

Arto Korhonen, Jukka Tulonen, Simo Paukkunen

# **Kierrätetystä maatalous- muovista tehdyn raaka-aineen ominaisuudet**



Julkaisusarja

Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu C: Raportteja, 138

Tekijät

Arto Korhonen, Karelia-ammattikorkeakoulu  
Jukka Tulonen, Karelia-ammattikorkeakoulu  
Simo Paukkunen, Karelia-ammattikorkeakoulu

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu



Tämä julkaisu on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiMuutoksia 2.0 Kansainvälinen -lisenssillä.

ISBN 978-952-275-426-4

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2024

CIRCWASTE – Kohti kiertotaloutta -hanke



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND

# Sisällys

1 Johdanto .....	5
2 Testauksen lähtökohta .....	6
3 Yleistä polyeteenistä.....	7
4 Testauksen lähtötiedot.....	9
4.1 Materiaalin kosteuden määrittäminen.....	9
4.2 Materiaalin tunnistaminen IR-spektrianalyysillä .....	9
4.3 Aistinvaraiset havainnot .....	10
5 Ruiskuvalaminen.....	11
6 Vetokoe .....	12
7 Sulaindeksin mittaus.....	17
8 Iskukoe.....	18
9 DSC-analyysi.....	19
10 Tiheyden määrittäminen.....	20
10.1 Energiasisältö .....	20
11 Maatalouskierrätysmuovin ominaisuuksia .....	21
12 Komposiittimateriaali kierrätysmuovista .....	22
12.1 Komposiittitesti kierrätysmuovi lisättynä kuitua 15 p-% .....	23
12.2 Komposiittitesti kierrätysmuovi lisättynä kuitua 25 p-%.....	26
12.3 Komposiittitesti kierrätysmuovi lisättynä kuitua 50 p-%.....	29
12.4 Komposiitin kimmokertoimet .....	32
12.5 Iskunkestävyyden testaus .....	33
12.6 Komposiittimateriaalin sulaindeksi .....	35
12.7 Komposiittimateriaalikoe .....	35
13 Komposiittimuovituotteen kustannukset.....	37
13.1 Muovin markkinahinta.....	38
13.2 Kierrätysmuovin markkinahinta.....	39
13.3 Kierrätysmuovin hinnan muodostuminen.....	39
13.4 Muovien hintakehitys.....	40

13.5 Kierrätysmuovin markkinatilanne maailmalla .....	41
13.6 Kuidun hintakehitys .....	42
13.7 Ruiskuvaluprosessin hinta .....	44
14 Yhteenveto .....	46
Lähteet.....	48
Liitteet.....	49
Liite 1. FT-IR Spektri	
Liite 2. DSC-analyysikäyrä	
Liite 3. Polttoaineiden lämpöarvoja	

# 1 Johdanto

Karelia-ammattikorkeakoulu oli hankekumppanina CIRCWASTE-Finland -kiertotalous-hankkeessa, joka toteutettiin 2016–2023. Hankkeen tavoitteena oli luotsata Suomea kohti kiertotaloutta ja toteuttaa valtakunnallista jätesuunnitelmaa. CIRCWASTE oli 20 kumppanin ja 10 osarahoittajan kokonaisuus, jonka koordinaattorina toimii Suomen ympäristökeskus. Hanke saa suuren osan rahoituksesta Euroopan komission LIFE-ohjelmasta.

Karelialla oli hankkeessa toteutusvastuu kahdesta osahankkeesta. Tavoitteena oli saada selville Pohjois-Karjalan maakunnan alueen potentiaali tuottaa PE-LLD jätemuovia mahdollisen maakunnallisen jatkojalostajan tarpeisiin. Tavoitteena oli myös tutkia millä edellytyksin maakunnallinen jätemuovin jatkojalostaminen (granulointi ja tuotteiden tekeminen esim. ruiskuvalamalla) olisi taloudellisesti järkevää. Samalla tutkittiin jätemuovin muovin laatua ja soveltuvuutta jatkojalostukseen. Hankkeen toimenpiteenä oli myös selvittää miten tehokkaasti tai tehottomasti hankkeen toiminta-aikana Pohjois-Karjalassa maatalouden jätemuovia PE-LLD kerätään talteen ja mikä on tällaisen jätelajin kerääminen tulevaisuus.

Tässä raportissa tarkastellaan kierrätetyn maatalousmuovin ominaisuuksia ja sen soveltuvuutta erilaisiin käyttötarkoituksiin verrattuna neitseelliseen muoviin. Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida näiden ominaisuuksien merkitystä tulevalle käytölle. Tutkimusmateriaali koostui pääasiassa PE-LDD jätemuovista ja sitä käsiteltiin testaustarkoituksiin varten. Jätemuovista valmistettiin granulaatteja (=rakeita), ja granulaateista valmistettiin ruiskuvalamalla standardin mukaisia testisauvoja, joita analysoitiin fyysisten, mekaanisten, kovuus-, lämpö- ja energiatietojen sekä tuotantokustannusten arvioimiseksi. Lisäksi tehtiin komposiittitestejä lisäämällä kierrätettyyn muoviin puukuitua, jotta voitiin arvioida mahdollisia uusia sovelluksia polttamisen lisäksi. Tutkimuksessa verrattiin myös kierrätetyn muovin kustannusrakennetta neitseelliseen muoviin. Muovin markkinatilannetiedot ovat vuodelta 2018, jolloin tutkimus toteutettiin.

Karelia-ammattikorkeakoulu tuotti CIRCWASTE-Finland -kiertotalous-hankkeessa useita raportteja ja tutkimusselvityksiä. Tämän raportin lisäksi Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisusarjassa on ilmestynyt seitsemästä tiiviimmistä raportista koottu julkaisu [Maatalouden jätemuovit kiertotaloudessa: CIRCWASTE-Finland -hankkeen selvityksiä](#) (Paukunen, S. (toim.) 2024).

## 2 Testauksen lähtökohta

Tässä raportissa kuvatun testauksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia ominaisuuksia kierrätysmuovilla on verrattuna neitseelliseen muoviin ja arvioida niiden merkityksellisyttä jatkokäytön kannalta.

Raaka-aineena on maataloilta kerättyä muovia, jota on käytetty pääasiassa heinä- ja rehupaalien käärimiseen, sekä rehusilojen aumamuoveina. Muovi on oletusarvoisesti pääasiassa LLDPE:tä.

Muovi on käsitelty Pohjanmaan muovikeräys Oy:n Lieksan tuotantolaitoksella, joka sittemmin on lakkauttanut toimintansa. Kierrätysmuovi on murskattu, pesty, kuivattu ja raaka-aineesta on sitten valmistettu granulaatteja. Granulaatit on analysoitu Karelia-ammattikorkeakoulun tiloissa. Granulaateille tehtiin koesarja ja näytteet analysoitiin Karelia-ammattikorkeakoulun muovitekniikan laboratoriossa ja UEF:n kemian laitoksella Joensuussa.

Granulaateista valmistettiin testisauvoja ruiskuvalukoneella ja samalla varmistettiin, että kierrätysmuovi on ruiskuvalukelpoista. Testauksessa selvitettiin muovin fyysisiä ominaisuuksia, mekaanisia ominaisuuksia, kovuutta, lämpöominaisuuksia ja energiasäiltöä.

Jatkotestauksessa kierrätysmuoviin sekoitettiin kuitua erilaisia määriä ja selvitettiin miten kuidun lisääminen muuttaa materiaalin ominaisuuksia ja tuoko se uusia käyttömahdollisuuksia kierrätysmuoville polttamisen rinnalle. Lisäksi selvitettiin kierrätysmuovin kustannusrakennetta verrattuna neitseellisen muovin käyttöön.

# 3 Yleistä polyeteenistä

Polyeteeni on yksi tavallisimmista valmistettavista muoveista. Polyeteeni on valtamuovi, jota tehdään maailmalla vuosittain yli 60 miljoonaa tonnia. Polyeteenistä käytetään lyhennettä PE, joka tulee englanninkielisistä sanoista polyethylene tai polyethene. Markkinoille polyetyleni on tullut ensimmäisen kerran vuonna 1939 englantilaisen kemian konsernin tekemänä. [6]

Polyeteeni on edullista valmistaa ja se kestää hyvin erilaisia kemikaaleja. Polyeteeniä voidaan myös käyttää hyväksyttynä erilaisissa elintarvikepakkauksissa. Polyeteeni imee vähän kosteutta ja kestää hyvin iskuja alhaisissa lämpötiloissa. Muovia voidaan värjätä helposti, mutta se on hankalasti maalattavissa. Huonoina puolina polyeteenissä on jäykkyys ja vetolujuus. Lisäksi se kestää huonosti lämpöä ja UV-valoa. [6]

Polyeteeni jaotellaan eri tyyppisiin ominaispainon ja polymeerien ominaisuuksien perusteella. Polyeteeni tyypit ovat UHMWPE (Ultra high molecular weight) HDPE (high density), MDPE (medium density), LLDPE (linear low density), LDPE (low density) ja PEX (cross linked). [1] [6]

Polyeteeni on paljon käytetty valtamuovi ja siten se myös aiheuttaa suurimman osan muovin aiheuttamasta roskaantumisesta maailmalla. Polyeteeniä voidaan kierrättää materiaalina uusiin tuotteisiin tai käyttää sitä polttoaineena. Polyeteeniä voidaan hallituissa oloissa polttaa ja sen energiasisältö on öljyn kanssa samalla tasolla. [2] [4] [5] [6] [7]

Polyeteenityyppi, kiteisyysaste ja polyeteenin sivuhaarojen määrä ratkaisevat millaiset mekaaniset ominaisuudet muovilla on. Ominaisuuksia voidaan muuttaa käyttötarkoitukseen sopiviksi erilaisia lisäaineita lisäämällä kuten esimerkiksi polaarisia monomeerejä kopolymeroimalla. Menetelmällä voidaan valmistaa kaikenlaisia tuotteita pehmeistä tahmeisiin ja kovakuorisiin iskunkestäviin tai sitkeisiin kalvoihin. Esimerkiksi EVA kopolymeerillä on yleisesti käytetty lisäaine haluttujen ominaisuuksien aikaansaamiseksi. [1]

HDPE:n käyttökohteita ovat esimerkiksi ruiskuvalaminen, muottipuhallus, kalvopuhallus, rotaatiovalu ja ekstruusio. [1] [6] LDPE:n käyttötarkoituksia ovat pääasiassa kalvopuhallus ja ekstruusio. Käyttökohteita ovat esimerkiksi säiliöt, kalvot ja muovikassit. [1] [6] LLDPE:tä käytetään pääasiassa kalvopuhallukseen ja LDPE:stä tehtyjen kalvojen sitkeyden parantamiseen. Käyttökohteita ovat esimerkiksi kaapelien suojaukset, ämpärit, kalvot ja pakkaukset. [1] [6]

Materiaalin kierrätyksessä käytetään seuraavia tunnuksia:



[6]



# 4 Testauksen lähtötiedot

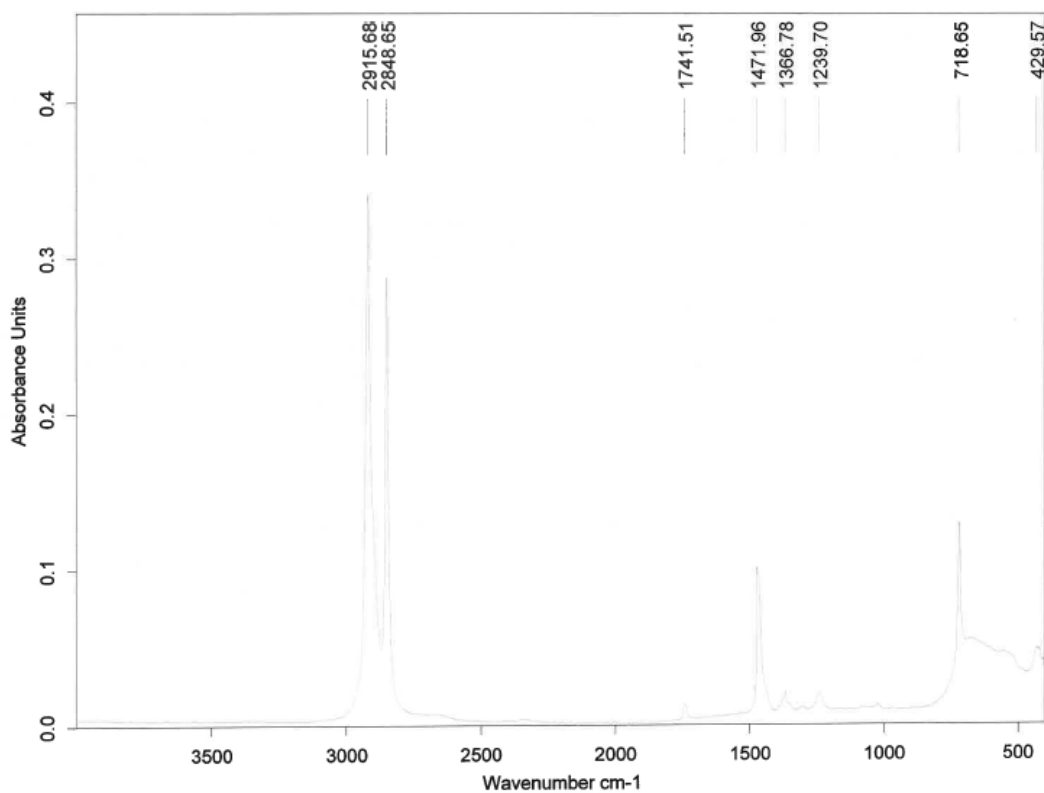
## 4.1 Materiaalin kosteuden määrittäminen

Testattavien granulaattien kosteus määritettiin Precisa Series XM335 Model XM50 kosteusanalysointilaitteella. Laitteen tarkkuus on 0,01 %. Varastossa olevien granulaattien lähtökosteudeksi määritettiin 0,47%.

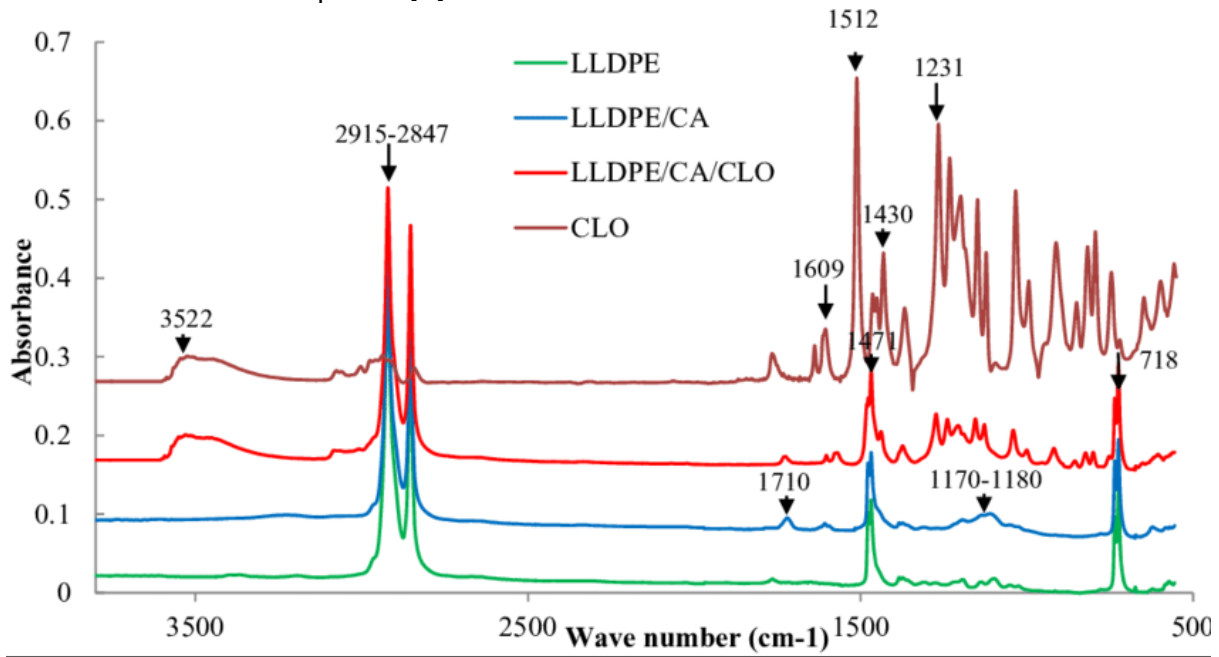
## 4.2 Materiaalin tunnistaminen IR-spektrianalyysillä

Materiaalinäytteet lähetettiin UEF:n kemian laboratorioon IR-spektrianalyysiin, jossa selvitettiin mitä materiaalia testinäytteet sisältävät. Analyysin perusteella kyseessä on polyeteeni ja tarkemmin LLDPE.

Taulukko 1. Kierrätysmuovin FI-IR Spektri



Taulukko 2. LLDPE:n IR-Spektrit [3]



### 4.3 Aistinvaraiset havainnot

Granulaattien väri on harmaa, joka johtunee alkuperäiseen valkoiseen muoviin sekoituneista muista aineista. Ulkoisena haittana on kierrätysmuovin hajuhaitta, joka voi olla peräisin alkuperäisen käyttötarkoituksen jäämistä maataloudesta tai kierrätysmuovin käsittelystä pesu- ja granulointiprosessissa.

## 5 Ruiskuvalaminen

Ruiskuvalaminen tehtiin Engel ES200/75 HL perinteisellä ruiskuvalukoneella. Koneessa sulaa kestumuovia puristetaan paineella muottiin, jossa esine jäähtyessään jähmettyy muotin muotoiseksi. Jäähdytymisen nopeuttamiseksi muotti on vesijäähdytetty. Valmistus-  
tussyklin nopeus vaihtelee kappaleen koon mukaan ollen muutamasta kymmenestä sekunnista joihinkin minuutteihin. Paksuseinäisiä kappaleita joudutaan jäähdyttämään pidempään. Muotti on suunniteltu siten, että kappale irtoaa muotin auetessa. Valmis kappale putoaa muotin alla olevaan laatikkoon. Ruiskuvalettua muovikappaletta katsottaessa on usein nähtävissä muotin sauma, ruiskutuskohta ja seinämien pieni päästö siihen suuntaan, johon kappale poistuu.

Ruiskuvalamalla valmistettiin testisauvoja kierrätysmuovista. Samalla tutkittiin, että miten muovi käyttäytyy ruiskuvalamisessa. Prosessilämpötilana käytettiin 220 °C. Todennäköisesti prosessissa olisi voinut käyttää noin 10 °C matalampaakin lämpötilaa ja lopputulos olisi ollut yhtä hyvä. Muovi toimi ruiskuvalukoneessa hyvin, eikä prosessissa ilmennyt mitään ongelmia tai normaalia poikkeavaa verrattuna uuden muovin puristamiseen.

Kuva 1. Ruiskuvalukone Engel ES200/75 HL



Kuva 2. Kierrätysmuovista ruiskuvalettu testisauva



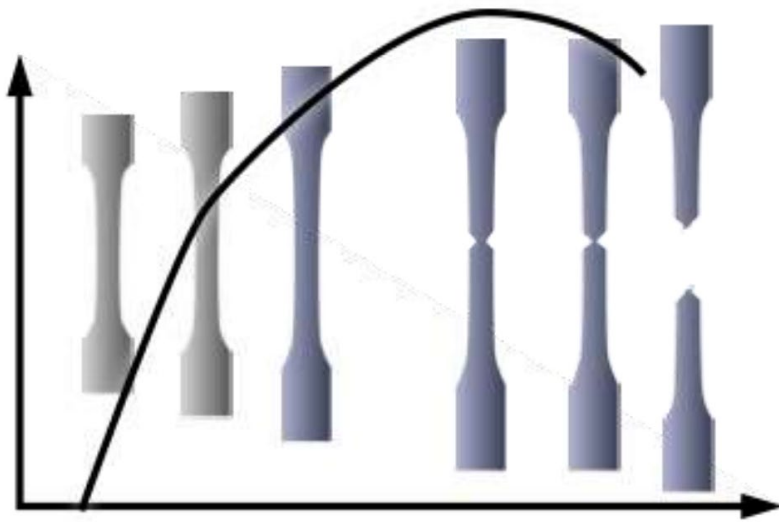
## 6 Vetokoe

Vetokoe tehtiin käyttäen Instron 3367 on aineenkoeistuslaitteistoa. Vetokokeessa määritettiin kierrätysmuovista kimmokerroin ja vetolujuus. Vetotestissä käytettiin testaamiseen ja analysointiin BlueHill-ohjelmistoa. Koeistusohjelman parametreinä vetotestissä käytettiin arvoja, joilla koesauvaa vedettiin 50 mm/min ja kokonaisvetomatka oli 200 mm. Vetokokeessa käytettiin ruiskuvalamalla valmistettuja vetosauvoja, joiden oli annettu tasaantua vuorokauden verran valuprosessin jälkeen. Vetokokeet tehtiin huoneenlämmössä (+23°C), jääkaappilämpötilassa (+5°C) ja pakastettuna (-20°C). Testikappaleet käyttäytyivät samalla tavalla kuin neitseellisetkin muovit. Kierrätysmuovi ei mennyt poikki missään lämpötilassa ja näytteet reagoivat lämpötilan muutokseen samalla tavalla kuin kalvomuvit normaalisti käyttäytyvät.

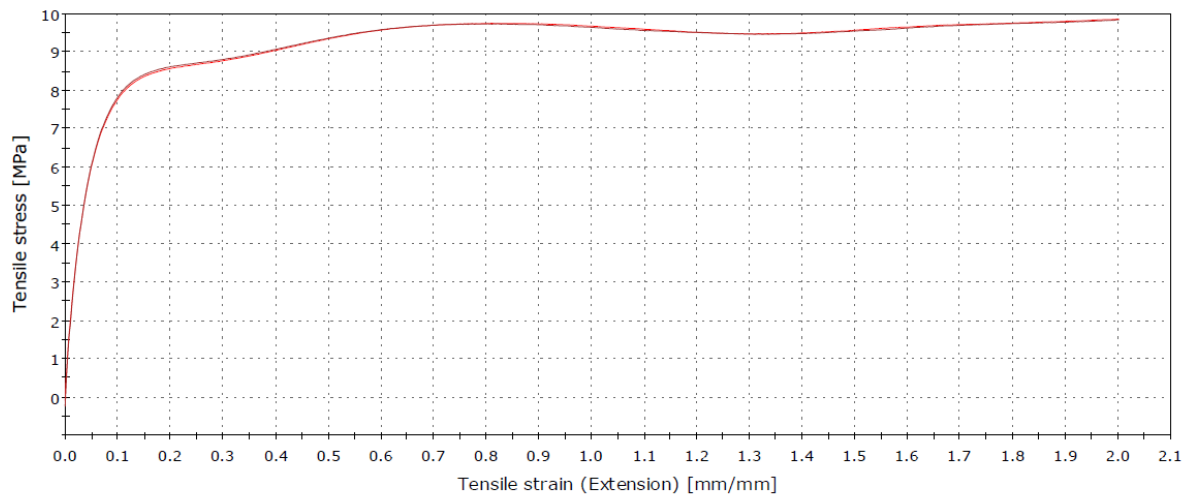
Kuva 3. Aineenkoeistuslaite Inston 3367



Kuva 4. Vetokäyrän tulkinta (Lähde: Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu)



Taulukko 3. Vetokoekäyrä (+23 °C)

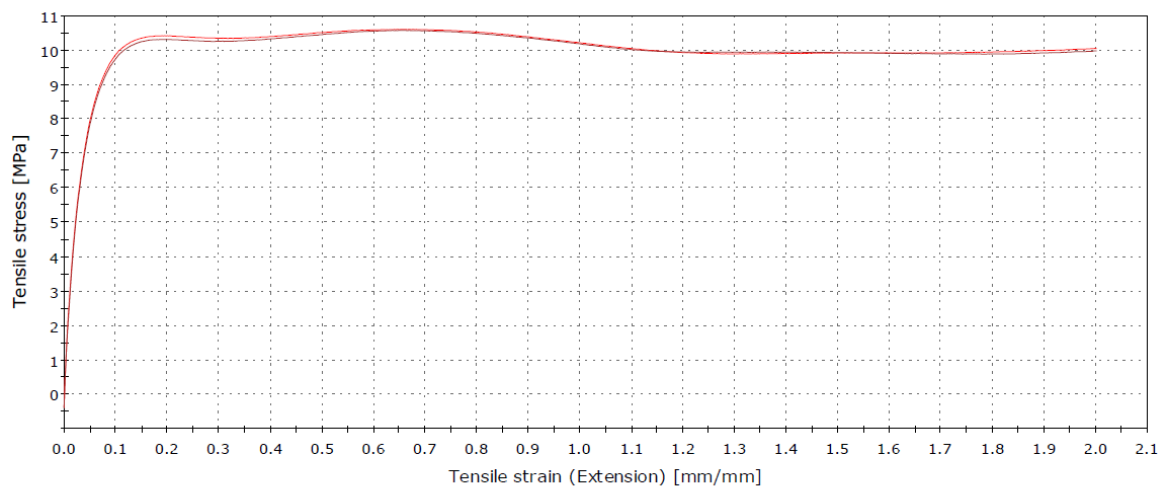


	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	194,65019
2	10,00000	4,00000	187,51320
3	10,00000	4,00000	197,79706
4	10,00000	4,00000	194,00609
5	10,00000	4,00000	190,51255
6	10,00000	4,00000	187,06418
7	10,00000	4,00000	194,87744
8	10,00000	4,00000	190,68674
9	10,00000	4,00000	189,55099
10	10,00000	4,00000	195,03409

Kuva 5. Kierrätysmuovivetosauva vetokokeen jälkeen



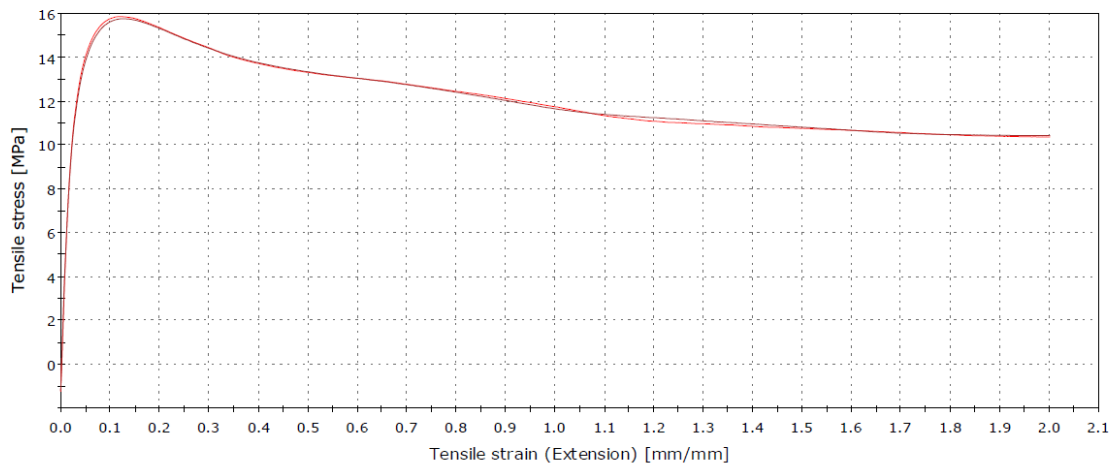
### Vetolujuustesti (+5 °C)



	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	296,37493
2	10,00000	4,00000	299,30441
3	10,00000	4,00000	294,65999
4	10,00000	4,00000	291,20147
5	10,00000	4,00000	295,48752
6	10,00000	4,00000	295,22668
7	10,00000	4,00000	285,74633
8	10,00000	4,00000	295,18488
9	10,00000	4,00000	296,35654
10	10,00000	4,00000	280,98966

Lämpötilan pudotessa huoneenlämmöstä +5 asteeseen kalvomuovi jäykistyy jonkin verran ja sen kimmokerroin lähes tuplaantuu.

## Vetolujuustesti (-20 °C)

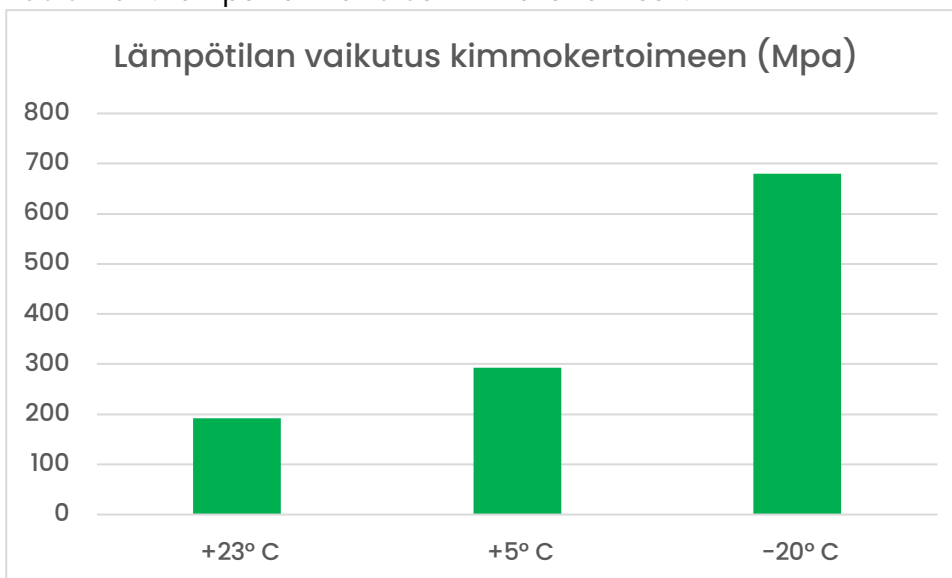


	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	649,25045
2	10,00000	4,00000	706,63201
3	10,00000	4,00000	703,66718
4	10,00000	4,00000	722,33519
5	10,00000	4,00000	663,71202
6	10,00000	4,00000	678,63491
7	10,00000	4,00000	663,89624
8	10,00000	4,00000	677,00545
9	10,00000	4,00000	684,49229
10	10,00000	4,00000	647,55375

Lämpötilan laskiessa -20 asteeseen muovi jäykistyy lisää ja sen kimmokerroin yli kolminkertaistuu.

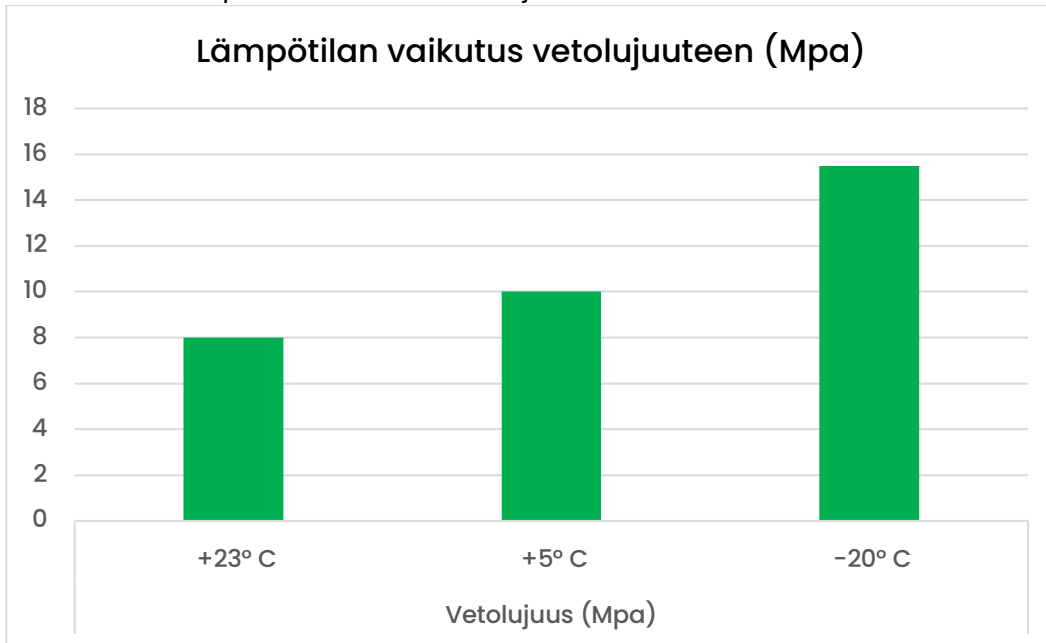
Kimmokertoimeksi saatiin mitattua huoneenlämmössä (+23°C) 192 Mpa. Lämpötilassa (+5°C) kimmokerroin oli 293 Mpa ja pakastettuna (-20°C) 680 Mpa.

Taulukko 4. Lämpötilan vaikutus kimmokertoimeen.



Lisäksi määritettiin vetolujuus vastaavissa lämpötiloissa. Huoneenlämmössä (+23°C) vetolujuus oli 8 Mpa. Lämpötilassa (+5°C) vetolujuus oli 10 Mpa ja pakastettuna (-20°C) 15 Mpa.

Taulukko 5. Lämpötilan vaikutus vetolujuuteen





## 7 Sulaindeksin mittaus

Sulaindeksi mitattiin CEAST MFI modular flow index laitteistolla. Sulaindeksin määrittämisessä käytettiin samoja mittausparametrejä kuin LLDPE muovin ominaisuuksien selvittämisessä yleensä käytetään. Sulatuslämpötilana käytettiin 190 °C ja painona 2,16 kg. Sulaindeksin mittauksessa päästiin lähelle vastaavanlaisten muovien arvoja. Sulaindeksiksi määritettiin tässä testauksessa 1,35 g/10 min.

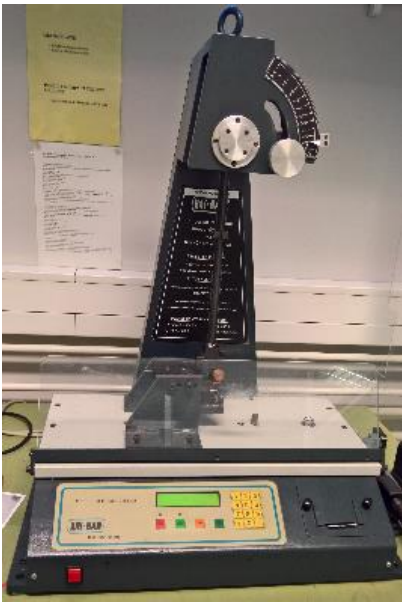
Kuva 6. Sulaindeksin mittauslaitteisto



## 8 Iskukoe

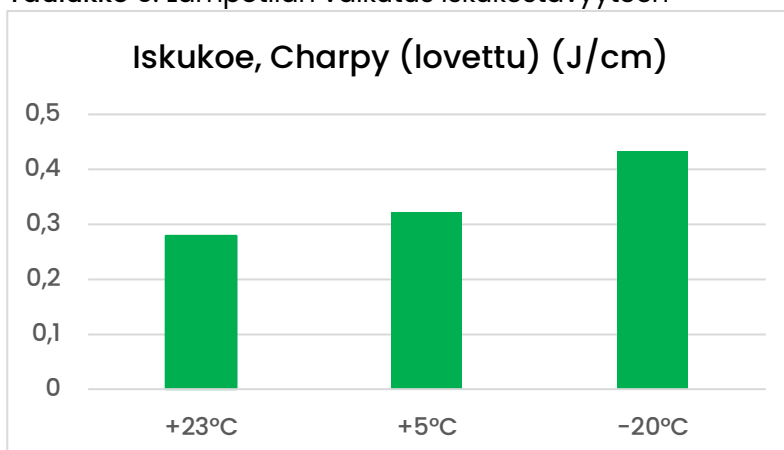
Iskukokeet tehtiin Pendulum Impact testing machine Ray-Ran heilahdusiskuvasara, jolla voidaan tehdä standardin mukaiset Charpy ja Izod iskukokeet. Laitteistolla saadaan määritettyä mm. testitulosten keskiarvo ja keskihajonta. Laite tulostaa testitulokset omalla tulostimellaan. Laitteen energia-alue 25 jouleeseen saakka. Nopeusalue 2,8 -3,8 m/s ja laitteessa on automaattinen kalibrointi.

Kuva 7. Iskukoelaitteisto



Iskukokeessa saatiin matalampia arvoja kuin mitä polyeteenillä yleensä saavutetaan. Tyypillisiä arvoja polyeteenillä Charpy iskukokeessa ovat 0,38 – 11 J/cm. [1] Kierätysmuovilla tuo raja saavutettiin vain pakastetuilla koekappaleilla. Huoneenlämmössä (+23 °C) mitattu arvo oli 0,279 J/cm, +5 °C lämpötilassa mitattu arvo oli 0,322 J/cm ja pakastetussa (-20 °C) mitattu arvo 0,433.

Taulukko 6. Lämpötilan vaikutus iskukestävyyteen



# 9 DSC-analyysi

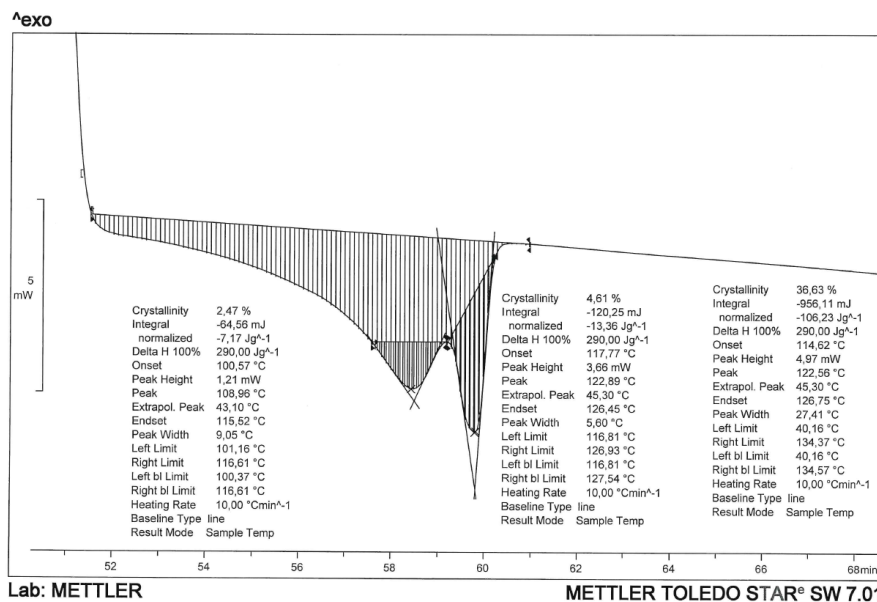
Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetria on termoaanalyttinen menetelmä, jossa mitataan näytteen ja referenssin lämpötilan kasvattamiseksi vaadittavan lämpömäärän muutosta lämpötilan funktiona. DSC:n avulla tutkitaan muun muassa näytteen sulamislämpötilaa, sulamisentalpiaa, kiteisyyttä ja termistä historiaa. Sen avulla voidaan myös seurata reaktioiden etenemistä, faasimuutoksia, veden sitoutumista ja yhdisteen puhtautta.

Kuva 8. DSC-pyyhkäisy kalorimetri



Mittauksilla saatiin selville, että kierrätysmuovissa on sulamislämpötilan perusteella kyseessä LLDPE muovi. Lisäksi mukana on jotain muuta materiaalia. Toisen materiaalin sulamislämpötila on 123°C ja toisen 109 °C.

Taulukko 7. Kierrätysmuovin DSC-käyrästä



# 10 Tiheyden määrittäminen

Tiheys määritettiin punnitus-upotusmenetelmällä. Kappale punnitaan ensin kuivana ja sen jälkeen etanoliliuoksessa. Kierrätysmuovista tehdyistä granulaateista ei saa riittävän tarkkaa mittaustulosta tuolla menetelmällä, koska granulaateissa oli ilmakuplia. Ilmakuplien takia mittaustulokset olivat noin 10 % liian alhaisia. LLDPE-muoville tyypillisiä arvoja ovat tiheydet  $0,910 - 0,940 \text{ g/cm}^3$ . [1] Upotusmenetelmällä mittaustulokseksi saatiin arvoja, jotka olivat noin 0,830 luokkaa. Tällä mittaumenetelmällä voidaan määrittää granulaatin tiheys, mutta varsinaisen materiaalin tiheyttä ei voida mitata luotettavasti. Ruiskuvaletusta koekappaleesta leikatusta koekappaleesta mitattuna tiheydeksi tuli  $0,957 \text{ g/cm}^3$ .

## 10.1 Energiasisältö

Energiasisältö mitattiin kalorimetrillä useamman näytteen keskiarvona. Granulaattien energiasisältö on öljyn luokkaa poltettaessa. Kalorimetrillä mitattuna materiaalin lämpöarvoksi saatiin  $12,20 \text{ kWh/kg}$ . Vertailun vuoksi esimerkiksi puupellettien lämpöarvo 9 % kosteudessa on  $4,7 \text{ kWh/kg}$ . [4]

# 11 Maatalouskierrätysmuovin ominaisuuksia

## Fyysiset ominaisuudet

- Sulaindeksi (190 °C/2,16 kg) 1,35 g/10 min
- Tiheys (ruiskuvalettu koekappale) 0,957 g/cm<sup>3</sup>

## Mekaaniset ominaisuudet

- Kimmokerroin (+23 °C) 192 Mpa
- Kimmokerroin (+5 °C) 293 Mpa
- Kimmokerroin (-20 °C) 680 Mpa
- Vetolujuus (+23 °C) 8 Mpa
- Vetolujuus (+5 °C) 10 Mpa
- Vetolujuus (-20 °C) 15 Mpa

## Kovuus

- Iskulujuus (Charpy), lovettu 0,28 J/cm

## Lämpöominaisuudet

- Sulamislämpötila 123 °C

## Prosessi parametrit

- Sulamislämpötila 220 °C

## Energiasisältö

12,20 kWh/kg

# 12 Komposiittimateriaali kierrätysmuovista

Kierrätysmuovista tehtiin komposiittimateriaalia lisäämällä muovin joukkoon havusellukuitua. Ensimmäinen testi tehtiin lisäämällä kierrätys polyeteeniin 50% havusellukuitua. Materiaalista valmistettiin Karelia-ammattikorkeakoulun laboratorion ruiskuvalukoneilla vetosauvoja ja niille tehtiin vastaavat lujuustestit kuin pelkälle kierrätysmuovillekin.

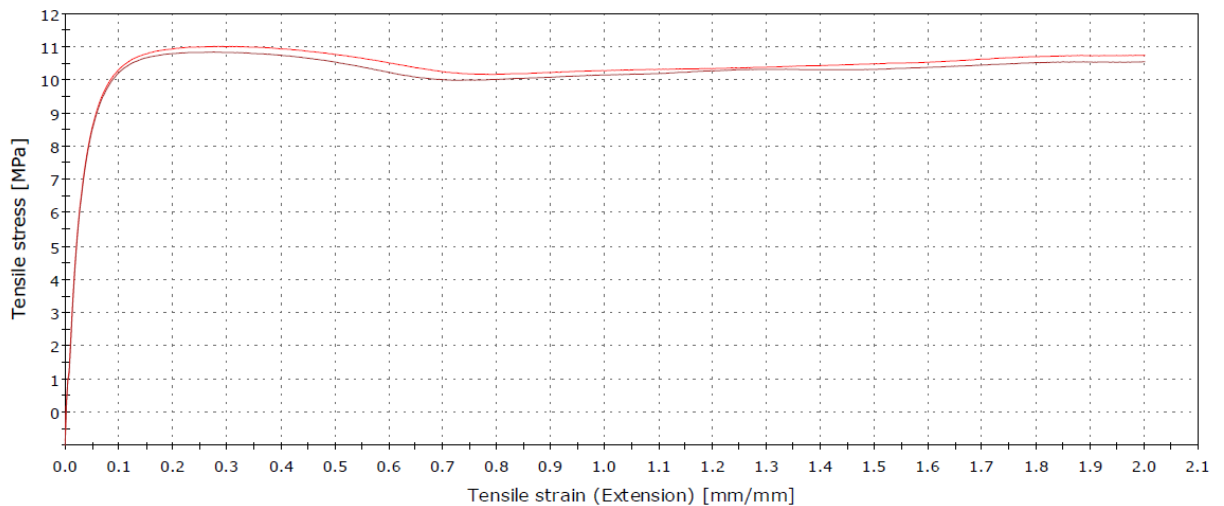
Vetolujuuskokeessa kävi ilmi, että vetolujuus on romahtanut kuidun lisäyksen seurauksena. Sen sijaan materiaalin kovuus on moninkertaistunut. Lämpötilan muutoksella on iso vaikutus komposiitin kimmokertoimeen. Lämpötilan laskiessa kovuus lisääntyy, mutta samalla murtolujuus heikkenee ja materiaalista tulee haurasta.

Lujuuden parantamiseksi materiaalista tehtiin uusia testejä muuttamalla seossuhdetta muovin ja kuidun välillä, jotta saadaan mahdollisesti muutettua komposiitin ominaisuuksia. Kokeet tehtiin kolmella eri kuitupitoisuudella. Sekoitussuhteet olivat 15 p-%, 25 p-% ja 50 p-% kuitua ja loppu kierrätysmuovia. Kuidun määrällä on huomattavia vaikutuksia niin lujuusominaisuuksiin kuin, myös lämpötilan aiheuttamiin muutoksiin ominaisuuksissa.

## 12.1 Komposiittitesti kierrätysmuovi lisättynä kuitua 15 p-%

PE85%/kuitu15% lämpötila 23°C

Taulukko 8. vetokäyrä PE85%/kuitu15%, lämpötila 23°C



	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,10000	4,10000	285,31824
2	10,00000	4,00000	291,37216
3	10,00000	4,00000	274,41431
4	10,00000	4,00000	270,94827
5	10,00000	4,00000	293,24045
6	10,00000	4,00000	303,15154
7	10,00000	4,00000	308,96835
8	10,00000	4,00000	275,17955
9	10,00000	4,00000	295,74156
10	10,00000	4,00000	270,25370

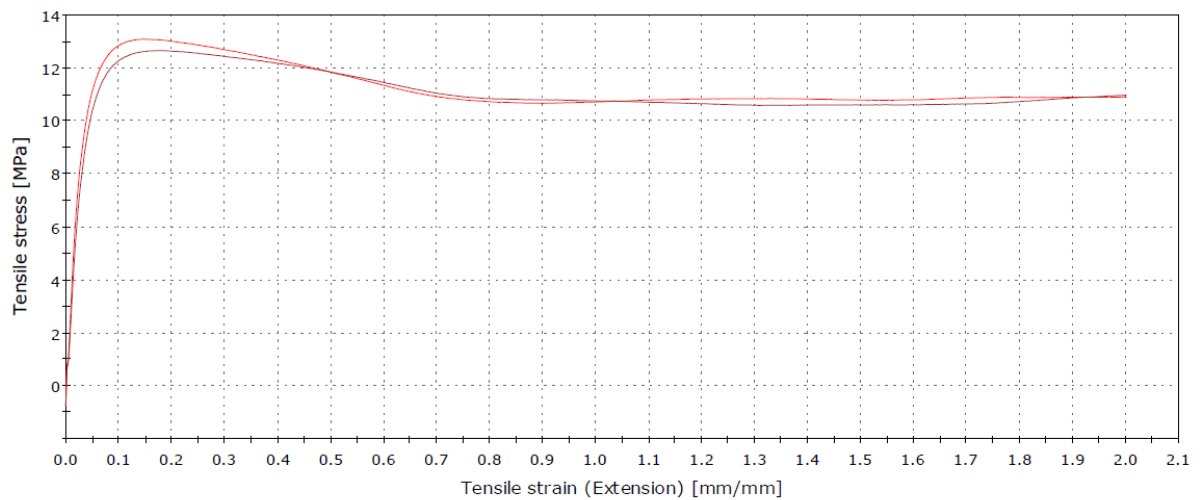
Kuidun lisääminen 15 %:lla lisää maksimijännitystä noin 20 %:lla. Sitkeysominaisuudet säilyvät samankaltaisina kuin pelkällä muovilla, eikä koesauvaa saada testin puitteissa murtumaan. Koesauva ohenee ja venyy testin loppuun saakka.



Kuva 9. Vetosauva PE85%/kuitu15%

## PE85%/kuitu15% lämpötila 5°C

Taulukko 9. Vetokäyrä PE85%/kuitu15%, lämpötila 5°C



	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's [MPa]
1	10,00000	4,00000	410,60962
2	10,00000	4,00000	389,46497
3	10,00000	4,00000	399,78905
4	10,00000	4,00000	406,53885
5	10,00000	4,00000	390,76861
6	10,00000	4,00000	355,01305

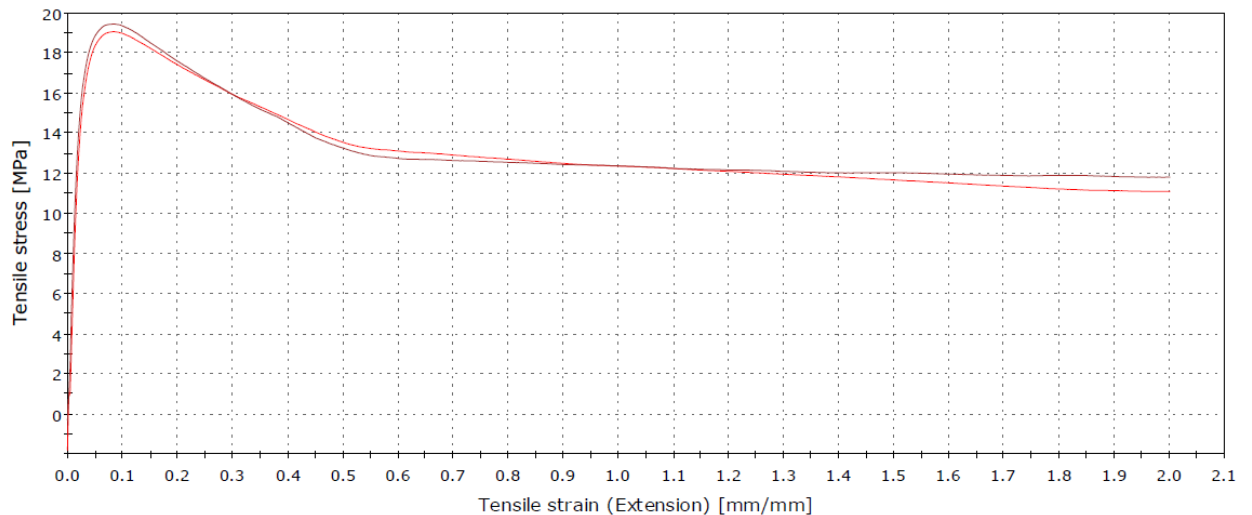
Lämpötilan muutos vaikuttaa kuituja sisältävään komposiittiin merkittävästi. Lämpötilan pudottaminen 23°C:sta 5°C:seen parantaa maksimijännitystä 1,5 MPa:lla. Lämpötilan laskeminen ei aiheuta merkittävää muutosta vetosauvan ohenemiseen ja



sitkeyteen, eikä testin puitteissa vetosauvaa saada poikki. Kimmomoduli kasvaa noin 30 % lämpötilan laskiessa 23°C:sta 5°C:seen.

## PE85%/kuitu15% lämpötila -20°C

Taulukko 10. Vetokäyrä PE85%/kuitu15%, lämpötila -20°C



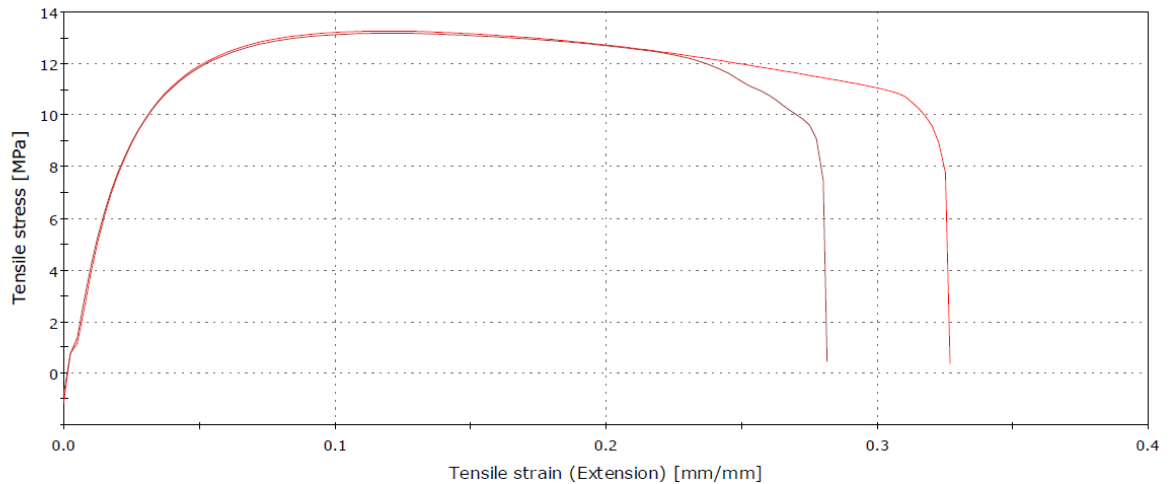
	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	1002,08316
2	10,00000	4,00000	944,31430
3	10,00000	4,00000	998,67481
4	10,00000	4,00000	965,50787
5	10,00000	4,00000	1046,77966
6	10,00000	4,00000	970,88040

Lämpötilan muutos -20°C:n muuttaa ominaisuuksia merkittävästi. Maksimijännitys nousee noin 19 MPa saakka. Vetosauva myötää nopeammin kuin lämpimämmässä olosuhteissa, mutta vaatii samaan aikaan suurempaa voimaa venytykseen kuin lämpimämmät kappaleet. Testisauva kestää edelleen katkeamatta testin loppuun saakka. Kimmomoduli kasvaa -20°C noin kolminkertaiseksi verrattuna huoneenlämpöiseen materiaaliin.

## 12.2 Komposiittitesti kierrätysmuovi lisättynä kuitua 25 p-%

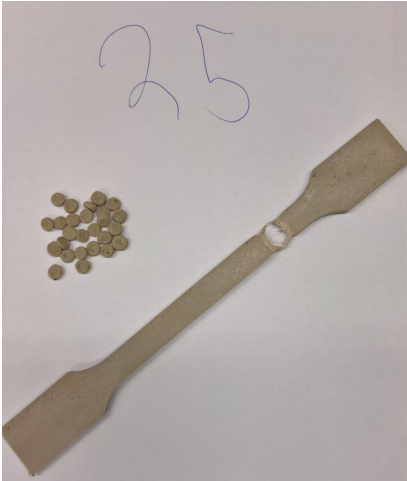
PE75%/kuitu25% lämpötila 23°C

Taulukko 11. Vetokäyrä PE75%/kuitu25%, lämpötila 23°C



	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	502,94768
2	10,00000	4,00000	509,14792
3	10,00000	4,00000	518,73558
4	10,00000	4,00000	504,49104
5	10,00000	4,00000	450,04051
6	10,00000	4,00000	516,18695
7	10,00000	4,00000	488,13436
8	10,00000	4,00000	379,50338
9	10,00000	4,00000	520,23807
10	10,00000	4,00000	489,55703

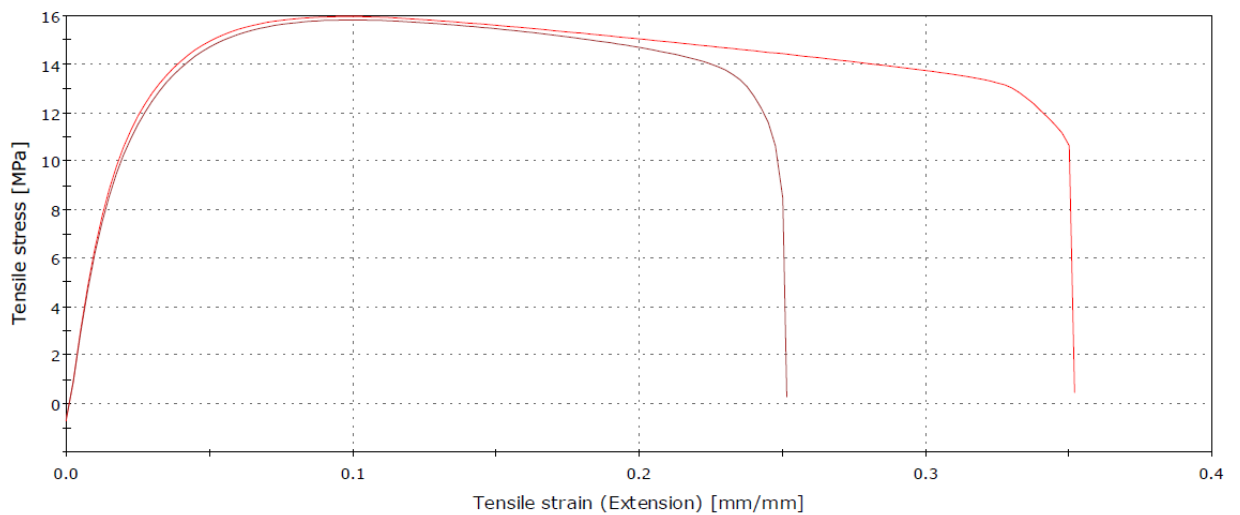
Kuidun lisääminen 25 % muuttaa lujuusominaisuuksia siten, että maksimijännitys kasvaa, mutta samalla murtovenymä romahtaa merkittävästi. Maksimijännitys kasvaa 2 MPa:lla verrattuna testikappaleeseen, jossa on 15 % kuitua ja 4 MPa:lla verrattuna pelkkään muoviin. Maksimijännityksen saavutettuaan muovi antaa vähän periksi ja sitten murtuu. Materiaali haurastuu, kun siihen on lisätty kuitua enemmän. Kimmokerroin on kaksinkertaistunut, kun kuidun määrä on kasvanut 15 %:sta 25 %: n.



Kuva 10. Vetosauva PE75%/kuitu25%

## PE75%/kuitu25% lämpötila 5°C

Taulukko 12. Vetokäyrä PE75%/kuitu25%, lämpötila 5°C

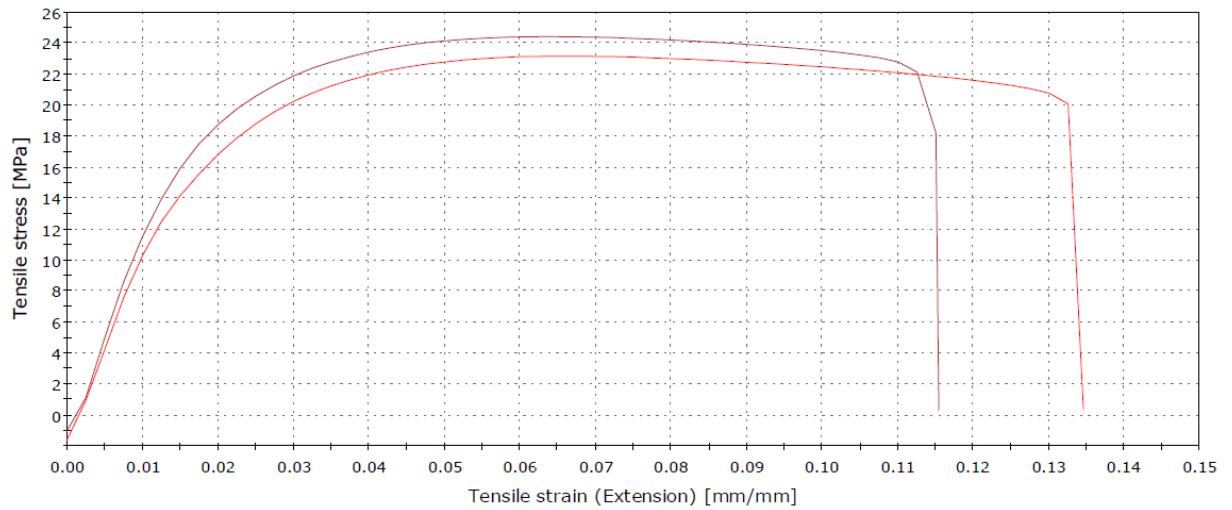


	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	728,90675
2	10,00000	4,00000	823,91558
3	10,00000	4,00000	779,58474
4	10,00000	4,00000	776,51444
5	10,00000	4,00000	825,90359
6	10,00000	4,00000	791,04339

Lämpötilan laskeminen 23°C :sta 5°C:n vaikuttaa maksimijännityksen kasvamisena 13 MPa:sta 16 MPa:iin. Kimmomoduli on kasvanut 50%:lla. Sen sijaan murtovenymässä ei ole tapahtunut merkittävää muutosta.

## PE75%/kuitu25% lämpötila -20°C

Taulukko 13. Vetokäyrä PE75%/kuitu25%, lämpötila -20°C



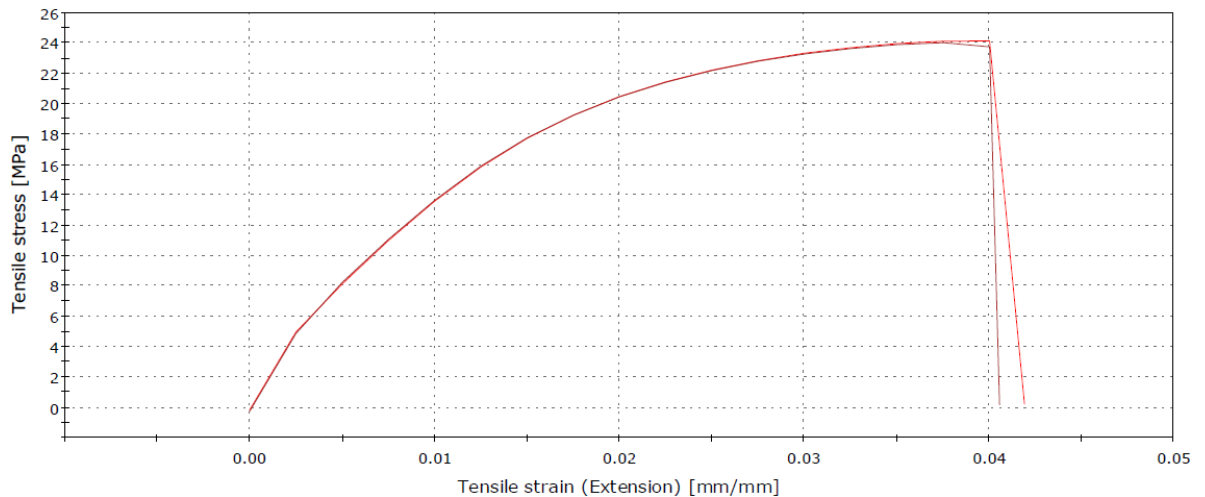
	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,00000	4,00000	1587,41077
2	10,00000	4,00000	1507,37874
3	10,00000	4,00000	1435,62430
4	10,00000	4,00000	1485,64857
5	10,00000	4,00000	1334,55662
6	10,00000	4,00000	1537,25967

Lämpötilan muuttuessa -20°C maksimijännitys lähes kaksinkertaistuu verrattuna huoneenlämpöiseen materiaaliin. Maksimijännitys saavuttaa noin 23 MPa:n arvon. Lämpötilan lasku haurastuttaa materiaalia ja puolittaa murtovenymän huoneenlämpöiseen materiaaliin verrattuna. Kimmokerroin on noin kolminkertainen verrattuna huoneenlämpöiseen materiaaliin.

## 12.3 Komposiittitesti kierrätysmuovi lisättynä kuitua 50 p-%

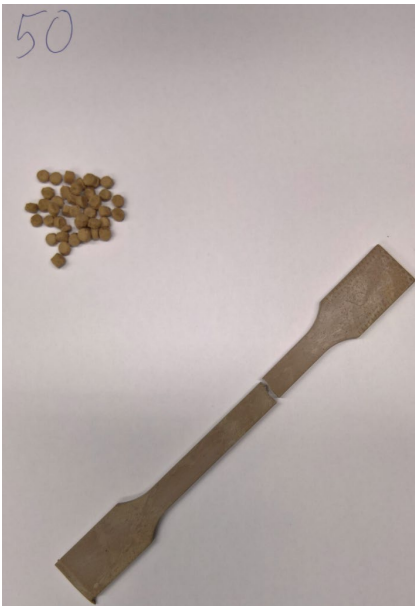
PE50%/kuitu50% lämpötila 23°C

Taulukko 14. Vetokäyrä PE50%/kuitu50%, lämpötila 23°C



	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,30000	4,10000	2077,24309
2	10,30000	4,10000	1918,18605
3	10,10000	4,10000	1728,32567
4	10,10000	4,10000	1867,87255
5	10,10000	4,10000	1921,01625
6	10,10000	4,10000	1467,42895
7	10,10000	4,10000	1737,89163
8	10,10000	4,10000	1111,05023
9	10,10000	4,10000	1266,64822
10	10,10000	4,10000	1345,33482

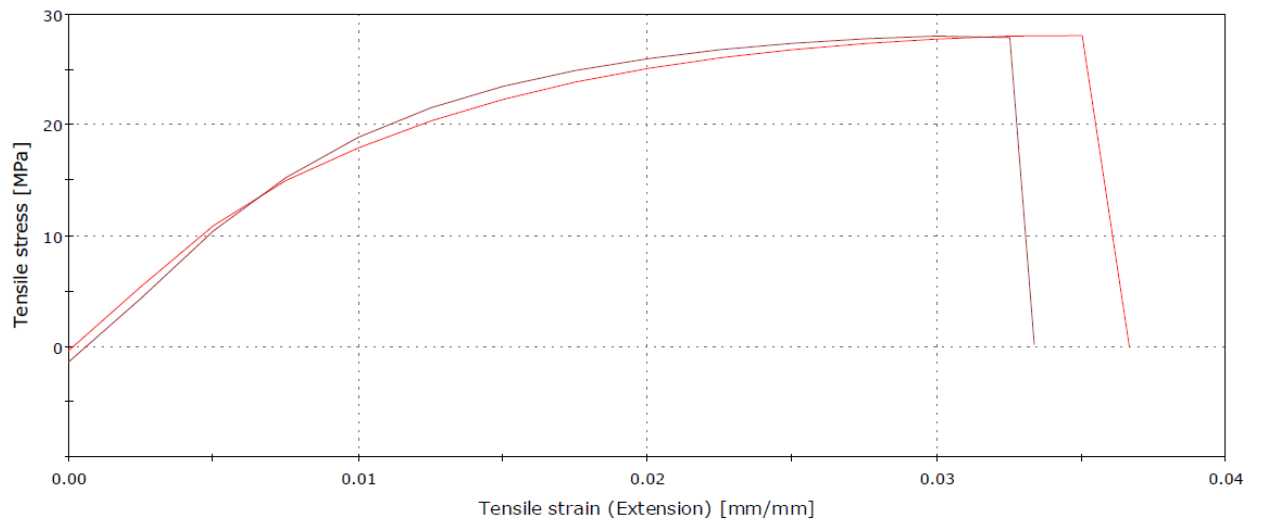
Kuidun määrän lisäys 25 %:sta 50 %:in muuttaa maksimijännityksen arvoa 11 MPa:sta 24 Mpa: n. Samalla materiaali on haurastunut merkittävästi lisää ja murtovenymä romah-  
taa verrattuna vähemmän kuituja sisältävään materiaaliin. Kimmomoduli on kasvanut  
noin kolminkertaiseksi, mutta samalla siinä on myös merkittävästi hajontaa, joka voisi  
myös kertoa siitä, että materiaalissa kierrätysmuovin ja kuidun sekoittuminen ei ole ta-  
saista.



Kuva 11. Vetosauva PE50%/kuitu50%

### PE50%/kuitu50% lämpötila 5°C

Taulukko 15. Vetokäyrä PE50%/kuitu50%, lämpötila 5°C

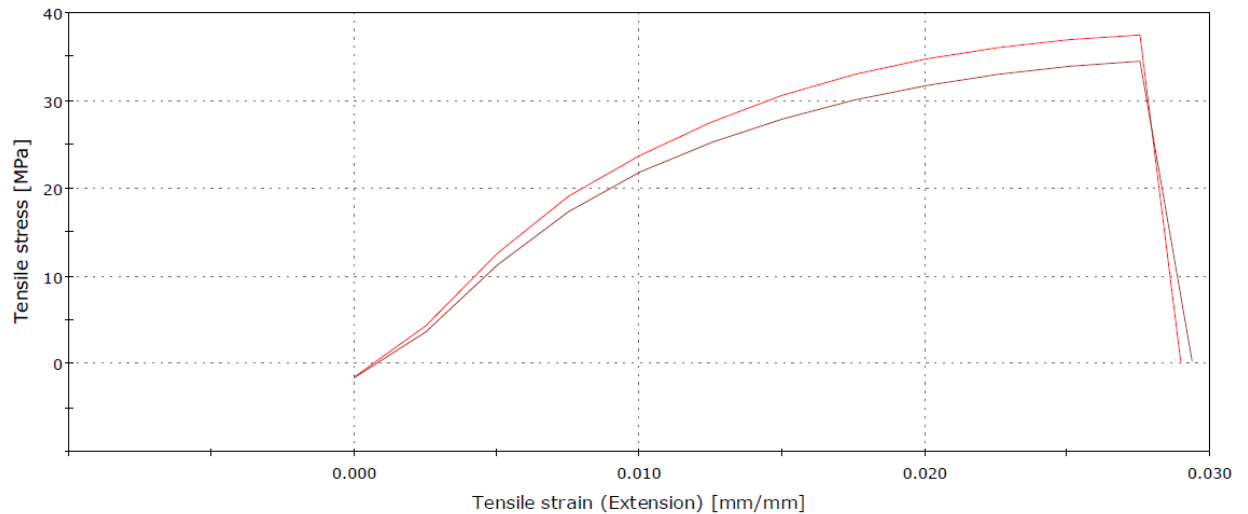


	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,10000	4,10000	2375,39872
2	10,10000	4,10000	2338,62193
3	10,10000	4,10000	2426,94158
4	10,10000	4,10000	2397,19826
5	10,10000	4,10000	2385,11716
6	10,10000	4,10000	2461,64218
7	10,10000	4,10000	2391,65202
8	10,10000	4,10000	2087,67980
9	10,10000	4,10000	2187,29148
10	10,10000	4,10000	2429,96657

Lämpötilan muutos 23°C:sta 5°C muuttaa maksimijännityksen arvon 24 MPa:sta 28 MPa: n. Murtovenymä pienenee hieman ja kimmomodulin arvo kasvaa merkittävästi.

## PE50%/kuitu50% lämpötila -20°C

Taulukko 16. Vetokäyrä PE50%/kuitu50%, lämpötila -20°C

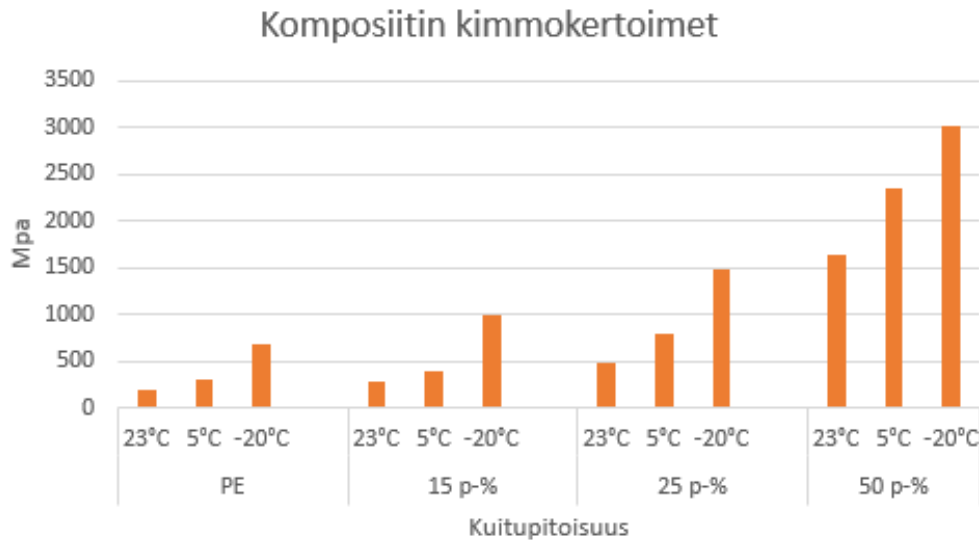


	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	10,10000	4,10000	3106,42900
2	10,10000	4,10000	3285,85931
3	10,10000	4,10000	3018,08190
4	10,10000	4,10000	3263,04761
5	10,10000	4,10000	1756,75614
6	10,10000	4,10000	2938,00286
7	10,10000	4,10000	3367,49252
8	10,10000	4,10000	3166,28062
9	10,10000	4,10000	3294,89829
10	10,10000	4,10000	3041,44495

Iskulujuus on myös romahtanut merkittävästi verrattuna pelkkään kierrätysmuoviin. Pelkkä kierrätysmuovi ei murtunut lainkaan Charpy-iskulujuustestissä. Kuidun lisääminen vaikutti ominaisuuksiin vähentämällä iskunkestävyyttä.

## 12.4 Komposiitin kimmokertoimet

Taulukko 17. Kuitupitoisuuden vaikutus komposiitin kimmokertoimeen

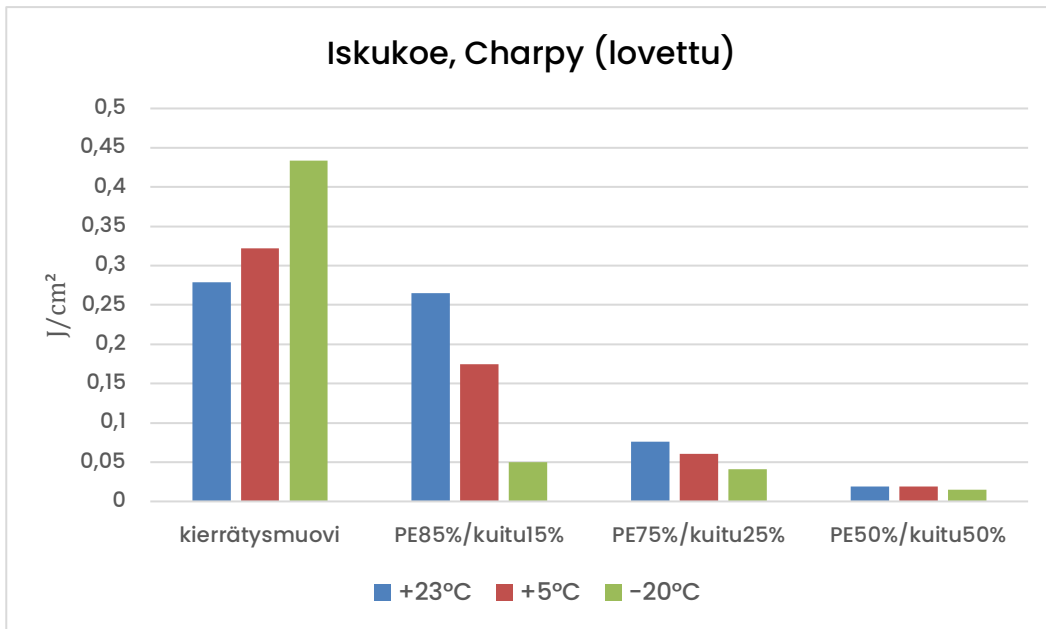


Kuidun määrän lisäämisellä on suora vaikutus kimmokertoimen arvon nousemiseen. Kuitu vaikuttaa jo pienenäkin määränä lujuusominaisuuksiin ja kun sitä lisätään kierrätysmuovin joukkoon suurempi määrä niin ominaisuudet vahvistuvat samoissa suhteissa. Lämpötilan vaikutus komposiittimateriaalin kimmokertoimeen on samansuuntainen kuin pelkässä kierrätysmuovissa eli lämpötilan laskeminen jäykistää materiaalia. Suhde säilyy samanlaisena myös, kun kuidun määrää kasvatetaan. Vetolujuuteen lämpötilan lasku vaikutti heikentävästi, mutta kimmokertoimeen vaikutus on päinvastainen.



## 12.5 Iskunkestävyyden testaus

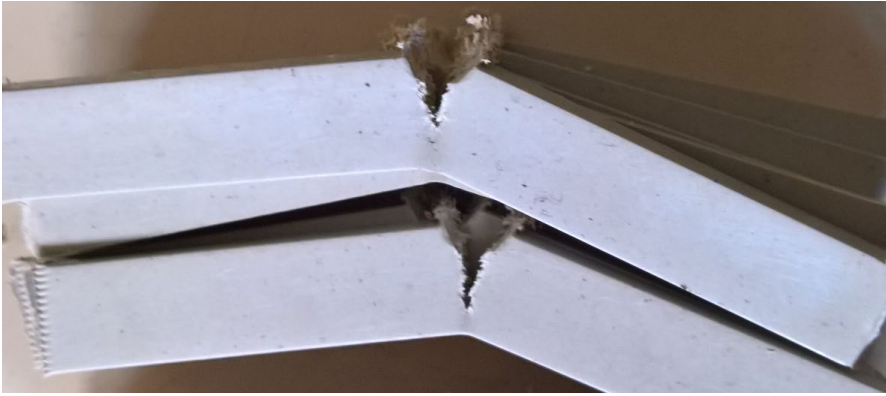
Taulukko 18. Charpy-iskukoetesti komposiittimateriaalit



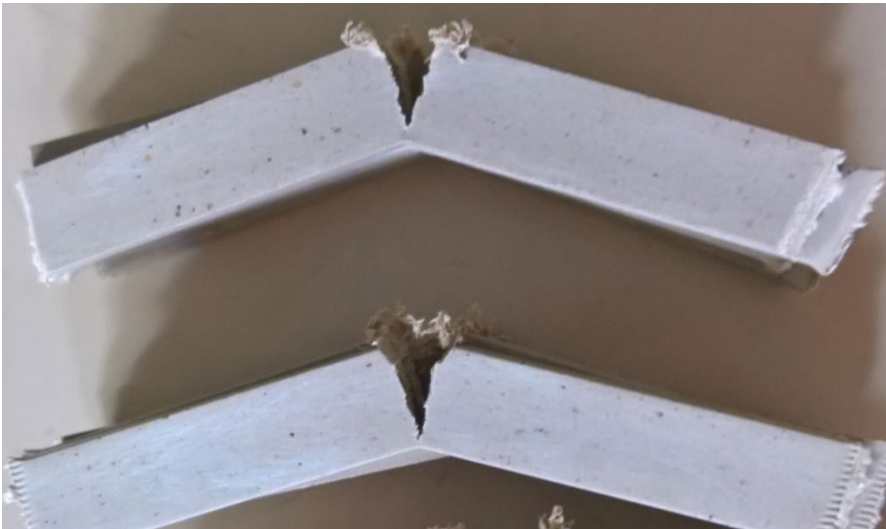
Iskukokeessa on selkeitä eroja niin kuitupitoisuudesta kuin lämpötilastakin johtuen. Kierrätysmuovissa lämpötilan laskeminen jäykistää materiaalia ja samalla nostaa sen iskunkestävyyttä. Kuitupitoisuuden lisääminen kääntää ominaisuuden päinvastaiseksi. Lämpötilan laskeminen haurastuttaa materiaalia ja siten sen iskunkestävyys laskee. Kuidun lisäämisen myötä myös lämpötilaeron vaikutus laskee ja materiaali on haurasta kaikissa testatuissa lämpötiloissa.



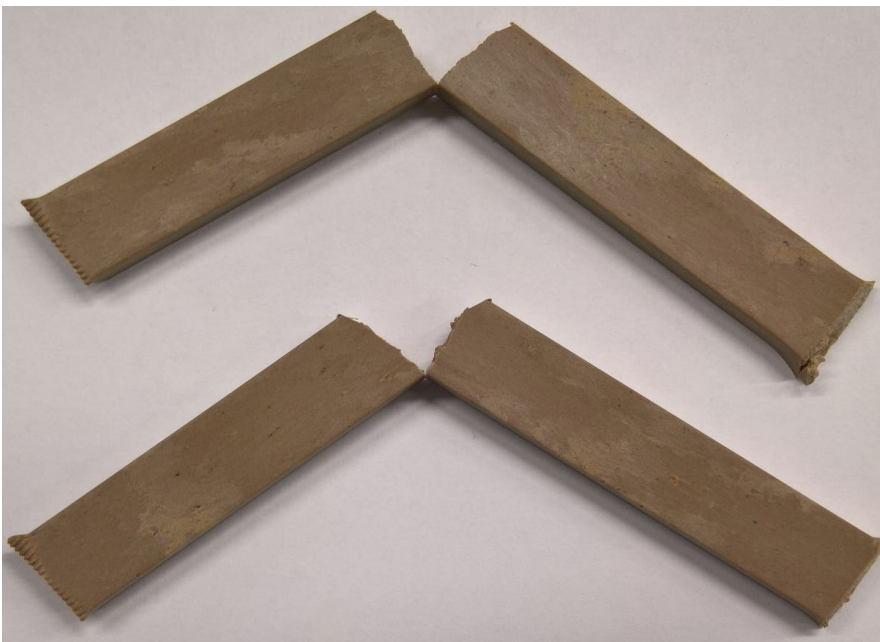
Kuva 12. Charpy-iskukoe, kierrätysmuovi



Kuva 13. Charpy-iskukoe PE85%/kuitu15%



Kuva 14. Charpy-iskukoe PE75%/kuitu25%



Kuva 15. Charpy-iskukoe PE50%/kuitu50%

## 12.6 Komposiittimateriaalin sulaindeksi

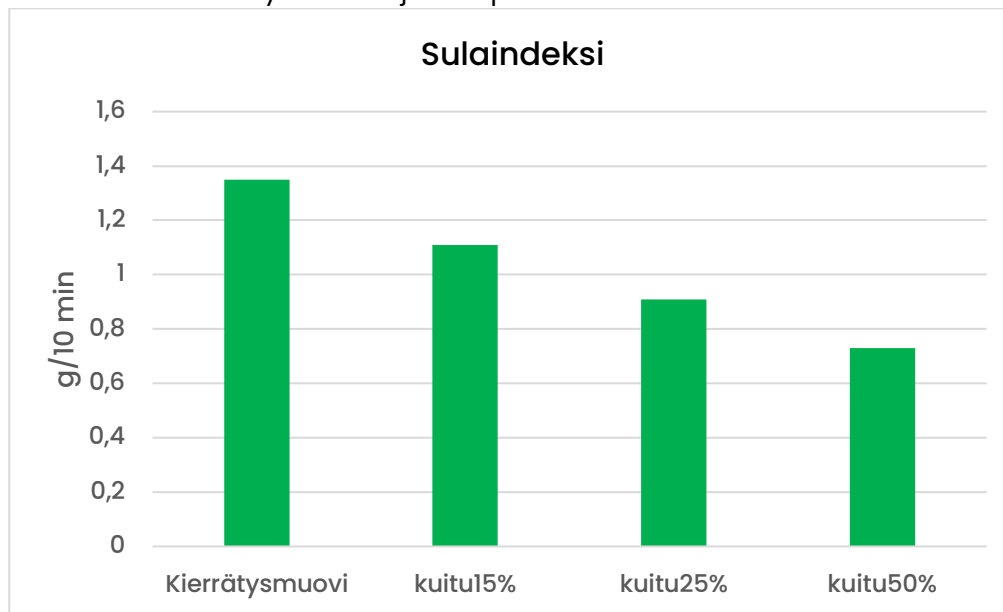
Komposiittimateriaaleista määritettiin sulaindeksit:

MFI g/10 min (190 °C /2,16 kg)

Testissä saatiin seuraavat tulokset:

Kierrätysmuovi	MFI 1,35 g/10 min
PE85%/kuitu15%	MFI 1,11 g/10 min
PE75%/kuitu25%	MFI 0,91 g/10 min
PE50%/kuitu50%	MFI 0,73 g/10 min

Taulukko 19. Kierrätysmuovin ja komposiitin sulaindeksit.



Materiaalin juoksevuus pienenee suhteessa siihen lisätyn kuidun määrän kanssa.

## 12.7 Komposiittimateriaalikoe

Komposiittimateriaalista valmistettiin koemielessä ruiskuvalamalla esineitä. Valussa käytettiin kuppimuottia.

Esineiden valmistaminen komposiittimateriaalista onnistui helposti ilman mitään erityisiä ongelmia. Kuidun lisääminen materiaaliin on muuttanut

sulaindeksiä pienemmäksi, jolloin materiaali on vähän jäykempää kuin pelkkä muovi. Materiaalin vaikutusta prosessilaitteisiin voi säätää parametrejä muuttamalla.

Mukeille tehtiin myös vesirasitustesti, jossa mukiin laitettiin vettä muutamaksi vuorokaudeksi. Materiaalissa tulee esille sama ilmiö kuin puussakin, eli kosteus nostaa esille kuidun päitä, jotka lähtevät hiomalla pois.



Kuva 16. Komposiittimateriaalista ruiskuvalamalla tehty tuote



Kuva 17. Komposiittimateriaalista tehty tuote värjättyinä

# 13 Komposiittimuovituotteen kustannukset

Maatalousmuovien kerääminen on kallista, kun erät ovat hajallaan maataloilla ja ne ovat pieniä. Kustannusten jakamiseksi muovin tuottajat maksavat keräämisestä korvausta keräilijälle. Hinta keräyspalvelulle on lajitellun muovijätteen osalta 110 € tonnilta + alv. Muovin mukana ei saa olla metallia, isoja kiviä, eikä sellaisia epäpuhtauksia, jotka estävät muovin jatkokäsittelyn. Nämä muovit menevät jatkojalostukseen. Joillakin jäteyhtiöillä on järjestetty maatalousmuoveille säännöllinen tyhjennys jätteenkuljetuksen mukana jätekuljetuksen lähellä olevilla taksoilla. Säännöllinen rullakon tyhjennys löytyy esimerkiksi jäteyhtiö Vestialta hintaan 9,67 € / kerta + alv. Lisäksi maatila joutuu hankkimaan itselleen rullakon, joka maksaa 160 € + alv. Tähän keräykseen käy kaikki maataloudesta tulevat kalvomuovit ja ne menevät jätteenpolttolaitoksella energiantuotantoon.

Kierrätysmuovien jalostajalle ongelmallista on, että maatalousmuovit ovat melko likaisia. Muovien puhdistuksen onnistuminen täydellisesti vaatii paljon puhdistusprosessilta ja se nostaa kustannuksia. Lopputulos ei aina välttämättä ole loppukäyttäjää tyydyttävällä tasolla.

Muovien hinnoittelulle ei ole olemassa välityspörssijä, eikä julkisesti noteerattuja hintoja vaan hinnat neuvotellaan aina myyjän ja ostajan välisesti. Muovien kerrotaan usein noudattavan suoraviivaisesti öljyn hintakehitystä, mikä ei monesti pidä paikkaansa vaan muovien hinnat elävät omaa elämäänsä. Jotkut kansainväliset muovialan ammattilehdet ja palvelut kokoavat maailmalta kyselyjä tietoja muovin hinnan kehityksestä.

## 13.1 Muovin markkinahinta

Neitseellisen muovin hinnat valtamuoveissa liikkuvat reilusti yli 1000 €/tonni hintaluokassa lukuun ottamatta PVC:n eri laatuja. Maatalousmuovina käytetyn LDPE ja LLDPE muovin hintataso maailmalla on noin 1300 €/tonni.

Taulukko 20. Muovin hintatilastoja v. 2018. Lähde: Plastics, the home of plastics [9]

### 1.1 Standard plastics

The average listings for standard plastics held their own in August 2018, cf. Table 1. The average listing for August 2018 (1341 €/t) exceeded that for August 2017 (1270 €/t) by 71 €/t. Packaging PET was listed at an average 1450 €/t in August 2018 and thus remained unchanged compared to the preceding month. Supply and demand for standard plastics have been balanced in August and September. As a result of the summer holidays, demand for primary plastics was lower in August than in the preceding months.

Table 1: EUWID listings for standard plastics over the past five months; prices in €/t.

Prices in €/t	August 2018	July 2018	June 2018	May 2018	April 2018
LDPE film grade	1280- 1390	1290- 1400	1310- 1460	1260- 1400	1260- 1400
LLDPE film grade	1260- 1380	1270- 1390	1290- 1440	1240- 1380	1240- 1380
HDPE injection moulding	1310- 1360	1310- 1360	1330- 1380	1270- 1320	1260- 1310
HDPE blow moulding	1330- 1380	1330- 1380	1350- 1400	1290- 1340	1280- 1330
PS crystal clear	1520- 1580	1500- 1560	1550- 1610	1490- 1550	1540- 1600
PS high impact	1620- 1680	1600- 1660	1650- 1710	1590- 1650	1640- 1700
PP homopolymer	1420- 1470	1420- 1470	1420- 1470	1360- 1410	1350- 1400
PP copolymer	1470- 1520	1470- 1520	1470- 1520	1410- 1460	1400- 1450
PVC tube grade	910- 970	910- 970	910- 970	890- 950	880- 950
PVC film/cables	960- 1010	960- 1010	960- 1010	940- 990	930- 990
<b>Average Price</b>	<b>1341 ± 223</b>	<b>1339 ± 219</b>	<b>1357 ± 232</b>	<b>1310 ± 217</b>	<b>1314 ± 256</b>



## 13.2 Kierrätysmuovin markkinahinta

Kierrätysmuovia voi markkinoilta ostaa eri muodoissa. Paalattuna, jolloin muovin jatkokäsittely jää kokonaan ostajalle tai jatkojalostajalle. Tai sitten kierrätysmuovia voi ostaa jostain kierrätyksen välivaiheesta. Revittynä, jolloin muovi on lajiteltu, revitty pienemmiksi kappaleiksi ja pesty. Uudelleen granuloituna muovi vastaa periaatteessa neitseellistä muovia. Kierrätyskerrat ja käyttökohteet ovat voineet muuttaa kuitenkin kierrätysmuovin ominaisuuksia. Ominaisuuksia voivat muuttaa esimerkiksi useat sulatuskerrat, mahdollinen UV-valon vaikutus edellisessä käyttötarkoituksessa, muovissa olevat lisäaineet ja edellisissä käyttötarkoituksissa muoviin mahdollisesti jääneet pitoisuudet joistakin ulkopuolisista aineista. Näiden takia kierrätysmuovin käyttö on kielletty elintarvikekosketuksiin joutuviissa käyttötarkoituksissa.

Taulukko 21. Kierrätysmuovin hintatilastoja v. 2018. Lähde: Plastics, the home of plastics [9]

### bvse market report on plastics, September 2018

Table 3: Listings for standard plastics in plastics; prices in €/t.

	Sept. <sup>6</sup> 18	Aug. 18	July 18	June 18	May 18	August 17
HDPE regrind <sup>1</sup>	580	570	580	560	580	570
HDPE regranulates <sup>5</sup>	840	850	930	880	840	880
LDPE bale goods <sup>2</sup>	180	190	200	180*	270	260
LDPE regrind <sup>1</sup>	610*	550*	550	640	610	570
LDPE regranulates <sup>5</sup>	750	770	800	770	740	750
PP bale goods <sup>3</sup>	160*	150*	140*	180	210	260
PP regrind <sup>1</sup>	590	600	540	640	530	550
PP regranulates <sup>5</sup>	790	840	890	850	860	800
PS regrind <sup>4</sup>	650	640	640	640	600	600
PS regranulates <sup>5</sup>	1160	1110	1020	950	900	810
PVC P regrind <sup>1</sup>	290*	280*	300*	470*	450	460
PVC U regrind <sup>1</sup>	410*	410*	470	490*	520*	430
PET bale goods	120*	120*	180	160*	220*	170
PET regrind coloured	340	330	340	320	340	330
<b>Average Price</b>	<b>(534)</b>	<b>529</b>	<b>541</b>	<b>552</b>	<b>548</b>	<b>531</b>

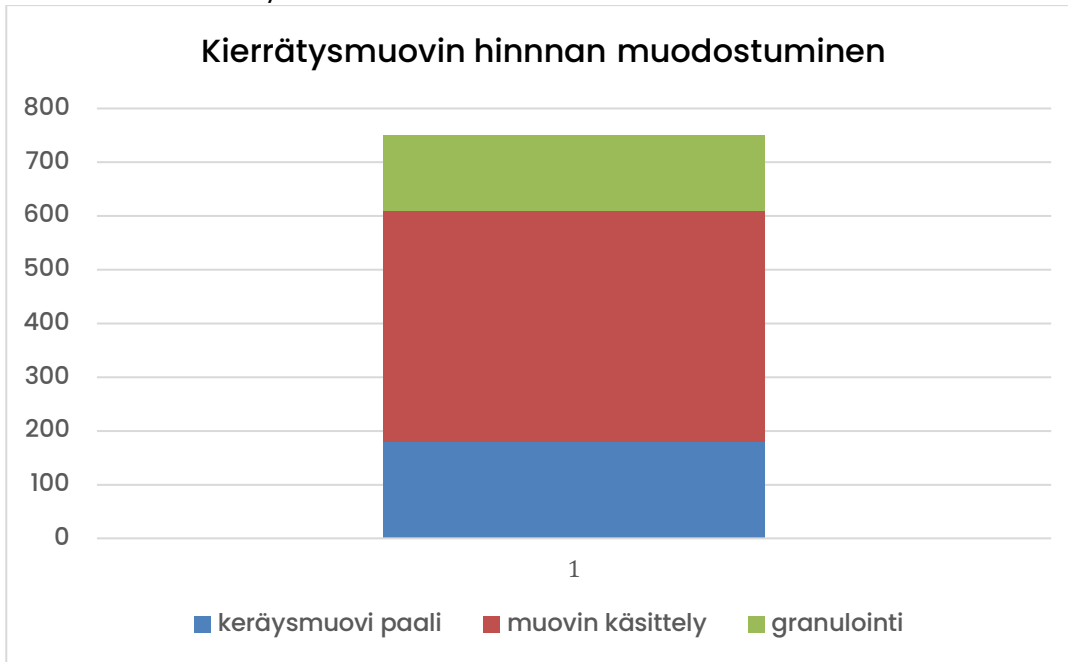
\*: Supply figure too low to attain statistical significance; <sup>1</sup>: equivalent to the grade 'post-industrial, mixed colours'; <sup>2</sup>: equivalent to K49; <sup>3</sup>: equivalent to K59; <sup>4</sup>: equivalent to 'standard, mixed colours'; <sup>5</sup>: equivalent to the grade 'regranulates, black'; <sup>6</sup>: preview that may be amended by additional quotes

## 13.3 Kierrätysmuovin hinnan muodostuminen

Kierrätysmuovi granulaattien hintataso maailmalla on noin puolet neitseellisestä materiaalista valmistetusta muovista. Paalattuna LDPE:n hinta on 180 €/tonni. Tuo hinta muodostuu lähinnä keräys, käsittely ja kuljetuskustannuksista.

Uudelleen käsitelty muovijae (lajittelu, pesu, repiminen) maksaa 610 €/tonni eli tuolle työvaiheelle tulee 430 €/tonni. LDPE:stä valmistettujen uusiogranulaattien hinta maailmalla on 750 €/tonni eli granulointiprosessi nostaa hintaa 140 €/tonni. [9]

Taulukko 22. Kierrätysmuovin hinnan muodostuminen

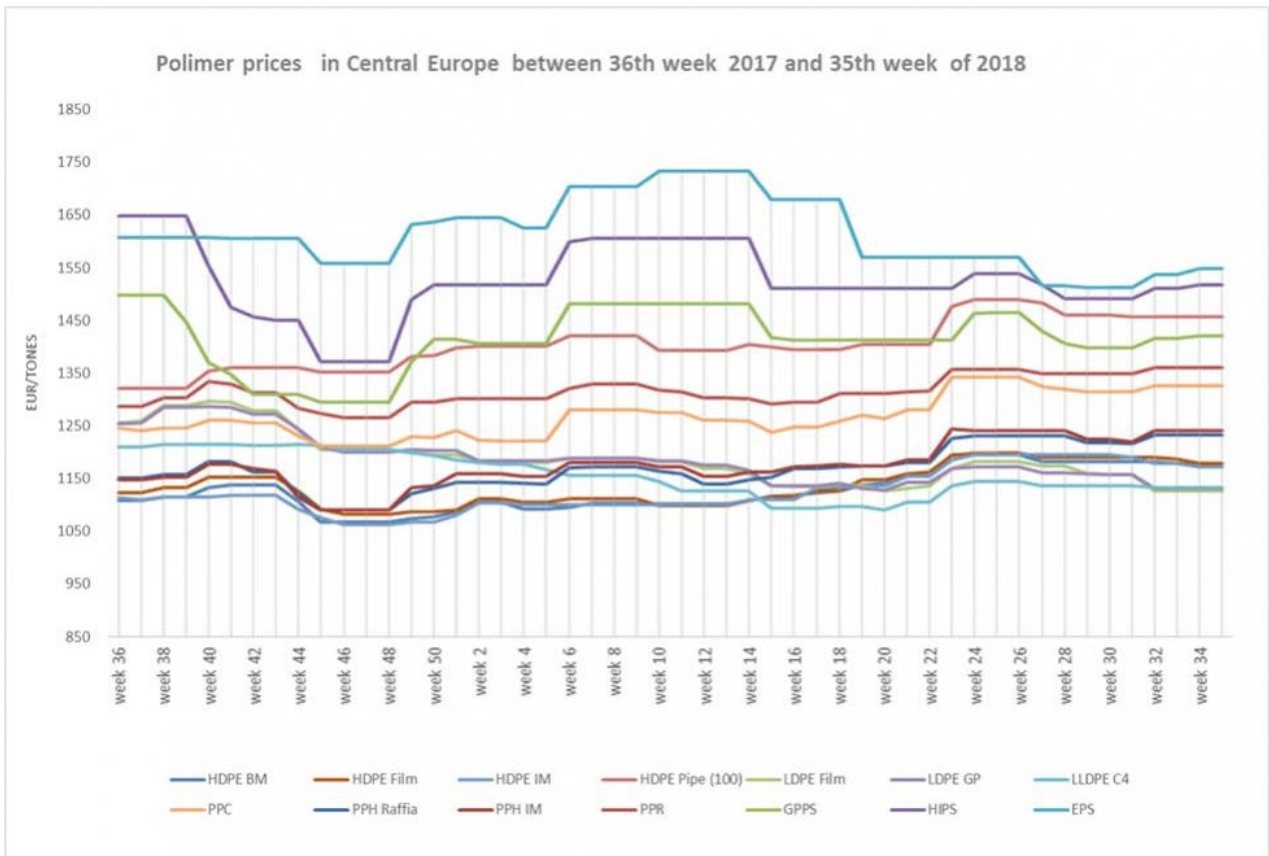


## 13.4 Muovien hintakehitys

Muovien hintakehitys on viimeisen vuoden aikana ollut maltillista. Joidenkin muovilaatujen hinta on noussut ja osan muoveista hinta on laskenut. Hinnat voivat vaihdella lyhyellä aikajänteellä paljonkin kuten vuoden 2017 syksyn hinta-notkahdus osoittaa. Neitseellinen muovi on riippuvainen pitkälti raaka-aineen hinnasta, sekä kysynnän muutoksista.



Taulukko 23. Muovien hintakehitys, Lähde: Plastics, the home of plastics [10]



## 13.5 Kierrätysmuovin markkinatilanne maailmalla

Jättemuovin lajittelussa pitää tuottaa korkealaatuisia laatuja kierrättäjien vaatimusten täyttämiseksi. Muovin kierrättäjät hyväksyvät vain parhaimmat laatu-  
luokat ja korkealaatuisten jättemuovien kysyntä on edelleen korkea. Lajittelemat-  
tomien ja lajitellun jättemuovin hinnat laskevat edelleen. EUWID raportoi elo-  
kuussa 2018 julkaistussa Price Watch -raportissaan, että kierrätysmuovin kalvo-  
laadut menettävät arvostaan edelleen. Kalvolaadun hinnan putoamiset ovat  
keskimäärin 15 €/tonni. Esimerkiksi Saksassa ainoastaan erittäin hyvä kalvolaa-  
tuinen materiaali löytää edelleen myyntikanavia.

Saksan muovin kierrättäjät käyttävät koko kapasiteettiaan ja se vähentää jäte-  
muovin määrää. Kaukoidästä sen sijaan ei löydy enää oikein markkinakanavia  
jättemuoville. Tuontirajoitukset Malesiaan, Vietnamista, Taiwanista ja Bangla-  
deshista tulevat voimaan. Muovien vienti muualle Kauko-idässä on suurimaksi  
osaksi pysähtynyt. Monet jätteiden tuontiportit on nyt suljettu. Ainoastaan Intia

jatkaa muovin tuontia. Kiinaan voidaan edelleen viedä kierrätys tuotteita, kunhan ne täyttävät niille asetetut vaatimukset. Kiina tarkkailee uusiogranulaattien laatua jatkuvasti.

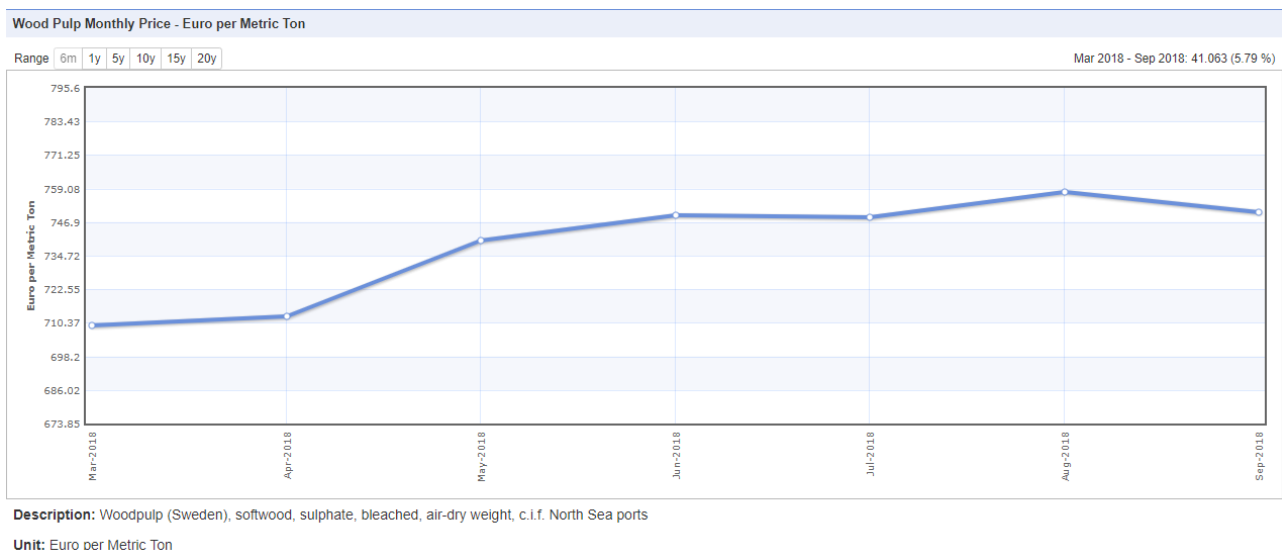
On havaittavissa, että yhä enemmän muovin vientiä Euroopassa siirretään Turkkiin, Bulgariaan, Romaniaan ja Puolaan. Nämä maat laajentavat muovin kierrätyslaitoksiaan. Erityisesti ne kehittävät toimintaansa siihen suuntaan, että kierrätysmuovi voidaan myydä Kiinaan.

Muovien kierrättäjien kysyntä määrittelee muovimarkkinoiden kysynnän. Kierrätysyritykset hyväksyvät vain parasta laatua olevaa jätemuovia. Kierrätysmuoville oli kotimaista ja kansainvälistä kysyntää myös kesällä. [9]

## 13.6 Kuidun hintakehitys

Komposiittimateriaalia valmistettaessa voidaan käyttää yhtenä komponenttina esimerkiksi sellukuitua, jonka saatavuus on tasaista ja varmaa. Sellun markkinahinta tällä hetkellä on suurin piirtein samalla tasolla kuin kierrätysmuovin.

Taulukko 24. Kuidun hintakehitys. Lähde: Index Mundi, [11]



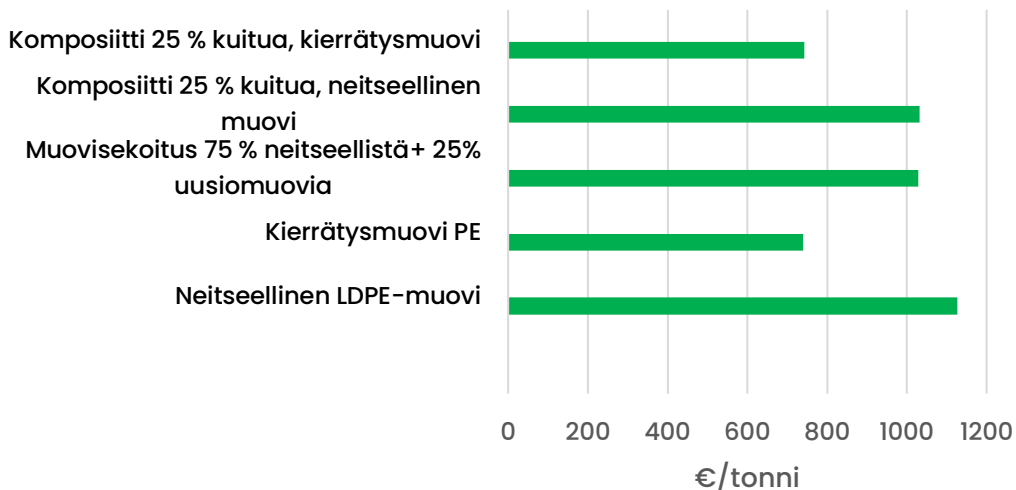
Taulukko 25. Kuidun hintakehitys v. 2018. Lähde: Index Mundi, [11]

Month	Price	Change
Mar 2018	709.31	-
Apr 2018	712.80	0.49 %
May 2018	740.34	3.86 %
Jun 2018	749.29	1.21 %
Jul 2018	748.66	-0.09 %
Aug 2018	757.72	1.21 %
Sep 2018	750.38	-0.97 %

Taulukko 26. Raaka-ainekustannukset (10/2018)

Raaka-ainekustannukset (10/2018)	
Neitseellinen LDPE-muovi	1126 €/tonni
Kierrätysmuovi PE	740 €/tonni
<b>Komposiittimateriaali</b>	
Sellu	750 €/tonni
Muovisekoitus 75 % neitseellistä+ 25% uusiomuovia	1029,5 €/tonni
Komposiitti 25 % kuitua, neitseellinen muovi	1032 €/tonni
Komposiitti 25 % kuitua, kierrätysmuovi	742,5 €/tonni

Raaka-ainekustannusvertailu



## 13.7 Ruiskuvaluprosessin hinta

Valumuotti maksaa halvimmillaan testiajtoa varten alumiinista valmistettuna noin 1500 €. Hintaa tulee lisää muotin koosta, kestävydestä ja siitä montako kappaletta puristetaan kerralla. Tyypillinen valumuotin hinta on noin 20 000 €. Muotin hinnan päälle tulee kustannuksia noin 75 %, jotka koostuvat muottimuu- toksista, koesarjoista, automatisoinnista, tuotannon testisarjoista, ylläpidosta, rahoituksesta. Muotille, joka itsessään maksaa noin 20 000 € tulee lisää hintaa helposti noin 15 000 €, jolloin kokonaisinvestointi on 35 000 € luokkaa..

### **Ruiskuvaluprosessi ja laitteisto**

Tuotteen valmistamiseen ruiskuvalamalla tarvitaan ruiskuvalukone, apulaitteet ja halutun tuotteen valmistamiseen tarvittava muotti. Muovi pitää kuivata ennen ruiskuvalamista ja sitä varten tarvitaan kuivauslaitteisto. Valumuotin lämpötilaa pitää muuttaa prosessin aikana ja siihen tarvitaan lämmitys ja jäähdytyslaitteet. Lisäksi voidaan tarvita tuotteesta riippuen robotti tai kuljetushihna tai molemmat.

Laitteiston koon määrittelee se, millaisia tuotteita halutaan valmistaa. Mitä suurempi valettava kappale on, sitä suurempi laite tarvitaan. Kokoa on kasvatettava myös, jos halutaan puristaa useampia kappaleita kerralla.

Ruiskuvalukoneiden hinnat lähtevät 30 000 € ylöspäin päätyen suuriin koneisiin, joiden hinta on 200 000 € tuntumassa. Apulaitteet maksavat 2000 – 10 000 € ja robotit käyttötarkoituksesta riippuen 10 000 € ylöspäin. Kokonaisinvestointi olisi laitteiden osalta 75 000 € – 125 000 €.

Ruiskuvaluprosessin koneiden lisäksi komposiitin valmistamiseen tarvitaan muovin ja lisäaineiden sekoituslaitteisto. Teollisessa käytössä toimivat sekoituslaitteistot ovat hintaluokaltaan samaa tasoa ruiskuvalukoneiden kanssa. Ruiskuvalamisen työkustannukset eivät poikkea merkittävästi normaalista ruiskuvalutuotannon kustannuksista. Työvaiheet ovat pääosin samat kuin neitseellisellä muovillakin. Lämpötilat ovat muovin mukaiset ja paineita on säädettävä materiaalin seossuhteiden mukaiset. Mitä enemmän materiaaliin on lisätty kuitua, sitä pienempi sen sulaindeksi on ja siten se vaatii enemmän painetta

työstökoneen eri vaiheisiin ja saattaa jonkin verran hidastaa prosessia neitseelliseen muoviin verrattuna.

Jos esimerkiksi tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen mukien hintaa vertaa neitseellisestä muovista tehdyn ja kierrätysmuovista tehdyn tuotteen kesken niin materiaalista johtuva hintaero jää marginaaliseksi. Paljon merkittävämmässä osassa ovat muut tuotanto ja laitekustannukset, sekä henkilöstökustannukset. Vaikka kierrätysmuovi on useita satoja euroja halvempaa, niin sen vaikutus lopputuotteen hintaan on vain muutamia senttejä.

Taulukko 27. Neitseellisestä muovista ja kierrätysmuovista valmistetun tuotteen valmistushinnan vertailua.

Esimerkkilaskelma:			
		Neitseellinen muovi	Kierrätysmuovi
Materiaalin hinta	1126 €/tonni	740 €/tonni	
Materiaalin käyttö/yksi kpl	0.05 kg	0.05 kg	
Kappaleita/tonni	20000	20000	
Materiaalin hinta/kpl	0.06 €	0.04 €	
Yksi työsykli	45.00 sek.	45.00 sek.	
käyttöaste	75.00 %	75.00 %	
työaika/h	45.00 min	45.00 min	
kpl/h	33.75	33.75	
Laitekustannus/h (sähkö, yms.)	25 €	25 €	
laitekustannus/kpl	0.74 €	0.74 €	
Työntekijä/h	40 €	40 €	
Työkustannus/kpl	1.2 €	1.2 €	
Tuotteen muuttuvat kulut	1.98 €	1.96 €	

## 14 Yhteenveto

Materiaalin ruiskuvalaminen onnistui helposti. Prosessissa ei ilmennyt ongelmia, eikä poikkeamia verrattuna uuden muovin ruiskuvalamiseen.

Mittaustulosten perusteella kierrätetty maatalousmuovi sisältää pääasiassa LLDPE muovia niin kuin se oletuksena pitikin sisältää. Kalvomuovi alkuperä on selkeästi havaittavissa sitkeytenä vetolujuustestissä eikä ominaisuudet ole kovin paljon muuttuneet neitseelliseen muoviin verrattuna. Mekaaniset ominaisuudet myös reagoivat lämpötilan muutokseen kuten kalvomuovi yleensäkin.

Iskulujuus on ominaisuus, joka on selkeästi heikentynyt kierrätysprosessin aikana. Iskulujuudesta mitatut arvot menevät selvästi yleisten polyeteenille annettujen viitearvojen alapuolelle.

Väri kierrätysmuovissa on harmaa, mutta sen voi mahdollisesti muuttaa jollakin väriaineella käyttötarkoitukseen sopivaksi.

Suurin ongelma kierrätetyssä maatalousmuovissa on sen ominaishaju, joka ei ole kovin miellyttävä. Haju on mahdollisesti peräisin rehujen säilönnässä käytetyistä kemikaaleista tai sitten kierrätysprosessissa tehdyn pesun pesuainejäätymistä. Kierrätysmuovin käsittelyssä tehtävässä pesuprosessissa olisi varmasti kehittymismahdollisuuksia. Haju ei poistunut tuotteesta, vaikka se on sulatettu kahden kertaan. Ensin granulaattien valmistusprosessissa ja sitten myöhemmin vielä ruiskuvalukoneessa. Haju on varmasti suurin yksittäinen rajoittava tekijä maatalousmuovin jatkokäyttökohdetta kehitettäessä.

Komposiittitestissä kierrätysmuoviin lisättiin mukaan kuitumateriaalia erilaisilla sekoitussuhteilla. Kuidun lisääminen vaikuttaa kierrätysmuovin ominaisuuksiin merkittävästi. Jotkin ominaisuudet muuttuvat kuidun vaikutuksesta jopa päinvastaisiksi. Kuidun lisääminen vaikuttaa lujuusominaisuuksiin jäykkyyttä lisäämällä. Vetolujuus lisääntyy kuidun määrän kasvaessa, mutta sitkeys vastaavasti pienenee kuidun määrän lisääntyessä.

Lämpötilan vaikutus materiaaliin muuttuu kuidun lisäyksessä päinvastaiseksi kuin pelkän kierrätysmuovin osalta. Kun kierrätysmuovissa lämpötilan laskeminen jäykistää materiaalia ja lisää kovuutta niin kuidun lisääminen vaikuttaa siten, että lämpötilan laskeminen haurastuttaa materiaalia.

Komposiittimateriaalista valmistettiin testimielessä ruiskuvalamalla esineitä. Valumuottina käytettiin mukimuottia. Komposiittimateriaalin ruiskuvalaminen onnistui pääpiirteissään melko hyvin. Kuidun lisääminen pienentää materiaalin sulaindeksiä ja siten materiaali on jäykempää kuin pelkkä muovi, mutta tuo ominaisuus on kuitenkin hallittavissa prosessilaitteiden säätöjä muuttamalla.

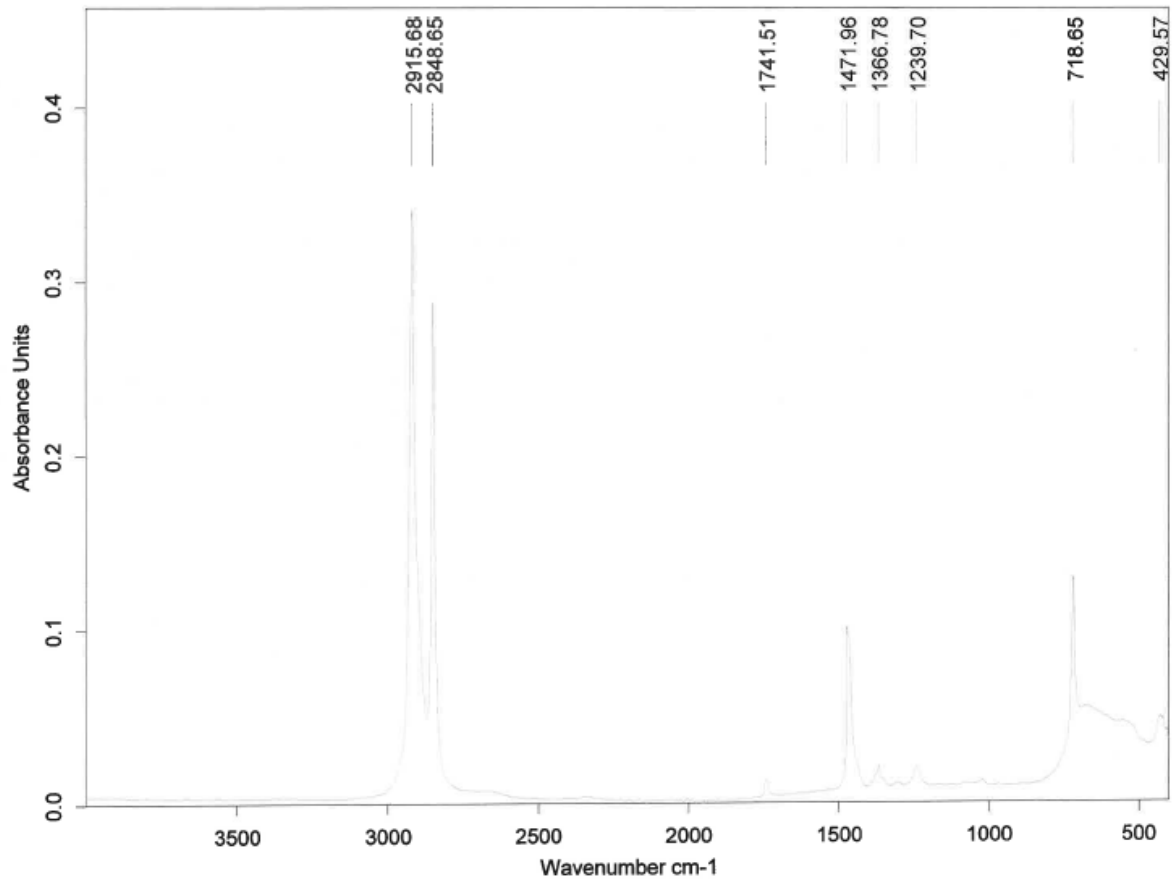
Kustannuksiltaan kierrätysmuovi on lähes puolet halvempaa kuin neitseellinen muovi. Suurimmat kustannukset tulevat jätemuovin uudelleenkäsittelystä, jossa muovi lajitellaan, revitään ja pestään. Tässä vaiheessa on mahdollisuus myös tehdä virheitä, jos muovien lajittelu tai puhdistaminen ei onnistu kunnolla. Nuo virheet tai puutteet käsittelyssä näkyvät myöhemmin muovin laadussa. Pienien valmistusmäärien kohdalla uusiomuovin hinta ei näyttele kovin suurta osaa vaan suurin osa kustannuksista tuotteeseen muodostuu koneista ja laitteista, muottikustannuksista ja henkilöstökuluista. Mitä suurempia valmistusmäärät ovat sitä suuremmiksi muuttuvat säästöt raaka-aineen osalta.

# Lähteet

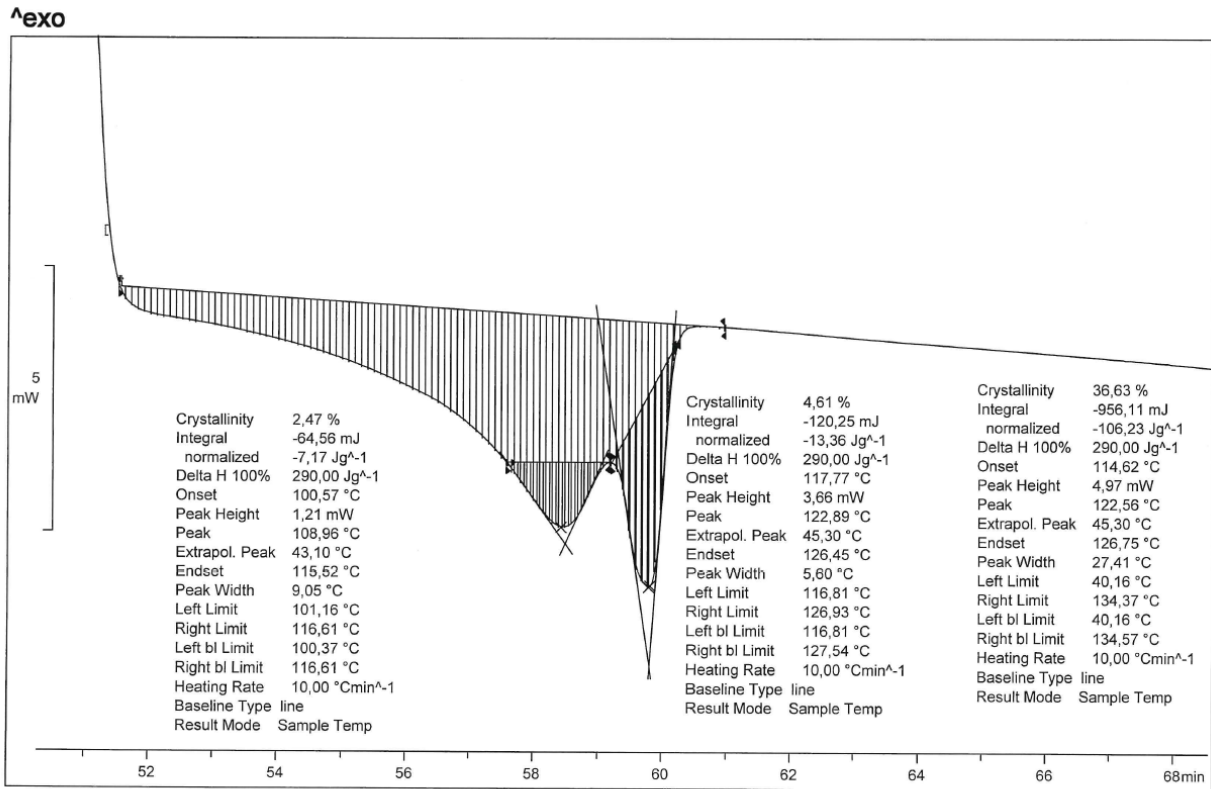
- [1] Technical University of Gabrovo – Milena Kolev, Käännös: Sanna Nykänen – Tampereen teknillinen yliopisto), Polyeteeni (PE), Valuatlas. Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics\\_PE\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PE_FI.pdf) [Viittauspäivä 24.4.2018]
- [2] Muoviteollisuus ry. 2018. Yleistä. Muovitietoa. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/> [Viittauspäivä 25.5.2018]
- [3] Mehrajfatema Mulla, Jasim Ahmed, Hasan Al-Attar, Edgar Castro-Aguirre, Yasir Ali Arfat, Rafael Auras. 2017. Antimicrobial efficacy of clove essential oil infused into chemically modified LLDPE film for chicken meat packaging, Food Control, Volume 73, Part B, 2017, Pages 663-671. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.018> [Viittauspäivä 3.5.2018]
- [4] Motiva Oy, Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden\\_lampoarvot\\_hyotysuhteet\\_ja\\_hiilidioksidin\\_ominaispaastokertoimet\\_seka\\_energianhinnat\\_19042010.pdf](https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf) [Viittauspäivä 3.5.2018]
- [5] Suomen Uusiomuovi Oy. Muovin energiakäyttö. [verkkodokumentti] Saatavissa: [http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi\\_kiertaa/muovien\\_kierratys/energiahyotykytto/](http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/muovien_kierratys/energiahyotykytto/) [viittauspäivä 3.5.2018]
- [6] Bruder, U. 2012. Hyvä tietää muovista, osa 2. Muoviplast-lehti 2/2012. Saatavissa: <http://polymerik.pp.fi/pdf/Osa2-Valtamuovit.pdf> [Viittauspäivä 3.5.2018]
- [7] Alakangas, E. VTT prosessit. Polttokelpoisten muovien tunnistaminen. Saatavissa: [https://www.uusiomuovi.fi/document.php/1/6/muovin\\_poltto-ohje/f6b47689ef58cbab9e026ac37949bbc5](https://www.uusiomuovi.fi/document.php/1/6/muovin_poltto-ohje/f6b47689ef58cbab9e026ac37949bbc5) [Viittauspäivä 3.5.2018]
- [8] Aalto-yliopisto, insinöörienteiden laitos, luentomateriaali, mekaaniset ominaisuudet. Saatavissa: [https://mycourses.aalto.fi/.../KJR-C2004%20Luento%2002c\\_Mekaaniset%20ominaisu](https://mycourses.aalto.fi/.../KJR-C2004%20Luento%2002c_Mekaaniset%20ominaisu). [Viittauspäivä 24.9.2018]
- [9] Plasticker, the home of plastics, muovin hintatilastot. Saatavissa: [https://plasticker.de/preise/marktbericht3\\_en.php?id=183](https://plasticker.de/preise/marktbericht3_en.php?id=183) [Viittauspäivä 31.10.2018]
- [10] Plasticker, the home of plastics, muovin hintakehitys. Saatavissa: [https://plasticker.de/preise/preise\\_myceppi\\_en.php](https://plasticker.de/preise/preise_myceppi_en.php) [Viittauspäivä 31.10.2018]
- [11] Index Mundi, raaka-aineiden hintatietoja. Saatavissa: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=wood-pulp&currency=eur> [Viittauspäivä 31.10.2018]



## Liite 1. FT-IR Spektri



## Liite 2. DSC-analyysi



Lab: METTLER

METTLER TOLEDO STAR® SW 7.01

## Liite 3. Polttoaineiden lämpöarvoja

Taulukko 1 Polttoaineiden lämpöarvoja ja kosteuspitoisuuksia.

Polttoaine	Lämpöarvo	Kosteus %
Moottoribensiini	8,96 kWh/litra	
Dieselöljy	10,05 kWh/litra	
Nestekaasut	12,83 kWh/kg	
Kevyt polttoöljy	10,02 kWh/litra	
Raskas polttoöljy	11,42 kWh/kg	
Maakaasu	10 kWh/m <sup>3</sup>	
Biokaasu	4,4-7,4 kWh/ m <sup>3</sup>	
Kivihilli	7,08 kWh/kg	10
Jyrsinturve	2,7 kWh/kg	48,5
Palaturve	3,3 kWh/kg	38,9
Puupelletit	4,7 kWh/kg	9
Polttohake	700 kWh/irto-m <sup>3</sup>	40
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1 300 kWh/pino-m <sup>3</sup>	20
Pilkkeet (koivu)	1 700 kWh/pino-m <sup>3</sup>	20
Ruokohelpi	4,1 kWh/kg	14
Kaura	3,6 kWh/kg	20
Olki	3,8 kWh/kg	20

Lähteet: 1) Tilastokeskus, Energiatilastot Vuosikirja 2007. 2) Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045. 3) Kari, M. (toim.) 2009. Maatilayrityksen energiaopas. ProAgria Keskusten Liitto, julkaisuja 1077.