty muotti. 25
Kuva 6. Kuvassa vasemmalla on käyttämättömästä PE-muovikalvosta tehty muovipallo. 26
Kuva 7. Muovipallo muotin sisällä sivusta kuvattuna. 27
Kuva 8. Ensimmäisen prässäyksen jälkeen syntynyt kappale muovipallosta ylhäältäpäin kuvattuna. 27
Kuva 9. Alkukappaleet laitettu päällekkäin muottiin yhteisprässäystä varten. 28
Kuva 10. Prässäyksen jälkeen syntynyt yhteiskappale muotin sisällä. 29
Kuva 11. Vajaaksi jäänyt muotti. 30
Kuva 12. Puhdistettua PE-muovikalvoa pieninä paloina jätesäkissä. 32
Kuva 13. Likaista PE-muovikalvoa laitettuna lattialle. 32
Kuva 14. Yhteiskappaleet vetotestejä varten. Viisi ylintä valmistettu käyttämättömästä PE-muovikalvosta, kolme seuraavaa puhdistetusta PE-muovikalvosta ja kolme alinta likaisesta PE-muovikalvosta. 33

Kuva 15. Palapelin palan muotoinen muotti, johon on lisätty alusta, jossa oli kuvio. 34
Kuva 16. Zwick Roel Z050 vetokone. 35
Kuva 17. Kappale laitettu vetokoneeseen puristiemien väliin. 36
Kuva 18. Kappaleesta leikattu noin 3 cm palanen irti visuaalista tutkimista varten. Esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat olivat tässä kappaleessa alkuperäiset. 38
Kuva 19. Kappaleesta leikattiin noin 3 cm palanen irti visuaalista tutkimista varten. Kappaleen esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat ovat mahdollisimman suuret. 38
Kuva 20. Viisi yhteiskappaletta päällekkäin siten, että ylimpänä on 170 asteella tehty yhteiskappale ja alimpana 190 asteella tehty kappale. 39
Kuva 21. Ylempänä yhteiskappale, jonka lämpötila oli 170 astetta ja alempana 190 asteella tehty yhteiskappale. 39
Kuva 22. Kappaleiden valmistuksessa alettiin käyttämään teflonpinnoitettua lasikuitukangasta (PTFE-LASIK.KANGAS, EA-105) apuna, mikä esti kappaleen tarttumisen tukilevyn pintaan. 40
Kuva 23. Kuva kolmesta yhteiskappaleesta, kun noin sentti oltiin sahattu pois. Ylimpänä on käyttämättömästä, keskellä puhdistetusta ja alimpana likaisesta PE-muovikalvosta tehty yhteiskappale. 42
Kuva 24. Kuva kolmesta yhteiskappaleesta, kun oltiin lähempänä kappaleen keskustaa. Ylimpänä on käyttämättömästä, keskellä puhdistetusta ja alimpana likaisesta PE-muovikalvosta tehty yhteiskappale. 42
Kuva 25. Kuva kappaleesta, jonka murtumispiste oltiin jo saavutettu. 44
Kuva 26. Kuva kappaleesta, jonka venymä oli todella suuri. 45
Kuva 27. Likaisesta PE-muovista valmistettu kappale, joka puristuessaan muodosti vesipisaroita. 46
Kuva 28. Kuva yhteiskappaleesta muotin sisällä. Muotti täyttyi kokonaan. 48
Kuva 29. Yhteiskappale poistettu muotista. Reunojen ruskea väri johtuu muotissa olleesta ruosteesta. Seuraavissa kappaleissa ruostetta ei enää ollut. 49
Kuva 30. Kuva yhteiskappaleesta, joka on poistettu muotista. 50
Kuva 31. Yhdeksästä yhteiskappaleesta muodostettu kuvio. 50

TAULUKOT

Taulukko 1. LP-S-20 tekniset tiedot. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 8) 21
Taulukko 2. Yhteiskappaleilla tehdyt parametrit. Massat ovat keskiarvoja. 41
Taulukko 3. Keskiarvot vetokokeista saaduista tuloksista (Liite 2). 43

SANASTO

Lyhenne/sana	Selitys
Arvi	Materiaalien arvovirrat tutkimusohjelma.
Ekstruuderi	Suulakepuristin.
Granulaatti	Muovirae.
LiMuKe	Likaisen muovin keräys ja kierto – hanke.
PE-HD	Suuritiheyspolyeteeni.
PE-LD	Pienitiheyspolyeteeni.
PE-LLD	Pienitiheyspolyeteeni (lineaarinen).
PET	Polyeteenitereftalaatti.
Scientificin LP-S-20	Hydraulinen prässi, jossa jäähdytysjärjestelmä.
SYKE	Suomen ympäristökeskus.

1 JOHDANTO

Maatalousmuoveista syntyy Suomen maatiloilla muovijätettä vuosittain noin 12 000 tonnia (Etelä-Savon ympäristökeskus ym.2009, p. 82). Tästä yli puolet, lähes 7000 tonnia on paalimuovia. Maatiloilla muovijäte on kasvava ongelma. Vielä nykyisinkin vain murto-osa maatalouden muovijätteestä kierrätetään materiaalina. Suurin osa päätyy energiakäyttöön tai on hävitetty muuten. Perinteisesti muovijätettä on maatiloilla hävitetty polttamalla joko lämmityskattiloissa tai avopolttona, toimitettu kaatopaikoille tai polttolaitoksille energiakäyttöön.

Vuonna 2016 Suomessa käyttöönotettu orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto kieltää myös maatalousmuovijätteen sijoittamisen kaatopaikoille. Muovijätteen polttaminen maatiloilla ei myöskään ole hyväksyttävää siinä syntyvien haitallisten ja jopa myrkyllisten päästöjen vuoksi. Euroopan unionin jätepuitedirektiivin ja Suomen jätelain etusijajärjestyksen mukaan myös maatalouden muovijätteet tulisi kerätä ja kierrättää mahdollisimman tehokkaasti. Maatalousmuovien jatkokäsittelyä hankaloittaa valtakunnallisen keräys- ja kierrätysjärjestelmän puute sekä yhtenäisten ohjeiden puuttuminen. Maatalouden muovit ovat kaikki myös keskenään eri laatuisia. Kierrätettävän materiaalin sisältämät epäpuhtaudet, kuten multa, hiekka, kivet, eläintenjätökset, vesi ja muut mahdolliset nesteet aiheuttavat omat haasteensa.

Maatalousmuovi on yhteisnimitys kaikelle maataloudessa käytettävälle muoville, kuten heinäpaalien kiristekalvot, kääremuovit, aumakalvot, viljelyssä käytetyt kalvot ja harsot, kanisterit ja lannoitesäkit.

Tässä opinnäytetyössä tutkittavana oli likaisen ja puhdistetun paalimuovijätteen työstettävyys ja uusiokäyttömahdollisuudet. Paalimuovit ovat kestomuoveja, joita voidaan sulattaa ja valaa uudelleen. Tutkimusmenetelmänä on käytetty prässäystä. Yhteistyötä ja materiaalien vaihtoa on tehty Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK) kanssa.

2 MUOVI JA MUOVIN KIERRÄTYS

Muovilla tarkoitettaan polymeeriä, joka on muodostunut yhdestä tai useamman tyyppisestä monomeeriyksiköstä. Muoveja voidaan valmistaa biopohjaisista materiaaleista, kuten selluloosasta tai tärkkelyksestä, mutta yleisesti muovit valmistetaan fossiilisista raaka-aineista. Muovien ominaisuuksia voidaan muuttaa halutuiksi erilaisten lisäaineiden, kuten pehmittimien, täyteaineiden ja väripigmenttien avulla. (Ympäristöministeriö, 2018)

Muovit voidaan luokitella eri tavoin. Ominaisuuksiensa perusteella ne voidaan jakaa kestomuoveihin tai kertamuoveihin. Kestomuovit voidaan sulattaa ja muotoilla uudelleen. Niiden kemialliset ominaisuudet vaikuttavat mm. siihen, ovatko ne läpinäkyviä, amorfisia, vai läpinäkymättömiä, osakiteisiä. Kertamuoveja ei voida uudelleen muokata. Ominaisuuksiltaan kumeja muistuttavia muoveja kutsutaan elasteiksi. (Muoviteollisuus ry, 2018)

Käyttötarkoituksen mukaisesti muovit voidaan karkeasti jakaa kolmeen osa-alueeseen: valtamuovit, joita valmistetaan eniten ja jotka ovat ns. kuluttajamuoveja, tekniset muovit, joita käytetään vaativissa kohteissa sekä erikoismuovit, joita käytetään äärimmäisissä ja erittäin vaativissa kohteissa. Muoveilla on keskenään lukuisia eroavaisuuksia esimerkiksi lämmönkestävyydessä sähkönjohtamisessa ja kemikaalien kestävyydessä. (Muoviteollisuus ry, 2018)

Muoveja käytetään laajasti niiden ominaisuuksien vuoksi ja niiden maailmanlaajuinen tuotanto on kasvanut 20-kertaiseksi viidessäkymmenessä vuodessa. Määrän odotetaan kaksinkertaistuvan seuraavan 20 vuoden aikana. Muovien käytön suurimpina ongelmina ovat kuitenkin muovien joutuminen ympäristöön erityisesti meriin, sekä mahdollisesti ravintoketjuihin mikromuoveina. (Ympäristöministeriö, 2018)

2.1 Euroopan unionin ja Suomen kansalliset ohjeet ja määräykset muovijätteen käsittelemiseksi

Euroopan unionin tavoitteina ovat, ettei muovia päätyisi kaatopaikoille, eikä roskaamaan vesistöjä ja luontoa, vaan muovijäte saataisiin hyödynnettyä nykyistä paremmin energiana ja uusiomuovina. Tavoitteiden saavuttamiseksi Euroopan unioni on luonut kierto-

talouspaketin, jossa neitseellisiä luonnonvaroja käytetään mahdollisimman vähän, tuotteet tulisi suunnitella niin, että mietitään koko elinkaarta, sekä sitä miten raaka-aineet saadaan loppukäyttäjältä takaisin tuotantoprosessiin. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 16)

Suomen jätelaki pohjautuu Euroopan unionin jätepuitedirektiiviin, jossa on asetettu jätteen hyödyntämiselle niin kutsuttu etusijajärjestys, joka toimii seuraavassa arvojärjestyksessä:

1. Jätteen synnyn ehkäisy
2. Uudelleenkäyttö
3. Kierrätys
4. Energianhyötykäyttö
5. Loppusijoitus (Järvinen & Saarinen 2016, p. 16-17)

Ensisijaisesti on pyrittävä siihen, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän. Jätteen syntyessä, siitä tulisi saada mahdollisimman paljon uudelleenkäyttöön. Jäte, mitä ei voida käyttää uudelleen, kierrätetään materiaalina. Jos materiaalikierrätys ei ole mahdollista, jätteen sisältämä energia tulisi hyödyntää. Viimeinen toimenpide on jätteen loppusijoittaminen esimerkiksi kaatopaikalle. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 17)

Suomessa muoveja ei kuitenkaan enää saa viedä kaatopaikalle. Se on estetty orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellolla, joka astui voimaan vuonna 2016. Ainoastaan poikkeusluvalla muoveja saa viedä kaatopaikalle. Samana vuonna Suomessa alkoi muovin erilliskeräys, jolla tuetaan muovien kierrätystä. Vähintään yksi muovipakkausten vastaanottopaikka tulee olla jokaisessa taajamassa, jossa asukkaita on yli 10 000. (Ympäristöministeriö, 2018)

Euroopan maat, joissa orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto on voimassa, sijoittavat kaatopaikalle vähiten muovia. Yleisin muovijätteen hyötykäyttö näissä maissa on ollut energianhyödyntäminen. Samaa trendiä seuraa myös Suomi, joka otti vastaavan kaatopaikkakiellon käyttöön vuonna 2016. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 24-25)

Suomessa muovijätteen energianhyödyntäminen on kasvanut paljon, sillä Suomessa on otettu käyttöön useita jätevoimaloita. Jätevoimaloiden energiatuotannon hyötysuhde on 95 %, mikä tarkoittaa, että jätevoimalat saavat melkein kaiken energian talteen sekajätteestä. Muovien suuren lämpöarvon ansioista muoveista saatu energia on suurta ja haluttua jätevoimaloissa, sillä lämpöarvo on usein korkeampi kuin esimerkiksi raakaöljyllä. Muun muassa polypropeenin ja polyeteenin lämpöarvo on noin 45 megajoulea yhtä kiloa

kohti, kun taas raakaöljyllä vastaava luku on noin 40 MJ/kg. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 26-78)

2.2 Muovin kierrätys ja hyötykäyttö

Muovin hyviin ominaisuuksiin kuuluu, että se voidaan käyttää uudestaan. Kierrätys on yleisnimitys prosessille, jossa on tarkoituksena uudelleenkäyttää jo käytössä olleita materiaaleja. Puhuttaessa muovien kierrätyksestä tarkoitetaan koko prosessia, johon kuuluu ensinnäkin muovien kerääminen, jonka jälkeen muovit käsitellään sopivaan muotoon ja sen jälkeen joko uusiokäytetään materiaalina tai hyötykäytetään energiana. Yleisimmillä muoveilla on omat materiaaliluokitukset, jotka ovat esitettynä kuvassa 1 ja joita voidaan käyttää apuna kerättäessä muoveja kierrätystä varten. (Muoviteollisuus ry, 2018)

MATERIAALI-MERKINTÄ	YLEISET OMINAISUUDET	ESIMERKKEJÄ KÄYTTÖKOHTEISTA JA HYÖTYKÄYTÖSTÄ
01 PET	Kirkas, kova, kemikaaleja kestävä	Virvoitusjuoma- ym. pullot, tekstiilit. Pullot voi palauttaa kauppojen automaatteihin.
02 PE-HD	Samea tai värillinen, joustava, vahamainen pinta	Mehupullot, ämpärit, virvoitusjuomakorit. Soveltuvat energiahyötykäyttöön. Eräillä paikkakunnilla on PE-HD-muovi-pakkausten kierrätyspisteitä.
03 PVC	Erittäin moni-muotoinen ja -piirteinen	Putket, letkut, rakennusmateriaalit. PVC-muovia ei saa polttaa eikä laittaa muovinkeräykseen.
04 PE-LD	Pehmeä, joustava, vahamainen pinta	Muovikassit, pussit, kalvot. Soveltuvat energiahyötykäyttöön. Pussit voi palauttaa muovipakkauskeräykseen tai kauppojen palautusautomaattien yhtey-dessä oleviin muovijätteen keräysastioihin.
05 PP	Jäykkä, sitkeä, hyvin moni-käyttöinen	Narut, rasiat, tekniset osat, kalvot, pehmusteet. Soveltuvat energiahyötykäyttöön.
06 PS	Lasin kirkas tai värjätty, hauras, vaahdotettu (EPS)	Rasiat, purkit, pehmusteet, eristeet. Soveltuvat energiahyötykäyttöön.
07 O	Kaikkien ylläolevien yhdistelmät ja muut materiaalit	Soveltuvat vain laitosmaiseen polttoon, joten tämän merkin sisältävien tuotteiden soveltuminen muualle kuin sekajätteeseen pitää tarkistaa paikalliselta jätehuollolta.

Kuva 1. Yleisempien muovien materiaaliluokitukset. (Muoviteollisuus ry, 2018)

2.2.1 Materiaalien arvovirrat ARVI-tutkimusohjelma

Vuonna 2014 Suomessa aloitettiin kolmevuotinen Materiaalien arvovirrat ARVI- tutkimusohjelma, jossa tutkittiin mm. muovien kierrätyksen tilannetta ja haasteita. Suomen ympäristökeskus SYKE koordinoi tutkimusohjelman muoviteemaa, jossa kehitetiin ja tutkittiin muovin kierrätystä siten, että ratkaisut tukevat kiertotaloutta, sekä minimoivat toiminnan turvallisuus-, ympäristö- ja terveysriskit. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 30)

Vuonna 2016 muoviteeman tutkimusryhmä julkaisi tutkimuksistaan raportin. Raportin mukaan muovijätteen määrä tulee Suomessa selvästi kasvamaan ja suurin osa muovijätteestä koostuu jatkossakin yritysten ja kotitalouksien muovipakkausjätteistä. Muovipakkausjätettä kierrätetään suhteellisesti eniten ja maatalousmuoveja kierrätetään parikymmentä prosenttia. Alatiheyksistä polyeteeniä PE-LD muovia kierrätetään eniten. (Materiaalien arvovirrat ARVI- tutkimusohjelma, 2016)

Raportissa on tutkittu uusia kierrätyskohteita uusiomuoveille. Muovien kierrätyksen suurimpia ongelmia ovat muovilaatujen valtaisa määrä, sekä kuluttajaperäisten muovien likaisuus. Muovia sisältävissä tuotteissa on myös usein vaarallisia ja/tai haitallisia aineita, joita ei pystytä riittävästi erottamaan tai jäljittämään. Lisäksi muoveihin voi myös sitoutua erilaisia aineita ympäristöstä. Suomalaisyritykset olisivat kiinnostuneita lisäämään uusiomuovin käyttöä tuotannossaan, mikäli uusiomuovit olisivat tasalaatuisia ja puhtaita. Taloudelliset kannustimet, sekä julkiset hankinnat voisivat lisätä kysyntää kierrätystuotteille. Uusiomuoveja käytetään Suomessa mm. pakkauksissa, maarakentamisessa, teollisuustuotteissa, sekä maataloudessa. (Materiaalien arvovirrat ARVI- tutkimusohjelma, 2016)

Raportissa tehtyjen tutkimusten mukaan, kierrätys on ympäristölle paras vaihtoehto, mikäli kierrätysmuovilla pystytään korvaamaan 70% tai enemmän neitseellisen muovin valmistuksesta. Alhaisemmilla korvaussuhteilla päästöt jäävät kierrätyksen aiheuttamia päästöjä pienemmiksi. Tarkasteluissa uusiomuovin oletetaan korvaavan neitseellistä muovia 1:1, mikä tarkoittaa, että tuotetun kierrätysmuovin oletetaan olevan hyvin korkealaatuista: hyvin lajiteltua muoveittain ja puhdasta. (Materiaalien arvovirrat ARVI- tutkimusohjelma, 2016)

Puhdistusta, sekä muita muovien kierrätysketjun prosesseja on kehitettävä siten, että voidaan varmistaa ketjun kokonaiskuormituksen pysyminen alhaisena ja kierrätyksen

pysyminen energiahyödyntämistä parempana vaihtoehtona. (Materiaalien arvovirrat ARVI- tutkimusohjelma, 2016)

2.2.2 Kiertotalouskylä

Suomessa Fortum Oyj on rakennuttanut Riihimäelle jätteenpolttolaitostensa ympärille jätteiden jalostamokokonaisuuden. Jalostamokokonaisuutta yhtiö kutsuu Kiertotalouskyläksi ja sen koeajot alkoivat vuonna 2016. Kiertotalouskylä koostuu kolmesta jalostamosta: ekojalostamosta, muovijalostamosta ja Gasum Biotehdas Oy:n biojalostamosta. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 54)

Ekojalostamoon tulleesta jätteestä erotellaan muovit, jotka menevät muovijalostamoon. Muovijätekappaleet, jotka ovat alle viisi senttisiä menevät biokaasulaitokseen, jossa ne puhdistetaan biojakeesta tai niistä valmistetaan kierrätyspolttoainetta. Suurin osa ekojalostamosta tulevasta muovijätteestä yhdistyy muovijalostamossa muualta tulleisiin muovijätteisiin. Muovijalostamoon syötetään kotitalouksista tulleiden muovijätteiden lisäksi muovijätettä, joka on peräisin maataloudesta ja teollisuudesta, sekä tuottajien keräämää kuluttajien muovipakkausjätettä. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 56)

Muovijalostamossa muovit erotellaan päävirtoihin käyttäen apuna useita lähi-infrapunaerotteluun perustuvia optisia erottimia. Päävirtoja ovat:

- Värikkäät kalvomuovit, jotka sisältävät venyvän kalvomuovin, joita ovat PE-LD ja PE-LLD
- Kovat muovit, joita ovat PE-HD ja PP
- PET-muovit
- Sekamuovit

Erottelijat lajittelevat muovit eri jakeisiin, jonka jälkeen muovit puhdistetaan pesuprosessissa. Pesuprosessin jälkeen PP-, PE-HD-, PE-LD- ja PE-LLD-jakeet ohjataan vielä ekstruuderiin, jossa muovit sulatetaan ja muutetaan granulaateiksi, joita voidaan myydä teollisuuden käyttöön. Jäljellä jäävät muovit muodostavat sekamuovijakeen, jonka Fortum käyttää omiin muovituotteisiinsa. Sekamuovia voidaan käyttää monissa sellaisissa kohteissa, joissa on yleensä käytetty puuta, kuten aidoissa, pylväissä, sekä maatalousrakenteissa. (Järvinen & Saarinen 2016, p. 56)

2.2.3 Euroopan unionin muovistrategia

Tammikuussa vuonna 2018 Euroopan unioni hyväksyi ensimmäisen koko Euroopan laajuisen muovistrategian. Muovistrategia on jatkoa vuoden 2015 laaditulle kiertotalouspaketille. Uuden strategian tavoitteita ovat:

- Tehdä kierrätyksestä kannattavaa yrityksille
- Vähentää muovijätteen määrää
- Lopettaa merten roskaaminen
- Edistää investointeja ja innovointia
- Kannustaa muutokseen kaikkialla maailmassa

Euroopan unionin suunnitelmissa on, että vuoteen 2030 mennessä kaikkien EU:n markkinoilla olevien muovipaikkausten on oltava kierrätettäviä. Lisäksi rajoitetaan mikromuovien tarkoituksellista käyttöä ja vähennetään kertakäyttöisten muovituotteiden kulutusta. (European commission, 2018)

Muovien kierrätykseen liittyviä ongelmia pyritään koko ajan kehittämään ja erilaisia ratkaisuja syntyy lisää kaiken aikaa. Suomen valtion omistaman Neste Oyj:n yhtenä ratkaisuna on valmistaa biopohjaisia muoveja ja korvata tavalliset muovit niillä. Yhtiö lupaa biopohjaisten muovien olevan täysin identtisiä perinteisten fossiilisista raaka-aineista tehtyjen muovien kanssa. Biopohjaiset muovit sitovat merkittävän määrän ilmakehän hiilidioksidia, mikä tekee varsinkin pitkäikäisissä sovelluksissa olevista biopohjaisista muoveista hyviä hiilinieluja. (Neste Oyj, 2017)

Toinen merkittävä ratkaisu on muuttaa fossiilisista raaka-aineista valmistettu muovi takaisin öljyksi. Esimerkiksi Pohjanmaan Hyötyjakelukeskus kertoo pystyvänsä muuttamaan muovin öljyksi kuivatislauksen eli pyrolyysin avulla. (Leader Pohjanmaa, 2017)

Myös Neste Oyj pyrkii valmistamaan polttoainetta jätemuovista. Yhtiö muuntaa muovin kemiallisessa kierrätyksessä kemianteollisuuden raaka-aineeksi. Raakaöljyä voidaan korvata kemianteollisuudessa nestemäisellä jätemuovilla, jossa jätemuovi jalostetaan kemikaaleiksi, uusiksi muoveiksi ja polttoaineiksi. (Neste Oyj, 2018)

2.2.4 Muovitiekartta Suomelle

Suomen ja maailman ensimmäinen muovitiekartta julkistettiin 16.10.2018. Muovitiekartan on laatinut ympäristöministeriön laajapohjainen yhteistyöryhmä asiantuntijasihteeristön tuella. Molemmissa ryhmissä oli edustajia eri ministeriöistä, tutkimuslaitoksista, järjestöistä ja elinkeinoelämästä. Lisäksi kuultiin suurta joukkoa sidosryhmiä ja kansalaisia. Tärkeintä muovitiekartan toteutuksessa kohti uutta ja kestävää muovitaloutta on yhteistyö yli toimialarajojen. (Muovitiekartta Suomelle, 2018.)

Muovitiekarttaan on koottu joukko keskeisiä toimija muovien aiheuttamien haasteiden ratkaisemiseksi. Näitä ovat mm. muovijätteen ja -roskan aiheuttamien haittojen vähentäminen, muovien talteenoton ja kierrätyksen tehostaminen sekä paremman tuotesuunnittelun edistäminen. Keskeisiä toimia ovat myös edellytysten luominen uusille kiertotalouden innovaatioille ja investoinneille sekä riippuvuuden vähentäminen fossiilisista raaka-aineista ja korvaavien biopohjaisten ja biohajoavien ratkaisujen lisääminen. (Muovitiekartta Suomelle, 2018.)

Tiekartta on askel kohti kestävämpää muovitaloutta, sitä ryhdytään toteuttamaan välittömästi. Toteutusta tehostamaan on muovitiekartan kolmelle päätoimelle nimetty toteuttajatahot ja yhteistyökumppanit. Muovitiekartan kolme päätoimea ovat: vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Kolme päätoimea sisältää kymmenen toimenpidekokonaisuutta:

1. Vähennetään roskaamista ja vältetään turhaa kuluttamista
2. Selvitetään muoviveron käyttöönotto
3. Tehostetaan merkittävästi muovijätteiden talteenottoa
4. Parannetaan muovijätteiden tunnistamista rakennuksissa sekä muovijätteen lajittelua rakennustyömailla
5. Tehostetaan maatalous- ja puutarhamuovien kierrätystä ja korvaamista
6. Otetaan talteenotetun muovin monipuoliset kierrätysratkaisut käyttöön
7. Panostetaan isosti korvaaviin ratkaisuihin ja perustetaan New plastics-osaamisverkosto
8. Nostetaan muovijätteet näkyvästi Suomen kansainväliselle asialistalle
9. Viedään osaamista ja ratkaisuja
10. Lisätään tutkimustietoa muovien haitallisista terveys- ja ympäristövaikutuksista

Osa toimista toteutuu vasta pitkällä aikavälillä ja osa edellyttää lisäresurssointeja. Toimien käynnistymistä ja etenemistä arvioidaan jo keväällä 2019. (Muovitiekartta Suomelle, 2018.)

2.2.5 Likaisen muovijätteen keräys ja kierto (LiMuKe) - hanke

LiMuKe on Uudenmaan liiton rahoittama ja Turun yliopiston Brahea-keskuksen, Hämeen ammattikorkeakoulun biotalous- ja ohutlevykeskuksen ja Turun ammattikorkeakoulun yhteistyönä toteuttama kehittämishanke. (Turun yliopisto, 2018)

Hankkeen tavoitteena on luoda monistettavia alueellisia malleja muovijätteen keräykseen ja keräyksen ja kierrätyksen tehostamiseen. Hankkeen lopputuloksena laaditaan ohje muovijätteen lajittelusta sen likaisuuden ja eri muovilajien ja -jakeiden mukaan. Oikealla lajittelulla muovijäteraaka-ainetta voidaan paremmin hyödyntää ja kierrätystyötä tehostaa. Lisäksi pyritään selvittämään käyttömahdollisuuksia ja eri muovilaatujen jatkojalostusmahdollisuuksia. (Turun yliopisto, 2018)

Hankkeen perusteella arvioidaan myös mahdollisuuksia luoda kiertotaloutta tukevaa yritystoimintaa ja uusia työpaikkoja sekä valmistaa uusia muovijätteeseen perustuvia tuotteita ja palveluita. (Turun yliopisto, 2018)

3 PAALIMUOVIN PROSESSOINTI

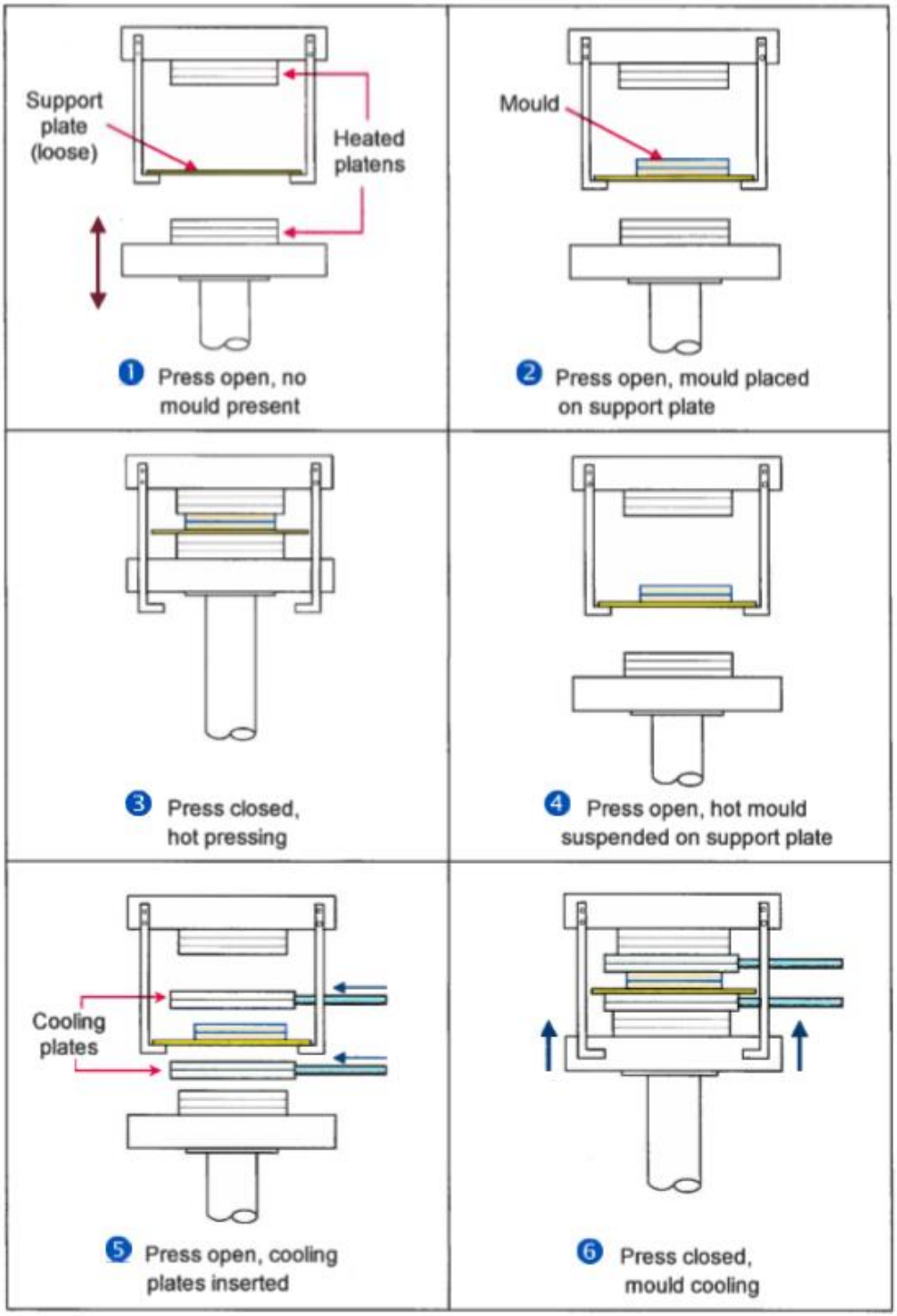
Valaminen on prosessi taipuisan materiaalin muotoilemiseksi käyttämällä yhtenäistä muottia luomaan identtisiä osia. Muottia käytetään helpottamaan osien muodostumista tämän prosessin sisällä. Muotti koostuu kiinteästä lohkosta, joka sisältää yhden tai useampia onteloita, jotka täytetään muovilla muodostamaan osan, joka sisältää muotin muodon. (William Andrew 2011, p. 197)

Muoviteollisuuden sisällä valaminen näyttelee merkittävää roolia. Valaminen ei ollut ainoastaan ensimmäinen käytettävissä oleva muovitekniikka, vaan se on luultavasti edelleen johtava tekniikka muoviprosessien joukossa. Valuprosessi koostuu useista osaprosesseista, mutta ruiskuvalu on ylivoimaisesti laajimmin käytetty valuprosessi muoviteollisuudessa. (William Andrew 2011, p. 197)

3.1 Prässäys

Prässäys on vanha massatuotantoprosessi muoveja varten. Tätä prosessia käytetään tyypillisesti kestomuoveissa, joiden käsittelyssä voidaan käyttää lämpöä. Materiaali sijoitetaan prässäystä varten suoraan muotin onteloon, jossa materiaali täyttää lämmön ja paineen avulla ontelon. Prässäyksen laitteisto on sijoitettu siten, että muotti avautuu ja sulkeutuu pystysuoraan, jotta muottiin laitettu materiaali ei pääse putoamaan pois ennen sulkemista (Kuva 2). (William Andrew 2011, p. 197-198)

Muottiin laitettu materiaali voi koostua perusmateriaalista tai pelletistä. Kummassakin tapauksessa muottiin laitetun materiaalin koko lasketaan kuitenkin ontelon tilavuuden mukaan jätteen minimoimiseksi. (William Andrew 2011, p. 198)



Kuva 2. Prässin toimintaperiaate. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 10)

3.1.1 Prässi LP-S-20

Scientificin LP-S-20 (kuva 2) on 20 tonnin voimainen yhdellä ylöspäin kohdistuvalla puristimella toimiva hydraulinen prässi, joka sisältää jäähdytysjärjestelmän. Prässissä on modernisti suunniteltu teräskaappi, jossa on kaareva liukuovi, sekä ohjauspaneeli. Ohjauspaneeli sijaitsee koneen oikealla puolella ja siinä on selkeä kosketusnäytöllinen näyttö. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 8)

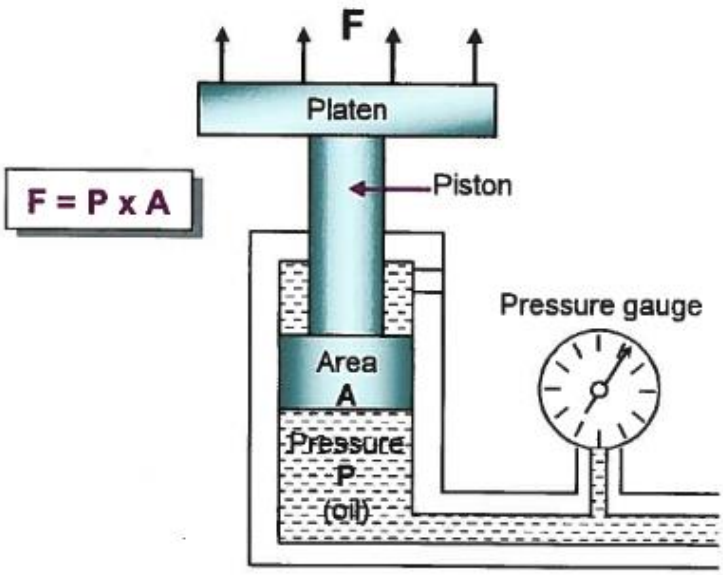
Kuva 3. Prässi Scientific LP-S-20.

Prässissä on täysin moottoroitu hydraulijärjestelmä, johon on upotettu kaksivaihteinen pumppujärjestelmä, mikä mahdollistaa prässin hiljaisen käytön. Pumput mahdollistavat puristimien kaksinopeuksisen toiminnan suurella sulkeutumisnopeudella alhaisessa paineessa ja alhaisen puristusnopeuden korkeassa paineessa. Prässissä oleva mäntä on kaksitoiminen, jotta se aukeaa siinä tapauksessa, että puristettava materiaali jää kiinni levyjen väliin. Prässin tekniset tiedot ovat esiteltynä taulukossa 1. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 8)

Taulukko 1. LP-S-20 tekniset tiedot. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 8)

Koneen tekniset tiedot	
Prässin kapasiteetti	20 tonnia
Levyn koko	200 x 200 mm
Rakenne	Erilliset lämmitys- ja jäähdytyslevyt
Maksimi levylämpötila	300 °C
Maksimi männän isku	165 mm
Levyn lämmitysteho	5.67 kW / levy
Maksimi hydrauliikkapaine	160 bar
Hydraulisen moottorin teho	1.5 kW
Laitteen mitat (Leveys x syvyys x korkeus)	120 x 83,5 x 160 cm

Prässin suurin sallittu puristusvoima on 20 000 kilogrammaa, eikä sitä saa ylittää. Ennen kuin prässiä käytetään täydellä paineella, männänpaine tulee asettaan alimpaan arvoon. Todellinen männänpaine, joka asetetaan tietylle muotille, riippuu muotissa käytettävästä puristusvoimasta. Painemittari kertoo öljyssä olevan paineen, mikä vaikuttaa männän päähän nostamalla mäntää ylöspäin paineen kasvaessa. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 33)



Kuva 4. Öljyssä olevan paineen vaikutus puristusvoimaan. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p.33)

Männän pään halkaisija on 125 mm eli alue A on 19,0 sq. in eli neliötuumaa. Joten puristusvoima F yksikössä lbf eli paunoissa on 19,0 neliötuumaa kertaa painemittarin lukema. Painemittarin yksikkö on psi eli paunaa neliötuumaa kohti. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 33)

Prässille voidaan laskea puristusvoima, jos paine tiedetään. Jos painemittarissa lukee esimerkiksi 1500 psi, prässin puristusvoima voidaan laskea kaavalla 1.

$$19\ sq.in\ \times 1500\ psi\ = 28\ 500\ lbf\ (= 12{,}95\ tonnin\ puristusvoima)$$

Kaava 1. Puristusvoiman laskeminen paineen avulla.

Painemittarin yksikkö voidaan myös kalibroida baareihin, jolloin 1 bar on 14,5 psi. Joten 1500 psi on 103,4 bar. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 34)

Jos tiedetään haluttu puristusvoima ja halutaan tietää, mikä lukema painemittarissa pitää olla, jotta saavutetaan esimerkiksi 10 000 kg puristusvoima, voidaan kyseinen arvo laskea kaavoilla 2 ja 3.

$$P \times 19\ sq.in = 10\ 000\ kg\ (22\ 046\ lb)$$

Kaava 2. Ensimmäinen vaihe määritettäessä paineen P suuruutta.

$$P = \frac{22\ 046\ lb}{19\ sq.\ in} = 1160\ psi\ (80\ bar)$$

Kaava 3. Toinen vaihe määritettäessä paineen P suuruutta.

Joten yksi tonni puristusvoimaa tarkoittaa painemittarissa lukemaa 116 psi tai 8 bar. Yksi tonni puristusvoimaa vastaa noin 9810 newtonia. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 34)

3.1.2 Prässi LP-S-20 toimintaperiaate

Laitteen käynnistämisen jälkeen prässiin laitetaan halutut arvot säätämällä laitteessa olevia säätimiä. Säädettäviä arvoja ovat lämpötila, paine, esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat, puoliskojen välien suuruus ja kaasunpoistomekanismi. Kun halutut arvot ovat asetettu, otetaan tukilevy, jonka päälle asetetaan muotti (Kuva 2 kohta 2) ja muotin sisälle laitetaan prässättäväksi haluttua materiaalia. Muotin ja materiaalin päälle asetetaan toinen tukilevy, jonka jälkeen koko rakennelma asetetaan prässiin sille suunnitellulle paikalle. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 8-44)

Rakennelman alapuolella oleva alapuristuslevy nousee ylöspäin (Kuva 2 kohta 3), mikä nostaa rakennelmaa ylöspäin kohti yläpuristuslevyä. Puristuslevyt puristavat ja kuumentavat muottia ja sen sisällä olevaa materiaalia halutuilla arvoilla, jonka jälkeen alapuristuslevy ja rakennelma palautuvat niiden alkuperäisille paikoilleen (Kuva 2 kohta 4). Rakennelman ylä- ja alapuolelle tulee sivulta jäähdytyslevyt (Kuva 2 kohta 5) ja alapuristuslevy nousee samalla tavalla, kuin lämmityspuristuksessa puristamaan rakennelmaa

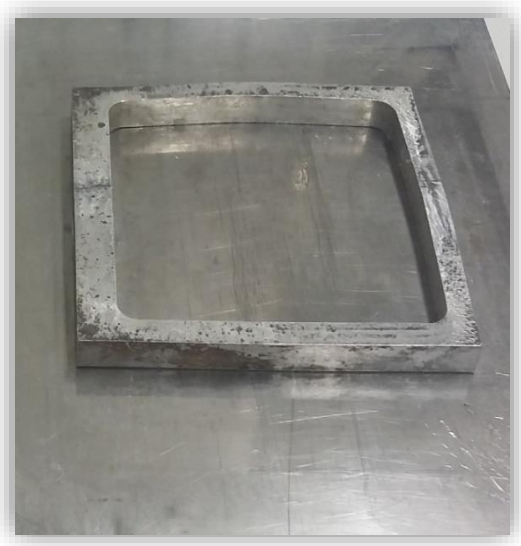
ja jäähdytyslevyt jäähdyttävät tuotetta halutun ajan (Kuva 2 kohta 6). Jäähdytyksen jälkeen rakennelma otetaan pois prässistä ja tukilevyt irrotetaan muotista. (Labtech Engineering Co., Ltd 2016, p. 8-44)

4 MAATALOUSMUOVIN PROSESSSOINTI JA TESTAUS

Työn tarkoituksena oli valmistaa hyviä näytekappaleita vetokokeita varten kolmesta erilaisesta kalvomuovista, jotka olivat käyttämätön polyeteeni eli PE-muovikalvo, puhdistettu PE-muovikalvo ja likainen PE-muovikalvo.

Ensimmäisissä prässäysajoissa oli tarkoitus määrittää optimaaliset parametrit halutulle muotille (kuva 5). Parametrejä olivat muovimassan määrä halutulle muotille, prässäyslämpötila, esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysaika. Samaisen muotin kanssa oltiin tehty jo aiemmin alustavia testiajoja, joista saatuja parametrejä hyödynnettiin näissä prässäyksissä. Prässäykset aloitettiin käyttämällä käyttämätöntä PE-muovikalvoa (kuva 6).

Kun optimaaliset parametrit oltiin määritetty ja taulukoitu (Liite 1), seuraavissa ajoissa oli tarkoitus valmistaa näytekappaleita vetokokeita varten (Liite 2). Lopuksi valmistettiin kappaleita palapelin palan muotoisesta muotista ja kokeiltiin, voiko kappaleen pinnalle prässätä liukkautta vähentävän kuvion.



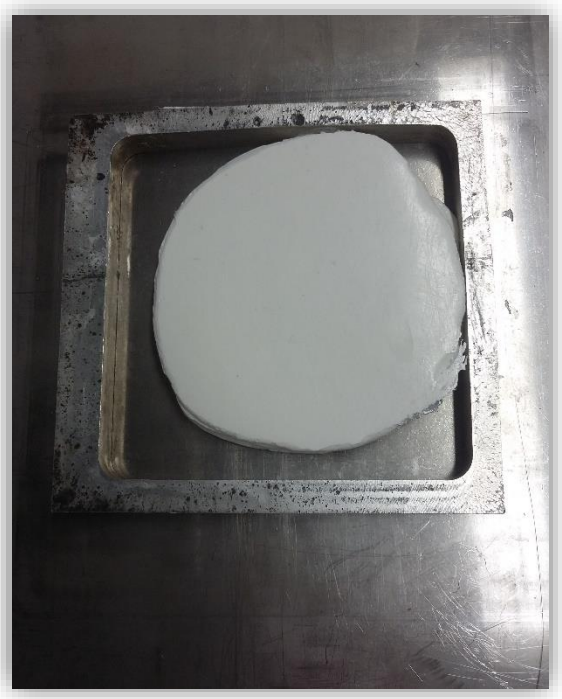
Kuva 5. Prässäyksissä käytetty muotti.

Muovikalvosta revittiin isoja palasia, jotka pyöritettiin yhdeksi palloksi. Yhden pallon paino oli keskimäärin noin 112 grammaa (kuva 6).

Kuva 6. Kuvassa vasemmalla on käyttämättömästä PE-muovikalvosta tehty muovipallo.

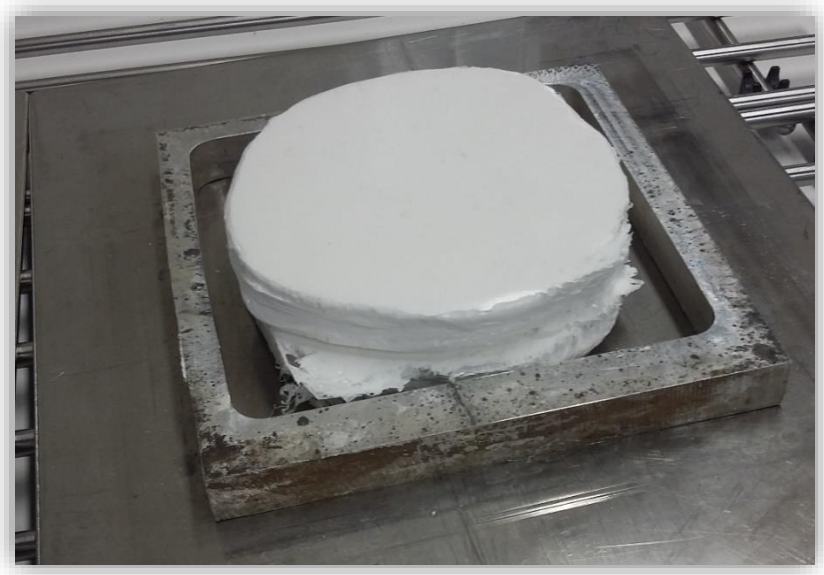
Valmistettu muovipallo laitettiin muotin sisälle, joka oli tukilevyn päällä (kuva 7). Muotin ja muovipallon päälle laitettiin toinen tukilevy ja rakennelma laitettiin prässiin ja prässättiin halutuilla arvoilla. Prässäyksen jälkeen tukilevy poistettiin muotin yläpuolelta (kuva 8).

Kuva 7. Muovipallo muotin sisällä sivusta kuvattuna.



Kuva 8. Ensimmäisen prässäyksen jälkeen syntynyt kappale muovipallosta ylhäältäpäin kuvattuna.

Kappale irrotettiin muotista ja samanlainen prässäys tehtiin toiselle muovipallolle. Saadut kappaleet laitettiin päällekkäin muottiin (kuva 9) ja ne prässättiin yhteen (kuva 10). Näissä prässäyksissä ei ole mahdollista valmistaa vain yhtä isoa muovipalloa, joka peittäisi massallaan koko muotin, koska muovipallosta tulisi niin iso ettei se mahtuisi prässättäessä muotin sisään.



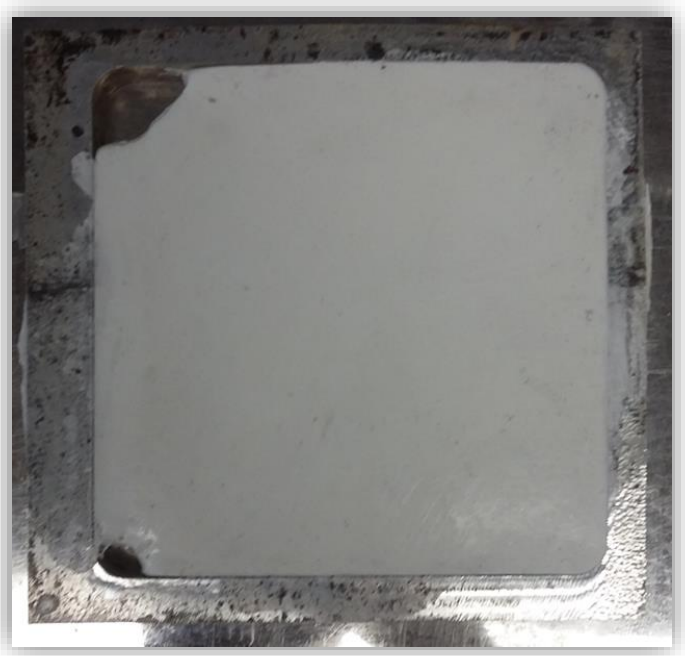
Kuva 9. Alkukappaleet laitettu päällekkäin muottiin yhteisprässäystä varten.

Kuva 10. Prässäyksen jälkeen syntynyt yhteiskappale muotin sisällä.

Saatu yhteiskappale irrotettiin muotista ja sen annettiin jäähtyä kunnolla. Jäähtynyttä kappaletta voitiin tutkia halutulla tavalla, kuten esimerkiksi sahaamalla palanen pois, että nähtiin, miltä kappale näytti sisältä päin.

4.1 Muovimassan määrittäminen halutulle muotille

Ensimmäisessä prässäyksessä käytettiin aiemmin saatuja parametrejä ja kokeiltiin riittääkö yhteismassaksi alle 200 grammaa muovikalvoa täyttämään muotti. Muotin sivujen mitat olivat 13 cm ja muotin paksuus oli 1,5 cm. Muotti jäi vajaaksi (kuva 11), joten muovin määrää lisättiin seuraaviin prässäyksiin.



Kuva 11. Vajaaksi jäänyt muotti.

4.2 Esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajan määrittäminen

Seuraavissa prässäyksissä määritettiin sopivia prässäysaikoja, jotta saataisiin valmistettua yhteiskappale, jossa erilliset kappaleet olisivat sulaneet täydellisesti yhteen. Näihin parametreihin oltiin saatu alustavat arvot aiempien tehtyjen prässäysten perusteella ja niistä lähdettiin liikkeelle. Arvot olivat yksittäiselle kappaleelle:

- Esilämmitysaika 30 sekuntia.
- Puristusaika 60 sekuntia.
- Jäähdytysaika 30 sekuntia.

Samaiset arvot kaksinkertaistettiin, kun alettiin prässäämään kahta yksittäistä kappaletta yhteiskappaleeksi. Saatujen tulosten perusteella kokeiltiin kaksinkertaistaa ajat jo yksittäiselle kappaleelle ja nelinkertaistaa ajat yhteiskappaleelle.

4.3 Lämpötilan määrittäminen

Seuraavissa prässäyksissä tutkittiin lämpötilan noston vaikutusta yhteiskappaleeseen, sillä kaksi erillistä kappaletta eivät olleet täysin sulaneet yhteen edellisien testien yhteisprässäyksissä. Tämän tutkimiseen valmistettiin 5 erillistä yhteiskappaletta siten, että jokaisen yhteiskappaleen valmistuksessa lämpötilaa nostettiin 5 astetta. Aloituslämpötila ensimmäisessä kappaleessa oli 170 astetta ja muut ajoarvot olivat samat, kuin aiemmissa ajoissa käytetyt aloitusarvot. Lämpötilaa nostettiin 190 asteeseen saakka.

Lopuksi kokeiltiin valmistaa kappale, jonka valmistuksessa käytetty lämpötila oli 190 astetta ja jonka yksittäisten kappaleiden esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat oltiin kaksinkertaistettu ja yhteiskappaleen ajat nelinkertaistettu.

Lisäksi samoissa ajoissa kokeiltiin toistettavuutta valmistaen kappale, jonka parametrit yksittäiselle kappaleelle olivat muuten samat, kuin edellisellä kappaleella, mutta lämpötila laskettiin takaisin 170 asteeseen.

4.4 Tehdyt näytekappaleet vetokokeita varten

Seuraavissa prässäyksissä valmistettiin saatujen tulosten perusteella kappaleita vetokokeita varten. Käytössä oli käyttämätöntä PE-muovikalvoa (kuva 6), puhdistettua PE-muovikalvoa (kuva 12) ja likaista PE-muovikalvoa (kuva 13). Kyseisistä muovikalvoista ei tiedetty, olivatko ne PE-LD vai PE-LLD, joten muovikalvoista käytettiin nimitystä PE. Likainen PE-muovikalvo oli paikoitellen hyvin kosteaa ja se päätettiin olla kuivattamatta, jotta voitiin tutkia, miten kosteus vaikuttaa prässäämisessä.

Kuva 12. Puhdistettua PE-muovikalvoa pieninä paloina jätesäkissä.

Kuva 13. Likaista PE-muovikalvoa laitettuna lattialle.

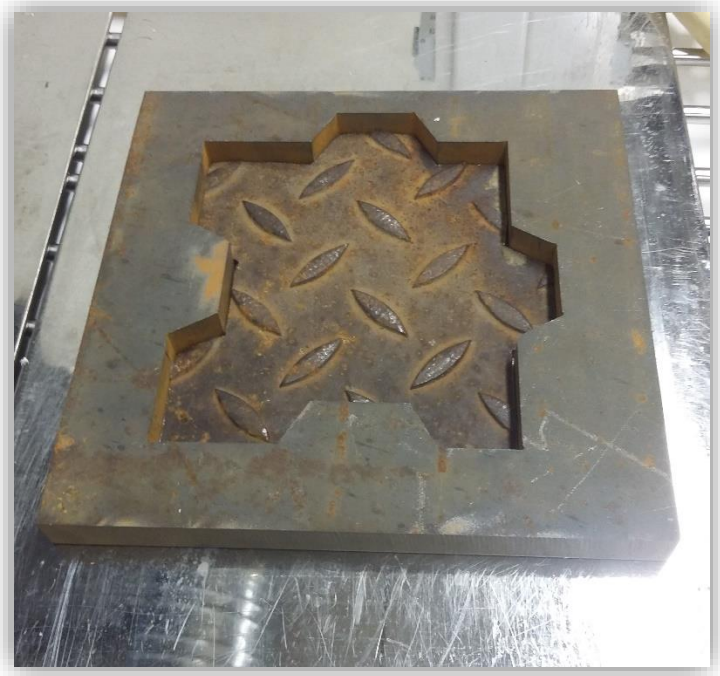
Tavoitteena oli valmistaa kustakin muovikalvosta viisi yhteiskappaletta, mutta ajanpuutteen vuoksi kappaleita onnistuttiin valmistamaan siten, että käyttämättömästä PE-muovikalvosta valmistettiin viisi kappaletta ja puhdistetusta ja likaisesta PE-muovikalvosta valmistettiin molemmista kolme yhteiskappaletta (kuva 14).

Kaikki yhteiskappaleet valmistettiin samalla tavalla muuten, mutta puhdistetusta PE-muovikalvosta valmistetut yhteiskappaleet valmistettiin kolmesta pienemmästä kappaleesta, eikä kahdesta. Puhdistetut muovikalvon palaset olivat niin pieniä, ettei niistä saatu pyöritettyä tarpeeksi pieniä muovipalloja muottiin.

Kuva 14. Yhteiskappaleet vetotestejä varten. Viisi ylintä valmistettu käyttämättömästä PE-muovikalvosta, kolme seuraavaa puhdistetusta PE-muovikalvosta ja kolme alinta likaisesta PE-muovikalvosta.

4.5 Kappaleiden valmistaminen palapelin palan muotoisesta muotista

Viimeisissä prässäyksissä oli tarkoitus valmistaa palapelin palan muotoisesta muotista (kuva 15) kappaleita ja tutkia, miten hyvin kappaleet irtoavat muotista. Muotin alaosaan ja alatukilevyn väliin lisättiin myös alusta, jossa oli kuvio. Alustan avulla kokeiltiin, millaisen jäljen se jättää kappaleeseen. Näissä kappaleissa käytettiin puhdistettua PE-muovikalvoa.



Kuva 15. Palapelin palan muotoinen muotti, johon on lisätty alusta, jossa oli kuvio.

Lopuissa prässäyksissä alusta poistettiin ja valmistettiin yhdeksän kappaletta palapelin palan muotoisia kappaleita ja tutkittiin, miten hyvin ne sopivat kiinni toisiinsa.

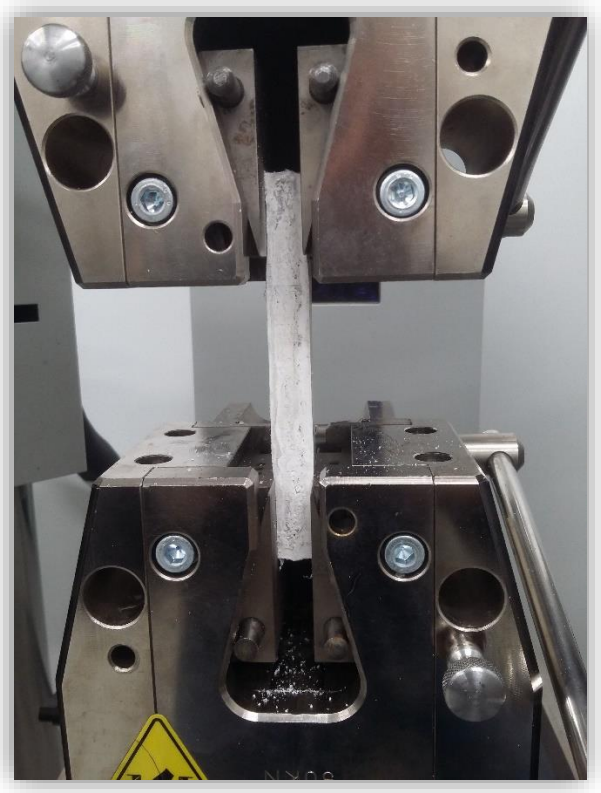
4.6 Vetokokeiden tekeminen kappaleille

Vetokokeissa käytettiin Zwick Roel Z050 vetokonetta (kuva 16). Koneen maksimivetovoima oli 50 kilonewtonia eli kN. Vetonopeutena käytettiin 100 millimetriä per minuutti eli mm/min ja alkumitta oli 70 mm.

Kuva 16. Zwick Roel Z050 vetokone.

Jokaisesta kappaleesta sahattiin palasia vetokokeita varten siten, että ensiksi sahattiin reunasta yhden senttimetrin levyinen palanen irti, jotta reuna olisi mahdollisimman tasainen. Sen jälkeen sahattiin kolme noin kahden senttimetrin levyisiä palasia irti ja palaset numeroitiin siten, että numero yksi oli lähimpänä reunaa ja numero kolme lähimpänä yhteiskappaleen keskustaa. Sahaamisessa käytettiin vannesahaa.

Jokaisesta yhteiskappaleesta otettiin kolme kappaletta vetokokeita varten ja kappaleiden tarkemmat dimensiot eli paksuudet ja leveydet mitattiin työntömitalla ennen vetokokeiden tekoa. Jokainen kappale asetettiin vuoron perään vetokoneeseen puristimien väliin (Kuva 17).



Kuva 17. Kappale laitettu vetokoneeseen puristiemien väliin.

Jokaisesta vetokokeesta kirjattiin ylös kappaleen murtovoima newtoneissa ja kappaleen murtovenymä millimetreissä.

5 TULOKSET

Prässäyksissä määritettiin ensiksi optimaaliset parametrit halutulle muotille kyseisellä menetelmällä. Muuttuvat parametrit olivat muovimassan määrä halutulle muotille, prässäyslämpötila, esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysaika. Valmistettujen kappaleiden tiedot ovat kirjattu liitteeseen 1.

Seuraavaksi valmistettiin näytekappaleita vetokokeita varten. Näytekappaleille tehtiin vetokokeita, sekä tarkasteltiin niiden visuaalista laatua. Vetokokeista saadut tulokset ovat kirjattu liitteeseen 2.

Lopuissa prässäyksissä valmistettiin näytekappaleita muotilla, joka oli palapelin palan muotoinen.

5.1 Optimaalisen muovimassan määrä halutulle muotille

Optimaalisen muovimassan määrä muotille, jonka sivujen mitat olivat 13,0 cm ja paksuus 1,5 cm, oli noin 220 grammaa. Massan määrä vaihteli hieman jokaisessa kappaleessa, mutta aina, kun massan määrä ylitti 220 grammaa, muotti täyttyi kokonaan ja muotin reunoilta saattoi tulla muovimassaa hieman yli. Sopivan massan määrään vaikutti myös, kuinka tiiviiksi muovipallot oltiin saatu pyöritettyä sillä, mitä vähemmän ilmaa oli yksittäisten kappaleiden sisällä, sitä enemmän muovia mahtui yhteiskappaleeseen.

5.2 Optimaalisen esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajan määrä

Optimaalisen esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajan määrityksessä todettiin, että yksittäiset kappaleet sulivat parhaiten yhteen, kun ajat olivat mahdollisimman suuret. Suurimpina arvoina kokeiltiin yksittäiselle kappaleelle esilämmitys- ja jäähdytysaikana 60 sekuntia ja puristusaikana 120 sekuntia ja yhteiskappaleelle esilämmitys- ja jäähdytysaikana 120 sekuntia ja puristusaikana 240 sekuntia.

Kuva 18. Kappaleesta leikattu noin 3 cm palanen irti visuaalista tutkimista varten. Esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat olivat tässä kappaleessa alkuperäiset.

Kuva 19. Kappaleesta leikattiin noin 3 cm palanen irti visuaalista tutkimista varten. Kappaleen esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat ovat mahdollisimman suuret.

Kuvista 18 ja 19 huomataan, että kuvassa 19 kappaleen keskellä olevia halkeamia on vähemmän, kuin kuvassa 18 olevassa kappaleessa.

5.3 Optimaalisen lämpötilan määritys

Lämpötilan nostaminen lyhyemmillä esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajoilla ei tuottanut yhteiskappaleiden valmistuksessa merkittäviä muutoksia (Kuva 20), mutta visuaalisesti paras kappale saatiin, kun lämpötila oli 190 astetta ja esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat olivat mahdollisimman suuret (Kuva 21).

Mitä korkeampi lämpötila, esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat olivat, sitä lujemmin kappaleet jäivät kiinni tukilevyjen pintaan. Tämän seurauksena prässäyksissä alettiin

käyttämään apuna teflonpinnoitettua lasikuitukangasta, joka esti kappaleiden kiinnittymisen tukilevyn pintaa (Kuva 22).

Kuva 20. Viisi yhteiskappaletta päällekkäin siten, että ylimpänä on 170 asteella tehty yhteiskappale ja alimpana 190 asteella tehty kappale.

Kuva 21. Ylempänä yhteiskappale, jonka lämpötila oli 170 astetta ja alempana 190 asteella tehty yhteiskappale.

Kuva 22. Kappaleiden valmistuksessa alettiin käyttämään teflonpinnoitettua lasikuitukangasta (PTFE-LASIK.KANGAS, EA-105) apuna, mikä esti kappaleen tarttumisen tukilevyn pintaan.

5.4 Muita parametrejä

Prässissä käytettiin esilämmityksen ja puristuksen välissä kaasujenpoistomekanismia, jonka prässi teki kaksi kertaa ja niiden ajat olivat viisi sekuntia. Näiden poistokertojen määrää lisättiin, sillä kokeiltiin saisiko yksittäisten kappaleiden sisällä olevaa ilmaa puristettua pois. Tarkoituksena oli saada kappaleesta tiiviimpi, jotta ilmakuplia ei olisi niin paljon yhteiskappaleissa. Kokeilussa kuitenkin todettiin, että tällä tavalla ilmanpoisto ei tehostunut.

Prässin puristusvoimana näissä prässäyksissä pidettiin 160 kN, sillä se oltiin laitettu prässiin jo valmiiksi ja todettiin, että se riittää hyvin myös näiden kappaleiden valmistamiseen.

Prässissä oli myös mahdollista vaihtaa puoliskojen välien suuruutta. Tämä tarkoitti sitä väliä, mikä puristuslevyillä on toisiinsa nähden, kun esilämmitys on käynnissä. Tässä pidettiin samaa arvoa 27 mm koko ajan, sillä siinä arvossa kappale lämpeni hyvin ja kappale oli pienessä puristuksessa.

5.5 Vetokokeisiin tehdyt kappaleet

Vetokokeita varten tehdyt kappaleet olivat massaltaan hyvin saman suuruisia, kun valmistettiin käyttämättömästä PE-muovikalvosta ja puhdistetusta PE-muovikalvosta yhteiskappaleita, mutta likaisesta PE-muovikalvosta valmistetut kappaleet menettivät valmistuksessa jopa 20 grammaa yhteispainostaan (Taulukko 2). Likainen PE-muovikalvo oli paikoitellen hyvin kosteaa, joten kappaleesta lähti painoa pois, kun sitä prässättiin ja osa kappaleessa olevasta vedestä haihtui pois. Painon menetyksistä huolimatta, muotti täyttyi kokonaan yhteiskappaleita valmistettaessa ja yhteensä 11 kappaleen valmistaminen onnistui (Kuva 14).

Taulukko 2. Yhteiskappaleilla tehdyt parametrit. Massat ovat keskiarvoja.

	Lämpötila (°C)	Massa (g)	Esilämmitys (s)	Puristus (s)	Jäähdytys (s)
Käyttämätön PE	190	222	120	240	120
Puhdistettu PE	190	219	120	240	120
Likainen PE	190	199	120	240	120

Kappaleita sahattaessa huomattiin, että varsinkin käyttämättömän PE-muovikalvosta tehdyissä yhteiskappaleissa reunoilla oli paljon ilmakuplia (Kuva 23). Tätä ei oltu huomattu edellisissä sahauksissa, sillä nyt ensimmäisessä sahauksessa sahattiin vain noin sentin levyinen pala pois kappaleesta ja juuri siinä välissä suurimmat ilmakuplat olivat. Sahattaessa noin kahden sentin levyisiä paloja vetokokeita varten huomattiin, että keskemmällä yhteiskappaletta ilmakuplien määrä oli hyvin pieni (Kuva 24).

Kuva 23. Kuva kolmesta yhteiskappaleesta, kun noin sentti oltiin sahattu pois. Ylimpänä on käyttämättömästä, keskellä puhdistetusta ja alimpana likaisesta PE-muovikalvosta tehty yhteiskappale.

Kuva 24. Kuva kolmesta yhteiskappaleesta, kun oltiin lähempänä kappaleen keskustaa. Ylimpänä on käyttämättömästä, keskellä puhdistetusta ja alimpana likaisesta PE-muovikalvosta tehty yhteiskappale.

5.6 Vetokokeiden tulokset

Vetokokeissa tarkasteltiin enemmän murtovoiman suuruutta, kuin murtovenymän suuruutta. Murtovenymän suuruus vaihteli suuresti ja sen määrää oli vaikea määrittää, sillä

murtovenymän suuruus saattoi kasvaa, vaikka kappaleen murtumispiste oltiin jo saavutettu (Kuva 25). Joidenkin kappaleiden murtovenymä oli todella suuri, mutta niiden murtovoiman suuruus ei eronnut merkittävästi toisista kappaleista (Kuva 26). Murtovenymien keskiarvosta pystyttiin toteamaan kuitenkin se, että käyttämättömällä PE-muovikalvolla murtovenymä oli reilusti suurempi, kuin puhdistetulla tai likaisella PE-muovikalvolla (Taulukko 3).

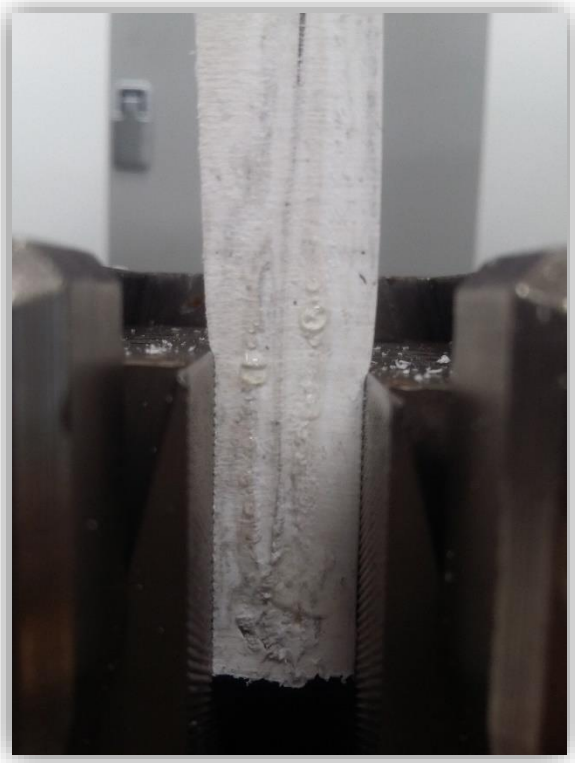
Taulukko 3. Keskiarvot vetokokeista saaduista tuloksista (Liite 2).

Laatu	**Murtovoima (N)**	**Murtovenymä (mm)**	**Murtolujuus ($N/mm^{2)}$)**	**Murtovenymä (%)**
Käyttämätön	2048,3	126,9	7,1	183,3
Puhdistettu	1988,9	40,2	6,8	57,4
Likainen	1815,8	73,5	6,2	105,1

Kuva 25. Kuva kappaleesta, jonka murtumispiste oltiin jo saavutettu.

Kuva 26. Kuva kappaleesta, jonka venymä oli todella suuri.

Murtovoiman suuruus ei keskimääräisesti vaihdellut hirveästi eri muovikalvoista valmistetuilla kappaleilla. Keskimääräisesti murtovoiman suuruus oli noin 2000 N. Keskimääräisesti murtovoiman suurus laski hieman siirryttäessä käyttämättömästä PE-muovikalvosta ensin puhdistettuun ja sitten likaiseen PE-muovikalvoon (Taulukko 3.) Merkillepantavin huomio oli, että likaisesta PE-muovikalvosta valmistettu yhteiskappale, joka oli valmistuksessaan menettänyt eniten painoa veden haihtumisen johdosta, omisti myös reilusti pienimmät murtovoiman arvot. Kyseisen kappaleen sisältä puristui vettä ulos vetokokeiden aikana (Kuva 27). Osa vedestä ei ollut päässyt haihtumaan yhteiskappaleen valmistuksessa vaan vesi oli jäänyt ja varastoitunut kappaleen sisälle.



Kuva 27. Likaisesta PE-muovista valmistettu kappale, joka puristuessaan muodosti vesipisaroita.

Yhteiskappaleen murtovoiman suuruus noudatti käyttämättömällä PE-muovikalvolla ja likaisella PE-muovikalvolla samaa kaavaa kasvamalla siirryttäessä yhteiskappaleen reunalta yhteiskappaleen keskustaa kohti. Puhdistetun PE-muovikalvon kohdalla kävi puolestaan niin, että mitä keskemmälle yhteiskappaletta mentiin, sitä pienempi murtovoima suuruus oli.

Verrattaessa tuloksia muiden tekemiin testeihin tai muihin ominaisuusarvoihin, saadut murtovoima-arvot tulisi muuttaa murtolujuudeksi. Murtolujuus ei ole riippuvainen näytteen dimensioista ja sen yksikkönä käytetään megapascaleita eli MPa, joka on N/mm^2. Tällöin sahatutuista yhteiskappaleista saadut murtovoima-arvot jaettaisiin sahattujen palojen poikkipinta-alalla, joka on palan leveys kertaa palan paksuus (Kaava 4).

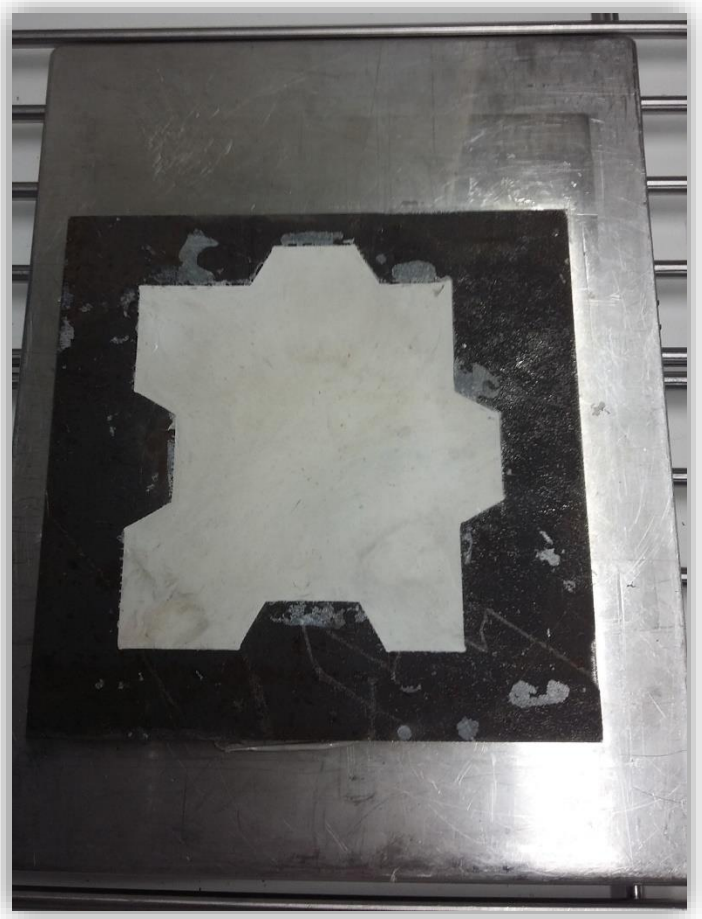
Kaava 4. Yhteiskappaleiden murtovoima-arvon muuttaminen murtolujuudeksi.

$$\frac{2000\ N}{(19\ mm\ \times 15\ mm)} = 7{,}0\ MPa$$

Prässäyksellä tehtyjen kappaleiden lujuudet olivat siis noin seitsemän megapascalin luokkaa. Ruiskuvalulla ja ekstruusiolla tehtyjen PE-tuotteiden lujuudet ovat keskimäärin 20 – 40 MPa. (Materials Data Book, 2003, p.12)

5.7 Palapelin palan muotoisen kappaleen valmistus käyttäen apuna alustaa, joka antoi kuvion kappaleelle

Palapelin palan muotoisen kappaleen valmistus kuvion antavalla alustalla onnistui odotusten mukaan heti ensimmäisellä prässäyksellä. Muovimassan määrää pienennettiin, sillä palapelin palan muotoinen muotti oli kooltaan pienempi, kuin edellisissä prässäyksissä käytetty muotti. Lisäksi kuvion antava alusta pienensi muotin tilavuutta. Muotti täyttyi kokonaan (Kuva 28) ja yhteiskappale irtosi hyvin kuvion antavasta alustasta, sillä alustan ja muovin väliin laitettiin teflonpinnoitettua lasikuitukangasta. Teflonpinnoitettu lasikuitukangas ei kuitenkaan estänyt kuvion muodostumista yhteiskappaleen pinnalle (Kuva 29).



Kuva 28. Kuva yhteiskappaleesta muotin sisällä. Muotti täyttyi kokonaan.

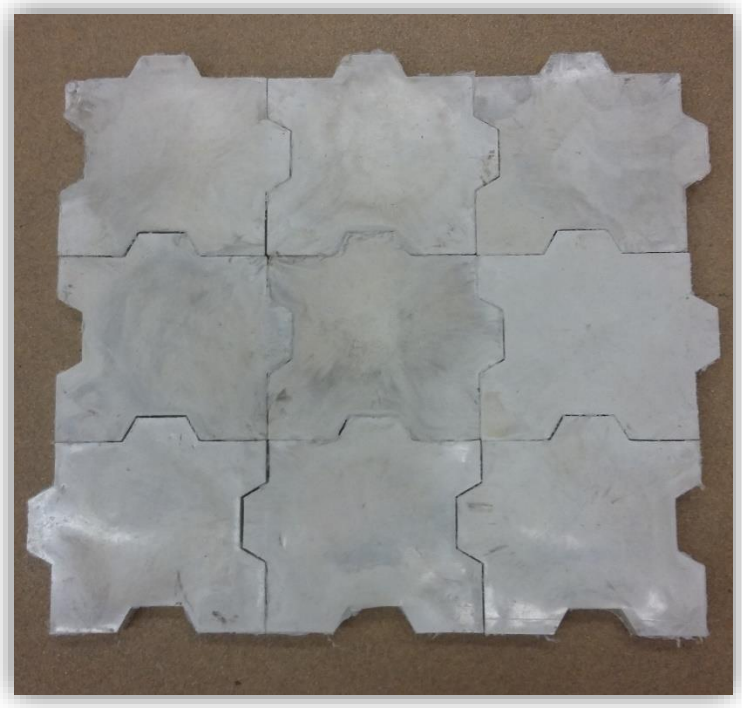
Kuva 29. Yhteiskappale poistettu muotista. Reunojen ruskea väri johtuu muotissa olleesta ruosteesta. Seuraavissa kappaleissa ruostetta ei enää ollut.

5.8 Palapelin palan muotoisen kappaleen valmistus ilman kuviota antavaa alustaa

Tarkoituksena oli valmistaa yhdeksän kappaletta palapelin palan muotoista muottia hyödyntäen. Parametrit olivat: lämpötila 170 ºC, esilämmitysaika 30 s, puristusaika 60 s, jäähdytysaika 30 s ja muovia muottiin mahtui keskimäärin 186 grammaa.

Ensimmäisessä yhteiskappaleen prässäyksessä muovimassan määrä oli liian pieni, joten seuraaviin kappaleisiin lisättiin muovimassan määrää ja saatiin valmistettua yhdeksän yhteiskappaletta, joissa jokaisessa muotti täyttyi kokonaan (Kuva 30). Kun yhteiskappaleet oltiin valmistettu, yhteiskappaleita kokeiltiin yhdistellä toisiinsa (Kuva 31).

Kuva 30. Kuva yhteiskappaleesta, joka on poistettu muotista.



Kuva 31. Yhdeksästä yhteiskappaleesta muodostettu kuvio.

Kuten kuvasta 31 huomataan, palapelin palan muotilla valmistetut yhteiskappaleet sopivat hyvin kiinni toisiinsa. Lopputulokseksi saatiin yhteiskappaleista koottua isompi kuvio. Yhteiskappaleita voitaisiin yhdistää toisiinsa niin paljon kuin niitä tarvitaan.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tutkimuksen tarkoituksena oli testata tiloilta kerätyn paalimuovijätteen uusiokäyttömahdollisuuksia ja hyödynnettävyyttä materiaalina. Vastaavalla tavalla tehdystä tutkimuksesta ei ainakaan löytynyt tietoa kirjallisuudesta tai internetistä. Tutkimusmenetelmänä käytetiin prässäämistä LP-S-20 prässillä.

Testaus aloitettiin käyttämättömästä PE-muovikalvosta tehdyn muovipallon prässäämisellä. Näin saatiin määriteltyä tällä testausmenetelmällä optimaaliset parametrit käytettävälle muoville, kuten muovimassan määrä kyseiselle muotille, prässäyslämpötila, esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysajat. Sama toistettiin puhtaalla ja likaisella paalimuovilla.

Optimaalisten parametrien saavuttamiseksi prässäyskertoja toistettiin ja parametrejä vaihdettiin lukuisia kertoja. Korkeampi lämpötila ei yksinään vaikuttanut toivotulla tavalla, mutta lämpötilan nostaminen sekä esilämmitys-, puristus- ja jäähdytysaikojen nostaminen yhdessä vaikuttivat positiivisella tavalla kappaleen valmistukseen. Lopputuloksena saatiin yhtenäinen työstettävä muovikappale, jota voitiin tutkia visuaalisesti ja jonka mekaanisia ominaisuuksia voitiin testata.

Prosessin eri vaiheissa sopivien parametrien määrittämisen lisäksi ongelmina olivat mm. muovikalvojen väliin jäävä ilma ja yksittäisten kappaleiden tarttuminen toisiinsa yhteiskappaleita tehtäessä. Vetokokeiden perusteella muovijätteestä valmistetut kappaleet eivät suuresti eronneet käyttämättömästä muovikalvosta valmistetuista kappaleista. Likaisuus ja kosteus eivät merkittävästi vaikuttaneet muovijätteen prosessointiin, mutta muovijätteeseen jäänyt vesi heikensi kappaleen lujuutta. Prässäyksessä osa vedestä haihtui, mikä pienensi kappaleen oletettua massaa. Veden haihtumisesta huolimatta muotti saattoi täyttyä kokonaan, mutta pienemmän massan takia kappale ei ollut niin tiheää, kuin olisi voinut olla.

Prässäämällä palapelin palan muotoisella muotilla saatiin yhteiskappaleita, joita voi työstää ja koota, kuin palapelin paloja isommiksi kokonaisuuksiksi, jolloin niitä voisi hyötykäyttää eri tarkoituksissa. Vaikka kappaleiden lujuus oli pienempi verrattuna muilla tavoilla valmistettuihin tuotteisiin, valmistettuja kappaleita voitaisiin käyttää esimerkiksi lattiamateriaalina varsinkin, jos alla olisi esimerkiksi betonilattia tukemassa kappaleita.

Testien perusteella prässäys soveltuu kierrätysmuovien prosessointimenetelmäksi. Teollisessa tuotannossa kappaleita ei välttämättä valmistettaisi samalla tavalla, kuin tässä opinnäytetyössä valmistettuja kappaleita. Ihannetilanne olisi, jos likaista muovia voitaisiin syöttää esikäsittelylaitteeseen, joka rikkoisi muovikalvon ja sulattaisi sen ja sulaa muovimassaa voitaisiin syöttää suoraan muottiin, jossa se prässättäisiin halutun muotoiseksi. Tällä menettelyllä vältyttäisiin ongelmilta, joita opinnäytetyössä ilmeni, kuten kappaleen sisällä olevia ilmakuplia tai yksittäisten kappaleiden sulamattomuutta yhteen. Tällainen menetelmä ei kuitenkaan ole vielä mahdollista muovikalvolle, joka on hyvin likaista. Jos muovikalvo sulatetaan vasta prässätessä, esikäsittelyä pitää kehittää siten, että muovia voitaisiin laittaa muotteihin muuten kuin muovipalloina.

Haasteena paalimuovijätteen kierrättämiselle ja materiaalihyödynnettävyydelle on luoda valtakunnalliset ohjeet muovijätteen keräämisestä ja käsittelystä jo tiloilla, jotta se olisi laadullisesti helposti hyödynnettävissä ja kierrätys kannattavaa muutenkin, kuin energiana. Lisäksi tarvitaan toimivat ja kohtuuhintaiset kierrätysjärjestelmät, jotka kattavat koko maan.

LÄHTEET

Järvinen, P. & Saarinen E. 2016. *Muovien kierrätys ja hyötykäyttö Suomessa.* Porvoo: Bookwell Oy.

Ympäristöministeriö, 2018. *Kysymyksiä ja vastauksia muoveista*. [Online] Available at: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Muovit/Kysymyksia_ja_vastauksia_muoveista(46356) [Haettu 20 8 2018]

Muoviteollisuus ry, 2018. *Muovien kierrätys*. [Online] Available at: https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit_ja_ymparisto/muovien_kierratys/ [Haettu 20 8 2018]

Materiaalien arvovirrat ARVI- tutkimusohjelma, 2016. *Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet.* [Online] Available at: http://www.syke.fi/download/noname/%7B5903968F-2B4E-4BEA-BC45-099C7D210D36%7D/117935 [Haettu 27 8 2018]

European commission, 2018. *Muovijäte: Eurooppalainen strategia maapallon, kansalaisten ja yritysten hyväksi.* [Online] Available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_fi.htm [Haettu 31 8 2018]

Neste Oyj, 2017. *Neste biomuoviratkaisu.* [Online] Available at: https://www.neste.com/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-kemikaalit/neste-biomuovit [Haettu 31 8 2018]

Leader Pohjanmaa, 2017. *Laihialla Muovijäte muuttuu pian öljyksi.* [Online] Available at: https://leaderpohjanmaa.fi/laihialla-muovijate-muuttuu-pian-oljyksi/ [Haettu 31 8 2018]

Neste Oyj, 2018. *Polttoainetta jätemuovista.* [Online] Available at: https://www.neste.com/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuotteet/polttoainetta-jatemuovista [Haettu 31 8 2018]

Labtech Engineering Co., Ltd. 2016. *Instruction manual for Scientific laboratory press LP-S-20 with insert cooling.* Thailand: Labtech Engeneering Co., Ltd.

William Andrew. 2011. *Applied Plastics Engineering Handbook : Processing and Materials*. Edited by Myer Kutz.

Turun yliopisto, 2018. *Likaisen muovijätteen keräys ja kierto (LiMuKe) – hankesuunnitelma 1.1.2016–31.12.2018.* [Online] Available at: https://www.utu.fi/fi/yksikot/braheadevelopment/palvelut/maaseutuhankkeet/Sivut/limuke.aspx [Haettu 18 11 2018]

Etelä-Savon ympäristökeskus, Pohjois-Savon ympäristökeskus, Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. 2009. *Itä-Suomen jätesuunnitelma vuoteen 2016*. Joensuu: Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.

Muovitiekartta Suomelle, 2018. *Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa. Muovitiekartta Suomelle.* [Online] Available at: http://www.ym.fi/download/noname/%7BB270324C-70A1-4830-AD7E-80AF12399C81%7D/140742 [Haettu 6 12 2018]

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

Kurri, P., Malèn T., Sandell, R. & Virtanen M. 1999. *Muovitekniikan perusteet*. Helsinki: Hakapaino Oy.

Järvinen, P. 2017. *Muovit ja muovituotteiden valmistus.* Porvoo: Bookwell Oy.

Materials Data Book, 2003. *Materials Data Book.* Cambridge University Engineering Department.

Muovien prässäykset

Muotti 1: 13 cm per sivu ja paksuus 1,51 cm.
Muotti 2: 18 cm per sivu ja paksuus 0,5 cm.
Muotti 3: Palapelin palan muotoinen.

Yhteiskappaleen massa on lopullisen tuotteen massa. Esimerkiksi 1 ja 2 massa 199 g tarkoittaa, että se massa oli yhteiskappaleella prässäyksen jälkeen.

Kappale	Lämpötila (°C)	Massa (g)	Esilämmitys (s)	Puristus (s)	Jäähdytys (s)	Puristusvoima (kN)	Puoliskojen välit (mm)	Huomautukset
6.11.2018. Massan määritys. Käyttämätön PE-muovikalvo.								
1	170	100	30	60	30	160	27	
2	170	100	30	60	30	160	27	
1 ja 2	170	199	60	120	30	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti jäi vajaaksi. Jäähdytys 30 s, vaikka piti olla 60 s.
3	170	111	30	60	30	160	27	
4	170	118	30	60	30	160	27	Kappale 4 näytti pinta-alaltaan pienemmältä, kuin kappale 3, vaikka massaa oli enemmän. Tiiviimmin pakkautunut?
3 ja 4	170	226	60	120	60	160	27	3 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
5	170	115	60	120	60	160	27	Puristusajat tuplattu.
6	170	115	60	120	60	160	27	
5 ja 6	170	228	120	240	120	160	27	Puristusajat tuplattu. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta tuli paljon yli.
7	170	89	30	60	30	160	27	Muotti 2. Muotti liikkuu herkästi prässin sisällä.
8	170	110	30	60	30	160	27	Muotti 2. Muotti liikkuu herkästi prässin sisällä.

7 ja 8	170	119	60	120	30	160	27	Muotti 2. Ajo epäonnistui, koska muovia pursusi reilusti yli muotin. Massalle täytyy olla paljon tarkempi arvo. Muotti liian iso präs-sille? Muotti 2 ei oteta käyttöön.
13.11.2018. Lämpötilan määritys ja puristusajan lisäys. Käyttämätön PE-muovikalvo.								
9	170	117	30	60	60	160	27	Jäähdytys 60 s.
10	170	110	30	60	60	160	27	Jäähdytys 60 s.
9 ja 10	170	226	60	120	60	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
11	175	110	30	60	30	160	27	Jäähdytys 30 s ja lämpötilan nosto 175 ^{o}C
12	175	118	30	60	30	160	27	
11 ja 12	175	228	60	120	60	160	27	Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
13	180	117	30	60	30	160	27	Lämpötilan nosto 180 ^{o}C.
14	180	110	30	60	30	160	27	
13 ja 14	180	224	60	120	60	160	27	Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
15	185	111	30	60	30	160	27	Lämpötilan nosto 185 ^{o}C.
16	185	117	30	60	30	160	27	
15 ja 16	185	227	60	120	60	160	27	Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
17	190	116	30	60	30	160	27	Lämpötilan nosto 190 ^{o}C.
18	190	112	30	60	30	160	27	
17 ja 18	190	228	60	120	60	160	27	Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
19	170	110	60	120	60	160	27	Lämpötilan nosto 170 ^{o}C. Puristusajat tuplattiin.
20	170	118	60	120	60	160	27	
19 ja 20	170	228	120	240	120	160	27	Puristusajat tuplattiin. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
21	190	110	60	120	60	160	27	Lämpötilan nosto 190 ^{o}C.

22	190	117	60	120	60	160	27	
21 ja 22	190	226	120	240	120	160	27	Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta paljon yli.
20.11.2018. Viiden kappaleen tekeminen vetokokeita varten. Käyttämätön PE-muovikalvo.								
23	190	112	60	120	60	160	27	
24	190	113	60	120	60	160	27	
23 ja 24	190	224	120	240	120	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
25	190	110	60	120	60	160	27	
26	190	115	60	120	60	160	27	Kappale oli vähän pehmeämpi kuin kappale 25.
25 ja 26	190	224	120	240	120	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
27	190	113	60	120	60	160	27	
28	190	110	60	120	60	160	27	
27 ja 28	190	222	120	240	120	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
29	190	113	60	120	60	160	27	
30	190	110	60	120	60	160	27	
29 ja 30	190	221	120	240	120	160	27	2 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
31	190	111	60	120	60	160	27	
32	190	113	60	120	60	160	27	
31 ja 32	190	221	120	240	120	160	27	2 grammaa hävikkiä.
21.11.2018. Kolmen kappaleen tekeminen vetokokeita varten. Puhdistettu PE-muovikalvo.								
33	190	93	60	120	60	160	27	Muovi oli pieninä paloina, joten niiden kääriminen palloksi oli vaikeampaa. Kappale oli juuttunut tosi kovaa kiinni tukilevyn pintaan. Kappale oli hyvin pehmeä ja ilmava.

34	190	85	60	120	60	160	27	Kokeiltiin laittaa teflonpinnoitettu lasikuitukangasta alalevyn päälle, ettei muovi tarttuisi niin kovaa levyn pintaan.
35	190	49	60	120	60	160	27	Yhteiskappale tehdään kolmesta palasta, joten kolmas pallo oli pienempi massaltaan.
33 ja 34 ja 35	190	223	120	240	120	160	27	4 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli. Kappale irtosi hyvin teflonpinnoitetun lasikuitukankaan ansiosta.3
36	190	87	60	120	60	160	27	
37	190	82	60	120	60	160	27	
38	190	51	60	120	60	160	27	
36 ja 37 ja 38	190	215	120	240	120	160	27	5 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
39	190	68	60	120	60	160	27	
40	190	78	60	120	60	160	27	
41	190	76	60	120	60	160	27	
39 ja 40 ja 41	190	218	120	240	120	160	27	4 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
21.11.2018. Kolmen kappaleen tekeminen vetokokeita varten. Likainen PE-muovikalvo.								
42	190	113	60	120	60	160	27	Kappale näytti tiiviimmältä kuin puhdistetusta muovista valmistetut kappaleet. Kappaleen ympärille oli kerääntynyt kosteutta prässäyksen jälkeen.
43	190	106	60	120	60	160	27	
42 ja 43	190	193	120	240	120	160	27	26 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli. Kun tuotetta oltiin prässätty neljä minuuttia, purkautui tuotteesta kovat paineet ulos ja kappale jäi isommaksi kuin muotin koko, mutta palautui muotin muotoon, kun jäähdytys oli ohi.

44	190	103	60	120	60	160	27	
45	190	119	60	120	60	160	27	
44 ja 45	190	201	120	240	120	160	27	21 grammaa hävikkiä. Sama juttu kuin yhteis-kappaleella 42 ja 43.
46	190	116	60	120	60	160	27	Kappale ei ollut niin märkä kuin edelliset.
47	190	101	60	120	60	160	27	Kappale ei ollut niin märkä kuin edelliset.
46 ja 47	190	214	120	240	120	160	27	3 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
27.11.2018. Kokeillaan valmistaa eri muotilla kappaleita. Muotti on palapelin palan muotoinen. Kappaleita tehtiin 9 kpl. Puhdistettu PE-muovikalvo.								
48	190	76	60	120	60	160	27	
49	190	46	60	120	60	160	27	
48 ja 49	190	116	120	240	120	160	27	6 grammaa hävikkiä. Käytettiin alalevyä, jossa oli kuvio. Levy vähensi muotin tila-vuutta.
50	190	76	60	120	60	160	27	
51	170	74	30	60	30	160	27	Koska kyse on vain visuaalisesta näöstä, ajo-arvot palautettiin alkuperäisiin.
50 ja 51	170	150	60	120	60	160	27	Poistettiin kuvion antava levy, joka vapautti tilaa muottiin. Muotti jäi vajaaksi.
52	170	92	30	60	30	160	27	
53	170	92	30	60	30	160	27	
52 ja 53	170	184	60	120	60	160	27	Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
54	170	90	30	60	30	160	27	Gramma hävikkiä.
55	170	90	30	60	30	160	27	
54 ja 55	170	179	60	120	60	160	27	
56	170	90	30	60	30	160	27	
57	170	90	30	60	30	160	27	
56 ja 57	170	180	60	120	60	160	27	Kappale jäi vajaaksi, joten muovia lisättiin ja prässättiin uudestaan. Muotti täyttyi koko-naan.

58	170	94	30	60	30	160	27	
59	170	93	30	60	30	160	27	
58 ja 59	170	191	60	120	60	160	27	6 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan.
60	170	96	30	60	30	160	27	
61	170	90	30	60	30	160	27	
60 ja 61	170	186	60	120	60	160	27	Kappale jäi hieman vajaaksi yhdestä kulmasta. Ei vaikuta visuaaliseen tutkimukseen.
62	170	95	30	60	30	160	27	
63	170	94	30	60	30	160	27	
62 ja 63	170	188	60	120	60	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan.
64	170	94	30	60	30	160	27	
65	170	99	30	60	30	160	27	
64 ja 65	170	192	60	120	60	160	27	Gramma hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
66	170	93	30	60	30	160	27	
67	170	96	30	60	30	160	27	
66 ja 67	170	187	60	120	60	160	27	2 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.
68	170	96	30	60	30	160	27	
69	170	95	30	60	30	160	27	
68 ja 69	170	189	60	120	60	160	27	2 grammaa hävikkiä. Muotti täyttyi kokonaan ja reunoilta vähän yli.

Kappaleille tehtyjen vetokokeiden tulokset

Alkumitta: 70 mm.
Vetonopeus: 100 mm/min.

Kappale	Näytteen paksuus (mm)	Näytteen leveys (mm)	Murtovoima (N)	Murtovenymä (mm)	Murtolujuus (N/mm^2)	Murtovenymä (%)	Huomioita
			Käyttämätön PE-muovikalvo:				
23 ja 24							
1 testi	15,6	18,6	1907,2	46,1	6,6	65,9	
2 testi	15,6	19,6	2147,1	172,5	7,0	246,4	
3 testi	15,5	19,3	2215,2	28,6	7,4	40.9	
Keskiarvo	**15,6**	**19,2**	**2089,8**	**82,4**	**7,0**	**117,7**	
25 ja 26							
1	15,2	18,9	1927,7	109,3	6,7	156,1	
2	15,4	18,5	1998,1	237,3	7,0	339,0	
3	15,6	18,7	2280,2	48,5	7,8	69,3	
Keskiarvo	**15,4**	**18,7**	**2068,7**	**131,7**	**7,2**	**188,1**	
27 ja 28							
1	15,6	19	1891,3	43,7	6,4	62,4	
2	15,5	18,3	2203,3	330,2	7,8	471,7	
3	15,4	18,4	2005,2	34,1	7,1	48,7	
Keskiarvo	**15,5**	**18,6**	**2033,3**	**136,0**	**7,1**	**194,3**	
29 ja 30							
1	15,2	18,5	2090,2	305,2	7,4	436,0	
2	15,3	18,6	1858,6	53,9	6,5	77,0	
3	15,5	18,6	1934,8	37	6,7	52,9	
Keskiarvo	**15,3**	**18,6**	**1961,2**	**132,0**	**6,9**	**188,6**	
31 ja 32							

1	15,4	18,3	2001,7	359,7	7,1	513,9	
2	15,4	18,4	2075,8	35,8	7,3	51,1	
3	15,5	18,4	2187,7	61,5	7,7	87,9	
Keskiarvo	**15,4**	**18,4**	**2088,4**	**152,3**	**7,4**	**217,6**	
			Puhdistettu PE-muovikalvo:				
33 ja 34 ja 35							
1	15,5	18,8	2186,3	63,9	7,5	91,3	
2	15,5	18,8	2145,4	41,4	7,4	59,1	
3	15,7	18,8	1994,4	23,4	6,8	33,4	
Keskiarvo	**15,6**	**18,8**	**2108,7**	**42,9**	**7,2**	**61,3**	
36 ja 37 ja 38							
1	15,6	18,7	2121	63,7	7,3	91,0	
2	15,7	18,7	1901,9	29,8	6,5	42,6	
3	15,7	18,7	1801,1	23,7	6,1	33,9	Keskeltä löytyi kalvoa.
Keskiarvo	**15,7**	**18,7**	**1941,3**	**39,1**	**6,6**	**55,8**	
39 ja 40 ja 41							
1	15,7	18,6	2154,1	60,1	7,4	85,9	
2	15,7	18,6	2028,1	34,9	6,9	49,9	
3	15,7	18,7	1568	20,5	5,3	29,3	
Keskiarvo	**15,7**	**18,6**	**1916,7**	**38,5**	**6,6**	**55,0**	
			Likainen PE-muovikalvo:				
42 ja 43							
1	15,6	18,6	1647,7	48,9	5,7	69,9	
2	15,6	18,7	1698,4	44	5,8	62,9	
3	15,5	18,8	1791,1	33,7	6,1	48,1	Vesipisaroita tuli kappaleen vä-listä.

Keskiarvo	**15,6**	**18,7**	**1712,4**	**42,2**	**5,9**	**60,3**
44 ja 45						
1	15,5	18,9	1587,3	29,8	5,4	42,6
2	15,6	18,7	1842,4	34,9	6,3	49,9
3	15,6	18,8	1933,4	38,1	6,6	54,4
Keskiarvo	**15,57**	**18,8**	**1787,7**	**34,3**	**6,1**	**49,0**
46 ja 47						
1	15,6	18,8	1992,5	362,2	6,8	517,4
2	15,6	18,7	1769,2	28,6	6,1	40,9
3	15,6	18,9	2080,1	41,7	7,1	59,6
Keskiarvo	**15,6**	**18,8**	**1947,3**	**144,2**	**6,6**	**206,0**