



KESTÄVÄN KEHITYKSEN MUKAISEN KUITURAAKA-AINEEN ETSINTÄ SUOMINEN KUITUKANKAAT OY:LLE

Suvi Tanni

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011
Tekstiili- ja vaateustekniikan koulutus-
ohjelma
Työn ohjaaja: DI Keijo Kivimäki
Työn valvoja: Niina Laiho, Suominen
Kuitukankaat Oy
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tekstiili- ja vaateustekniikan koulutusohjelma

TANNI, SUVI: Kestävän kehityksen mukaisen kuituraaka-aineen etsintä Suominen Kuitukankaat Oy:lle

Opinnäytetyö 44 s., liitteet 7 s.
Huhtikuu 2011

Kestävä kehitys ja niin sanotut vihreät arvot ovat nyky-yhteiskunnassa suuressa arvotuksessa. Markkinoilla on monenlaista ympäristöystävälliseksi nimitettyjä tuotteita, jotkut ovat aidosti kestävän kehityksen tuotteita, osa vain löyhästi. Suominen Kuitukankaat Oy on kehittämässä täysin kestävän kehityksen mukaista kuitukangasta. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä uutta kestävän kehityksen mukaista kuitumateriaalia Suominen Kuitukankaat Oy:lle. Kuitua, joka soveltuisi kuitukankaiden valmistamisessa käytettyyn karstaukseen.

Kestävän kehityksen mukaisen kuitumateriaalin etsinnässä lähdettiin liikkeelle ympäristöystävällisyyden määritelmästä. Määritelmän pohjalta päätettiin keskittyä etsinnöissä biohajoaviin, luonnonkuituihin sekä kierrätettyihin materiaaleihin. Löydettyjen biohajoavien biopolymeerien joukosta polyhydroxyalkanoate (PHA) -ryhmä on potentiaalinen Suominen Kuitukankaat Oy:n sovelluksiin. Löydetty biopolymeerit tarvitsevat kehittelyä, sillä yleisesti niitä valmistetaan granulaattina eikä kuituna. Erityyppisiin sovelluksiin mahdollisesti sopivat luonnonkuidut pellava, hamppu sekä kenaf. Löydettyistä kuiduista mahdollisesti laajin tarjonta löytyy kierrätetyistä kuiduista. Suominen kuitukankaalla testattavana olleista kierrätyskuiduista viskoosi ja polyesteri osoittavat suurinta potentiaalia.

Opinnäytetyöhön vaikutti suuresti biopolymeerien kuitutuotannon puuttuminen.

Työ sisältää luottamuksellista yritystietoa, joka on poistettu julkisesta osiosta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Textile and clothing technology

TANNI, SUVI: The search for sustainable fibers for Suominen Nonwovens Ltd.

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 7 pages
April 2011

In the modern society sustainable development and so-called green values are largely valued. There is wide range of environmentally friendly products in the markets today. Suominen Nonwovens Ltd. is developing a fully sustainable nonwovens to meet the increasing interest in green values. The purpose of this thesis was to find sustainable fiber and unused fiber material for Suominen Nonwovens Ltd.

The search for sustainable fiber material was focused on biodegradable biopolymers, natural fibers and recycled fibers. Among the found materials was polyhydroxyalkanoate (PHA) group which showed potential in becoming an application for nonwoven product. The natural flax, hemp and kenaf were also showing potentiality to be used in nonwoven applications. Recycled fibers were one of the possibilities for sustainable material. In Suominen Nonwovens Ltd's own laboratory samples from the recycled fibers were tested for properties. From the tested fibers, viscose and polyester showed most potential.

Mostly biopolymers are manufactured in the granulate form, which needs to be converted into staple fiber in order to be beneficial in carding process.

This thesis includes confidential company information which is removed from the public thesis.

Key words: Sustainable development, biopolymer, natural fibers, recycled fibers.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Suominen Kuitukankaat Oy:tä mielenkiintoisesta ja innostavasta opin-
näytetyön aiheesta. Työ oli kiinnostava alusta loppuun. Koko Suominen Kuitukankaat
Oy:n henkilökuntaa haluan kiittää lämpimästä ja avoimesta vastaanotosta, aina kun pis-
täydyin Nakkilassa työni merkeissä.

Suuret kiitokset kuuluvat myös Suominen Kuitukankaat Oy:n laboratoriohenkilökunnal-
le suorittamastaan kuitutestauksista.

Ehdottomasti suurimman kiitoksen ansaitsee Niina Laiho, työntäyteisestä auttamisestani
ja kannustavasta asenteesta koko oppinäytetyöni aikana.

Suurkiitokset myös työni ohjaajalle Keijo Kivimäelle sekä kaikille, jotka antoivat vink-
kejä työni edistyessä. Te tiedätte keitä olette.

Tampereella 12. Huhtikuuta 2011

Suvi Tanni

SISÄLLYS

ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tavoitteet ja kulku.....	6
1.2 Kuitutuotanto globaalisti	6
2 UUDEN KUITURAAKA-AINEEN ETSIMINEN	7
2.1 Suominen Kuitukankaat Oy	7
2.2 Uuden raaka-aineen etsinnän syyt.....	8
2.3 Tutkimusmenetelmät.....	8
3 KESTÄVÄN KEHITYKSEN MUKAINEN RAAKA-AINE.....	9
3.1 Ympäristöystävällisyyden määrittely	9
3.2 Biohajoavuuden standardit.....	10
3.3 Kierrätetyt materiaalit.....	12
3.4 Luonnonkuidut	13
4 LÖYDETYT MATERIAALIT	13
4.1 Biopolymeerit.....	13
4.1.1 Polyhydroxyalkanoate (PHA)	16
4.1.2 Polyhydroxybutyrate (PHB)	17
4.1.3 Poly-3-hydroxy butyrate-co-valerate (PHBV).....	18
4.1.4 Poly(caprolactone) (PCL)	19
4.1.5 Polybutylene succinate (PBS).....	19
4.1.6 Alginaatti.....	20
4.2 Yhteenvedo löydetyistä biopolymeereistä	20
4.3 Runkokuidut	22
4.3.1 Pellava	23
4.3.2 Hamppu	23
4.3.3 Kenaf.....	24
4.4 Kierrätetyt kuidut	24
4.4.1 Kierrätetty viskoosi	25
4.4.2 Kierrätetty polyesteri.....	26
4.4.3 Kierrätetty meta-aramidi ja ballistiset kuidut.....	27
5 OMAT PÄÄTELMÄT	29
5.1 Tulokset ja johtopäätökset.....	29
5.2 Kriittinen näkemys työhön	30
LÄHTEET.....	32
LIITTEET	36

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet ja kulku

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä uutta, kestävän kehityksen mukaista, kuitua Suominen Kuitukankaat Oy:n tietoisuuteen. Ensisijaisena tavoitteena oli löytää Suominen Kuitukankaat Oy:llä käyttämättömiä kuituja, mitkä soveltuisivat kuitukankaiden valmistamisessa käytettävään karstaukseen. Opinnäytetyön tietojen pohjalta Suominen Kuitukankaat Oy:n tarkoitus on jatkaa pitkän tähtäimen tuotekehitystään täysin kestävänkehityksen mukaiseen kuitukankaaseen.

Työn edetessä huomattiin yritysten tarjoavan materiaalia suuremmaksi osaksi granulaatimuodossa eikä kuitumuodossa, jota Suominen Kuitukankaat Oy oli toivonut. Havainnon jälkeen jatkettiin kuitenkin raaka-aineiden etsintää ensisijaisesti kuitujen muodossa, mutta huomioitiin myös muut muodot.

1.2 Kuitukangastuotanto globaalisti

Kuitukangas on kerros kuituja, jotka ovat muodostaneet verkon tai tasomaisen levyn, mikä on sidottu millä tahansa sitomistekniikalla lukuun ottamatta kudontaa tai neulontaa. Kuituraaka-aineet koostuvat lähinnä synteettisesti valmistetuista kuiduista. Tecno Ltd:n (Nonwoven Textiles 1997–2007, World Survey) tutkimuksen mukaan kuitukankaiden materiaalina käytetään polypropeenä 63 %, polyesteriä 23 %, viskoosia 8 %, akryyliä 2 %, polyamidia 1,5 % ja muita erikoisia kuituja 3 %. Kuitukankaita voidaan tehdä rajallista käyttöaikaan vaativiin sovelluksiin, kertakäyttöisiksi tai erittäin kestäväksi materiaaliksi. Yksin tai muiden materiaalien kanssa, kuitukankaalle on monenlaisia käyttökohteita kuluttajille tai teollisuudelle suunnattuina. Kuitukankaista valmistetaan imukykyisiä hygieniatuotteita sekä sovelluksia maatalouteen, vaatetukseen, sisustukseen, teollisuuteen, lääketieteeseen sekä henkilökohtaiseen hygieniaan. (Edana 2008; Wilson, 2007, 9–10)

Rullatavarana kuitukankaiden päämarkkinasegmentit vuonna 2008 olivat hygienia (33,3 %), rakentaminen (17,9 %), pyyhintätuotteet (15,8 %) ja suodatus (6,1 %). Vuonna 2009 kuitukankaiden valmistus maailmassa oli noin 6 400 000 tonnia, josta Euroopan alueen tuotanto oli noin 1 600 000 tonnia. Vielä vuonna 2008 Eurooppa oli johtava kuitukankaiden tuottaja, mutta vuonna 2009 Kiinan tuotannon määrä ylitti Euroopan. Suominen Kuitukankaat Oy on menestynyt kuitukankaan tuottaja. Vuonna 2006 se sijoittui 40 suurimman kuitukangastuottajan listalle sijalle 33. (Edana 2008; Nonwovens Industry, 2006)

2 UUDEN RAAKA-AINEEN ETSIMINEN

2.1 Suominen Kuitukankaat Oy

Tämä opinnäytetyö tehtiin Suominen Kuitukankaat Oy:lle, joka kuuluu Suominen konserniin yhdessä Suominen Codi Wipes:in ja Suominen Joustopakkaukset Oy:n kanssa. Suominen Kuitukankaat Oy:n kuitukangastehdas sijaitsee Nakkilassa, Länsi-Suomessa ja se valmistaa rullatavarana kuitukangasta pyyhintä-, hygienia-, ja haavanhoitotuotteisiin. Suominen Kuitukankaat Oy:llä on myös oma kuitutuotanto, jossa valmistetaan polypropeenikuitua omaan käyttöön. (Suominen Yhtymä 2008, Tuotamme tuotteita ja...; Suominen Yhtymä 2008, Luomme uusia mahdollisuuksia.)

Suominen Kuitukankaat Oy:n valmistamiin kuitukankaisiin kuuluu vesineulattuja Fibrella® ja Biolace®- kuitukankaita sekä lämpösidottuja Novelin® ja Karelin™- kuitukankaita. Fibrella® ja Biolace® soveltuvat pyyhkimis- ja haavanhoitosovelluksiin kun taas Novelin®, Karelin™ ja räätälöity Fibrella® soveltuvat imukykyisempiin hygieniatuotteisiin. (Suominen Yhtymä 2008, Suominen kuitukankaiden brändit.)

Suominen Kuitukankaat Oy käyttää tuotteissaan monipuolisesti erilaisia kuituja, riippuen halutuista ominaisuuksista. Fibrella®, jota käytetään pyyhkimis- ja puhdistuskäyttöön, valmistetaan polypropeenista, polyesterista, viskoosista, puuvillasta, Ingeo™-kuidusta sekä muista erikoiskuiduista. Ingeo™ on maitohaposta valmistettu biopolymerikuitu ja viralliselta nimeltään polylactic acid (PLA). Myös pyyhkimistuotteeksi

soveltuva Biolace®, valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista kuten puuvillasta, viskoosista ja Ingeo™-kuidusta. Hygieniatuotesovelluksissa käytetään Novelin® sekä Karelin™ kuitukankaita. Novelin® valmistetaan polypropeenista tai polypropeenin ja polyeteenin seoksesta. Karelin™ valmistetaan lämpösidottavista kuiduista, jotka voivat olla myös biopohjaisia. Luonnonkuituja voidaan lisätä sekoitteena. (Suominen Yhtymä 2008, Fibrella; Suominen Yhtymä 2008, Biolace; Suominen Yhtymä 2008, Novelin; Suominen Yhtymä 2008, Karelin)

2.2 Uuden raaka-aineen etsinnän syyt

Vihreät arvot, ympäristöystävällisyys, biohajoavuus, elinkaariajattelu sekä kestävä kehitys ovat kasvavassa arvostuksessa kaikissa tuotteissa, niin myös kuitukankaiden kohdalla. Niin sanottuja vihreitä tuotteita löytyy kaikkialta, ja ympäristöystävällisiksi tuotteiksi luetellaan hybridiautoista shampoisiin, jotka pohjautuvat luonnosta peräisin oleviin ainesosiin. Vaikka tämänhetkisessä maailmassa vihreiden tuotteiden määrittäminen on vaihtelevaa, ovat ympäristöystävällisemmät tuotteet tulleet jäädäkseen ja niitä löytyykin kaupan hyllyiltä kuluttajien ostettavaksi. (Pytel 2009, 58)

Vaikka markkinalliset ja kehitystyön jatkamisen syyt, ovat riittäviä vaikuttajia uuden raaka-aineen etsinnässä, on myös kehitystyö kohti vähemmän ympäristöä kuormittavaa tuotetta aiheellinen. Pitkällä tähtäimellä Suominen Kuitukankaat Oy:n kehitystyön tavoitteena on aikaan saada täysin kestävä kehityksen mukainen kuitukangas, jolla siis on sekä ympäristölliset syyt että taloudellinen merkitys kehitykseen.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Tietojen keräyksen pohjaksi päätettiin etsiä raaka-aineita, jonka ominaisuutena olisi ympäristöystävällisyys, mutta jolle myös löytyisi valmistaja. Raaka-aineen ei kuitenkaan tarvinnut olla tuotannossa asti, vaan kehitysasteen raaka-aineetkin kelpasivat. Varsinaisessa tiedonhankinnassa, uuden raaka-aineen etsinnässä, käytettiin hyväksi Suominen keräämiä PowerPoint esityksiä eri tahoilta, joita päästiin selaamaan Nakkilassa. Suominen Kuitukankaat Oy:n tehtaalla Nakkilassa käytiin muutama kerta tiedonhankin-

nan puitteissa. Näistä seminaareista saatiin vihjeitä, millä yrityksen sivulla kannattaa käydä sekä mitä uusia materiaaleja on tarjolla. Tiedonhankintaa laajennettiin Suomen kirjaston valikoimasta, mutta suurin etsintätyö suoritettiin Internetin kautta, eri yritysten sivuilta sekä haettiin tietoa raaka-aineen nimillä. Tuotetiedot raaka-aineista, yritysten kotisivuilla, olivat suppeita, joten usein turvauduttiin lähettämään sähköpostia yritykselle, joihin vastattiin vaihtelevalla menestyksellä.

Kaikki etsintöjen tulokset, kuten raaka-aineen-, valmistajan- ja yhteydenottotiedot kerättiin Excel-taulukoon englannin kielellä. Tietoa kerättyä tähän yhteenvedotaulukoon, lähetettiin väliaikatietoja Suominen Kuitukankaat Oy:lle. Suominen keskeytti niiden raaka-aineiden etsinnät, jotka olivat jo heille tuttuja, sekä ilmaisi lähemmän kiinnostuksen niille raaka-aineille, jotka kiinnostivat heitä enemmän.

Etsintöjen rajoituksena, laajan materiaalimäärän läpikäymisen lisäksi, toimi jo Suomen tuotannossa ja tiedossa olevat raaka-aineet, kuten PLA; maitohaposta rakennettu biohajoava kuitu, viskoosi, puuvilla sekä selluloosamuuntokuitu lyocell. Kuidusta piti pystyä valmistamaan kuitukangasta Suomen konekannalla, erityisesti sen piti soveltua karstaamisen. Rajoituksia kuitujen sitomisesta kuitukankaaksi ei tehty. Etsinnöistä rajattiin pois eläinperäiset materiaalit, selluloosamassa sekä sekoitteet viskoosin, puuvillan tai PLA:n kanssa.

3 KESTÄVÄN KEHITYKSEN MUKAINEN RAAKA-AINE

3.1 Ympäristöystävällisyyden määrittäminen

Määriteltäessä karkeasti ympäristöystävällisyyttä, tarkoitetaan sillä tuotetta tai palvelua, jolla ei ole haitallisia vaikutuksia ympäristölle ja elimistölle. (Encarta 2009, World English Dictionary)

Ennen tiedonhankinnan aloitusta, keskusteltiin Suomen yhteyshenkilön kanssa kestävä kehityksen määritelmästä. Kestävä kehitys on laaja käsite, mihin voidaan sisällyttää ympäristöystävälliseksi määritellyn materiaalin elinkaariajattelu, ympäristöystävälli-

syysnäkökulma, käytön vaikutukset ympäristöön sekä tuotannon ja käytön turvallisuusnäkökulmat. Keskusteluissa aiheena oli myös mahdollisen ympäristöystävällisen materiaalin valmistajan kriteerit. Huomioon pitäisi ottaa, uuden materiaalin etsinnässä, valmistajan taloudelliset mahdollisuudet valmistaa tuotetta pitkällä tähtäimellä. Nämä kohdat jätettiin vähemmälle tarkastelulle tässä opinnäytetyössä, mutta ovat tärkeitä kohtia jatkossa.

Ympäristöystävällisille tuotteille myönnetään erilaisia merkintöjä, jotka ilmoittavat tuotteen tai palvelun ympäristöystävällisyyden. Ympäristömerkkiä haettaessa tietyt kriteerit otetaan huomioon. Tekstiiliraaka-aineiden kohdalla kriteerit löytyvät tuotannosta, valmistuksesta, tuotteen elinkaaresta sekä tuotteen hävityksestä. Ympäristöystävällisen tekstiili raaka-aineen merkintäkriteerit ovat orgaanisuus, geeninen muuntaminen, jätevedet, ilmanpäästöt, energian kulutus, työntekijöiden työturvallisuus, kuluttajan turvallisuus, sosiaaliset kriteerit, kemikaalijäämät ja kohtuullinen vedenkäyttö. Jotta luonnonkuitua pystytään kutsumaan orgaaniseksi, on sen kasvatuksessa huomioitava luonnonmukainen maatalous, joka ylläpitää maaperän, ekosysteemin sekä ihmisten terveyttä. Orgaanisuuden standardit ulottuvat sadonkorjuusta vastuulliseen valmistukseen. (Wilson & Mowbray 2008, 10,13; IFOAM, 2009)

Tässä työssä keskityttiin kierrätettyihin, uusiutuvista luonnonvaroista saatuihin sekä biohajoaviin kuituihin ja materiaaleihin. Koska kierrätetyt materiaalit vähentävät uuden materiaalin tarvetta, uusiutuvat luonnonvarat pitkällä aikavälillä tuottavat lisää materiaalia ja biohajoavat materiaalit oikein hävitettynä vähentävät kaatopaikkajätettä, voidaan näin jaoteltuja materiaaleja kutsua kestävä kehityksen mukaisiksi.

3.2 Biohajoavuuden standardit

Biohajoaminen on aineen hajoamista mikro-organismien avulla orgaaniseksi ja epäorgaaniseksi molekyyleiksi, joita eliöstöt voivat hyödyntää (Wilson & Mowbray 2008, 89). Biohajoavuudelle on määritetty omat standardit SFS-EN 13432, ASTM D 6400 ja ISO 14851 joihin biohajoavien materiaalien kohdalla viitataan.

Eurooppalainen SFS-EN 13432 liittyy pakkausten ja pakkausmateriaalien vaatimukseen, joiden ominaisuutena on biohajoaminen ja kompostoituminen. Standardi sisältää pakkausten hyväksyntään tarvittavat testausmenetelmät ja arviointiperusteet. Kuitenkin, SFS-EN 13432 esiintyi useasti löydettyjen materiaalien biohajoavuuden osoituksen yhteydessä. (SFS-EN 13432, 2001, 1)

Standardin arviointikriteereihin kuuluu pakkausten kemialliset ominaisuudet, eli haihtuvat kiintoaineet ja raskasmetallit ja muut myrkylliset aineet, joita saa olla tietty määrä. Arviointikriteereihin kuuluu myös biohajoavuus, disintegraatio ja ekotoksisuus. Disintegraatio kuvaa materiaalin fysikaalista hajoamista erittäin pieniin osiin ja ekotoksisuus hajoaneen materiaalin fysikaalis-kemikaalista vaikutuksia kompostiin. Itse biohajoavuuden kriteereissä pitää määrittää pakkausmateriaalin sisältämän orgaanisten osien biohajoavuus sekä materiaalin aerobinen biohajoavuus. Aerobinen hajoaminen on hajoamista ilman haitallisten kaasujen muodostumista. (SFS-EN 13432, 2001, 8, 14, 16, 18; Turunen, 2003, 41)

Aerobisessa biohajoavuustestissä määritetään biohajoavuuden raja-arvo, eli testimateriaalin hiilen muuttuminen hiilidioksidiksi ja biomassaksi. Aerobisen biohajoavuustestin kesto on 6 kuukautta, jonka aikana testimateriaalin biohajoavuusprosentiksi on tultava vähintään 90 % vertailuaineen, mikrokiteisen selluloosajauheen, hajoavuudesta. Anaerobinen biohajoavuustesti testaa testimateriaalista lähtevän biokaasun muodostumista. Anaerobinen biohajoaminen ei ole kompostoitumista, vaan hajoamista tilassa jossa hajoamiselle ei ole riittävästi happea. Tämän testin kesto on korkeintaan 2 kuukautta, jonka aikana muodostuneen biokaasun biohajoaminen on oltava 50 %. Biokaasu, anaerobisessa hajoamisessa, on useasti hiilidioksidia ja metaania. (SFS-EN 13432, 2001, 16; Turunen, 2003, 42)

ASTM D6400 vastaa EN 13432- standardia. ATSM D6400 koskee muoveja ja muovituotteita, jotka ovat suunniteltu kompostoitumaan kunnallisissa ja teollisissa laitoksissa, joissa toteutuu aerobinen kompostoituminen. Standardin saaneen muovimateriaalin on kompostoitava tyydyttävästi ja sen biohajoamisnopeus on oltava vertailtavissa tunnetun kompostoituvan materiaalin kanssa. Lisäksi kompostoitunut lopputuote ei saa vähentää hajoamisellaan kompostin hyödyllisyyttä. (ASTM international, 2006–2011)

ISO 14851 on kansainvälinen standardi, jonka tehtävänä on määrittää muoviaineiden aerobista biohajoamista nestemäisessä aineessa. Menetelmä toteutetaan mittaamalla hapenkulutusta suljetusta systeemistä. Ne olosuhteet, joissa tätä standardia käytetään, eivät välttämättä vastaa optimaalisinta olosuhdetta, jossa biohajoamista voisi esiintyä. Standardin tarkoitus on vain määrittää potentiaalista biohajoamista muoviaiaineesta tai antaa viitteitä niiden biohajoamisesta luonnollisessa ympäristössä. (ISO 14851, 2003, 1)

3.3 Kierrätetyt materiaalit

Markkinoilla on paljon kertakäyttöistä tavaraa, joista suurin osa käytön jälkeen päätyy kaatopaikoille. Vastaus joillekin kertakäyttöisille tuotteille on kierrätys. Kierrätyksen positiiviset vaikutukset löytyvät luonnonvarojen säilyttämisestä, kaatopaikkojen tarpeen vähentymisestä sekä kierrätyksen avulla tarjoutuneesta edullisesta raaka-aineesta. Vaikka kierrätys näennäisesti vaikuttaa yksinkertaiselta valinnalta, on kierrätys monimutkaista, eikä kierrätys tekstiilialalla todellisuudessa ole suurta. Tekstiilien kierrätyksessä pääosassa ovat kuidut. Kierrätystekniikoiden lähestymistapoja materiaaleille, niin kuituille kuin muillekin, on kierrättää tuote alkuperäisessä muodossa, sulattaa muovituotteet uuteen muotoon, muuttaa muovituotteet peruskemikaaleiksi tai polttoaineeksi tai viimeinen tekniikka on käyttää materiaalia jätteiden polttamisessa ja hyödyntää prosessin lämpöä. Kierrätysmateriaalia saadaan yhteiskunnalta, eli kuluttajilta sekä teollisuudelta. (Wang, 2006, 1–2)

Teollisuudelta tullut tekstiilijäte on sivutuotetta, jota voi auto- ja ilmailuteollisuudessa, rakennus, huonekalu, paperi tai vaatealoilla hyödyntää. Laadultaan tämä tekstiili-, kuitu- ja puuvillateollisuuden sivutuote on tunnettua raaka-ainepitoisuuksiltaan verrattuna kuluttajalta saatuun materiaaliin. Kuluttajien tekstiilijätteitä ovat vaatteet ja muut kotitalouden artikkelit, joista kuluttaja on päättänyt luopua. Kuluttajat vievät tekstiilit hyväntekeväisyyskierrätyskohteisiin kuten pelastusarmeijalle, mistä paremmat tuotteet myydään eteenpäin ja huonommat myydään lumpun kerääjille. Usein tämä materiaali on laadultaan epätasaista, eri vaatteiden kuitusekoitussuhteiden vaihdellessa. (Hawley, 2006, 10–11)

3.4 Luonnonkuidut

Luonnossa on paljon materiaalia, lehtiä, siemeniä, hedelmiä ja kasvivarsia. Näistä materiaaleista voi saada tekstiilikäyttöön kuitua. Näitä kasveista saatuja kuituja pidetään usein uusiutuvana luonnonvarana sekä luonnollisesti biohajoavana materiaalina. Vaikka luonnonkuituja on käytetty hyväksi tekstiiliteollisuudessa jo useita tuhansia vuosia, nykyään luonnonkuidut ovat saaneet uuden lisäarvon ympäristöystävällisinä kuituina. Lisäarvon lisäksi luonnonkuiduille on löytynyt uusia, moderneja, käyttökohteita komposiiteissa. (Kozlowskin, Baranieckin & Barriga-Bedoyan, 2005, 36)

Vaikka luonnonkuitujen ympäristöystävällisyysarvoa voidaan spekuloida niiden kasvatuksen vaatimista ja aiheuttamista ympäristöhaitoista, voidaan runkokuitujen kasvatuksen kohdalla tätä kohtaa hälventää hieman. R. Kozlowskin, P. Baranieckin ja J. Barriga-Bedoyan (2005, 36) mukaan kasvatettaessa runkokuituja optimaalisissa viljelyolosuhteissa, niiden kasvatus aiheuttaa vain vähän haittaa ekosysteemille. Tämä perustuu siihen, että runkokuituja pystyy kasvattamaan eri ilmasto-vyöhykkeissä, sekä niiden kyvystä kierrättää hiilidioksidia ilmakehästä. Tällaista, kasvien varsissa tukirakenteena toimivaa runkokuitua, kasvaa muun muassa pellavan, hampun, juutin sekä kenafin varressa. Tunnetuimpiin runkokuituihin lukeutuu pellava sekä määrällisesti eniten tuotettu juutti. (Boncamper, 2004, 117; Kozlowskin, Baranieckin & Barriga-Bedoyan, 2005, 36)

4 LÖYDETYT MATERIAALIT

4.1 Biopolymeerit

Polymeeri koostuu pienistä samankaltaisista molekyyleistä, jotka muodostavat yhdessä suuremman molekyylin. Polymeerejä esiintyy niin eliöissä, luonnossa kuin ihmisen tekemissä tekoaineissa, kuten muoveissa (Polymeeri, 2005). Biopolymeerit ovat polymeerejä, jotka ovat joko biologista, mutta eivät fossiilista alkuperää tai herkkiä hajoamaan luontoon mikro-organismien vaikutuksesta. On myös biopolymeerejä, jotka omaavat molemmat ominaisuudet. Biopolymeerit ovat suunniteltu korvaamaan biohajoamattomien polymeerien tuotteita, kuten kestopuoveja, erityisesti vähentämään kaatopaikkajä-

tettä. Biopolymeerejä ovat polysakkaridit, kuten selluloosa, tärkkelys, hiilihydraattipolymeerit, joita bakteerit ja sienet tuottavat sekä eläinproteiiniin perustuvat polymeerit, kuten villa, silkki, gelatiini ja kollageeni. Biopolymeerien tarjonnasta löytyy myös syntetisestisesti kehiteltyjä biopolymeerejä. (Johnson, Mwaikambo & Tucker, 2003, 3)

Biopolymeerien jaottelu on haastavaa sillä niitä on usein jaoteltu erityyppisesti kemikaalirakennejaottelusta aina prosessointitavan mukaiseen jaotteluun asti. A-M Clarinval ja J. Halleux jaottelevat biopolymeerejä niiden alkuperän mukaan kahteen ryhmään: Luonnolliset polymeerit, eli polymeerit jotka tulevat luonnonvaroista sekä syntetisoituihin polymeereihin, joita saadaan raakaöljystä. Molemmat pääryhmät jaotellaan aliryhmiin kemiallisen rakenteen avulla. (Clarinval & Halleux, 2005, 3)

A-M Clarinvalin ja J. Halleuxin mukaan luonnonvaraisiin biopolymeereihin kuuluu polysakkaridit, proteiinit, lipidit ja luonnonkumi, mitkä esiintyvät luonnossa sinällään. Luonnonvaraisiin biopolymeereihin lukeutuvat myös polyesterit, joiden lähtöaine on luonnollista alkuperää. Näitä ovat osaksi tai kokonaan bio-pohjautuviin biopolymeereihin lukeutuvat polyesterit, jotka mikro-organismit tai kasvit ovat valmistaneet sekä polyesterit, jotka ovat syntetisoidut bio-johdatetusta aineesta. (Clarinval & Halleux, 2005, 3)

Mineraaliseen alkuperään lukeutuvat polymeerit ovat myös jaoteltuna aliryhmiin kemiallisen rakenteen avulla, mutta tämän työn kannalta tärkein ryhmä on alifaattiset polyesterit. Alifaattisuus kuvaa kemiallista rakennetta ja tähän ryhmään lukeutuvat polymeerit ovat siis prosessoitu mineraalipohjaisesti. Nämä fossiilisesta alkuperästä saadut polymeerit ovat biohajoavia. (Clarinval & Halleux, 2005, 3)

Tähän karkeaan jaotteluun on poikkeuksia. Joitakin luonnonvaraisiksi biopolymeereiksi jaoteltuja voidaan syntetisoida alifaattisiksi polyestereiksi mineraalisesta aineesta. Tästä esimerkkinä on PLA, polylactic acid, jota valmistetaan yleisesti luonnonvaraisesta maitohaposta, mutta mitä voidaan valmistaa myös öljystä. Tässä työssä esiintyy muutama, rakenteensa puolesta alifaattisiksi polyestereiksi jaoteltu biopolymeerit, jotka ovat osaksi tai kokonaan luonnollisesta alkuperästä muokattuja biopolymeerejä. (Clarinval & Halleux, 2005, 4)

Biohajoavia biopolymeerejä ovat siis luonnon biopolymeerit, biopohjaisista materiaaleista saadut biopolymeerit sekä muutama fossiilisesta alkuperästä syntetisoitu polymeeri. Seuraavassa taulukossa, (taulukko 1), on jäsennellyt biopolymeerit näiden pohjaraaka-aineiden alkuperän mukaisesti. Osaan taulukon lyhenteistä törmättiin tiedonhankinnan aikana ja osa on tarkemmin selvitettyä myöhemmässä osuudessa. (Carus, 2010, 22)

TAULUKKO 1. Biopolymeerit alkuperänsä mukaan (Carus, 2010, 22; Clarinval & Halleux, 2005, 22; Johnson, Mwaikambo & Tucker, 2003, 5.)

Biohajoavat biopolymeerit			
fossiilista alkuperää	Osaksi biopohjainen	Kokonaan biopohjainen	Luonnon biopolymeerit
PBS	Tärkkelys-sekoitteet	TPS	Proteiinit
PBSL		tärkkelys asetaatti	- villa
PBSA	PLA sekoitteet	PLA	- silkki
PCL	PGA	PHA	- kaseiini
PEA		- PHB	Polysakkariidit
PBT		- PHV	- Alginaatti
- PBAT		- PBVH	- Kitosaani
- PBST		selluloosamuuntokuidut	- selluloosa
- PTMAT		selluloosa asetaatti	- tärkkelys
		PO3G	Luonnonkumit

Värikoodilla merkityt biopolymeerit PBS, PCL, PHA, PHB, PHBV ja Alginaatti esiintyvät myöhemmin tässä työssä. Näistä biopolymeereistä löydettiin eniten kirjallista tietoa sekä valmistavia tai toimittavia yrityksiä. Muut taulukossa esiintyvät biopolymeerit ovat, joko merkittyjen biopolymeerien johdannaisia tai vähemmän tunnettuja biopolymeerejä. Niitä ovat fossiilisesta alkuperästä prosessoidut PBSL (polybutylene succinate-co-l-lactate), PBSA (polybutylene succinate adipate), PEA (polyesteramide), PBT (polybutylene terephthalate), PBAT (polybutylene adipate terephthalate), PBST (polybutylene succinate terephthalate) ja PTMAT (polytetramethylene adipate terephthalate). Osaksi biopohjainen PGA (polyglycolic acid) esiintyy kirjallisuudessa, mutta sille ei löytynyt valmistajaa. Kokonaan biopohjaiset TPS (thermoplastic starch), PHV (polyhydroxyvalerate) ja PO3G (polytrimethylene ether glycol) eivät esiinny tässä työssä sen tarkemmin. (Clarinval & Halleux, 2005, 22, 24–26)

Ympäristöstä saatuja biopolymeerejä voidaan hyödyntää sellaisenaan, pehmitettynä, täyteaineena tai muunneltuna kemiallisen reaktion avulla. (Averous, 2007.) Polymeerin pehmittäminen tapahtuu lisäaineen avulla ja täyteaineen käyttö parantaa ominaisuuksia tai toimii valmistuskustannuksien alentajana (Muoviyhdistys ry, 1992, 33.)

4.1.1 Polyhydroxyalkanoate (PHA)

Polyhydroxyalkanoate (PHA) on alifaattinen polyesteri, biopolymeeri, jonka valmistus perustuu luonnollisen lähtöaineen luonnolliseen prosessointiin eli sokereiden käymiseen bakteerien avulla. Sokereiden lähtöaineena toimivat erilaiset tärkkelykset. Vuoteen 2003 mennessä polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolymeeristä oli kehitelty kaksi erityyppistä biopolymeeriä polyhydroxybutyrate (PHB) ja polyhydroxyvalerate (PHV). Näistä, bakteerin avulla tuotetuista polyestereistä, PHB on tunnetumpi. (Clarival & Halleux, 2005, 17, 22; Johnson, Mwaikambo & Tucker, 2003, 9.)

PHA -biopolymeerin etuihin kuuluu valmistus uusiutuvista luonnonvaroista, nopea ja täydellinen biohajoavuus sekä erinomainen lujuus ja jäykkyys. Tällä tulevaisuuden polymeerillä on kuitenkin vakavia haittoja, jotka estävät sen laajempaa käyttöä. PHA on herkkä lämpöhajoamiselle, sen valmistuksessa on vaikeuksia, jotka johtuvat osittain lämpöepävakaudesta sekä alhaisesta sula-elasticisuudesta. Sekä materiaalin hauraus ja siitä johtuva alhainen sitkeys ovat haittoja. PHA -biopolymeerin hinta on korkea, mikä osaltaan vaikuttaa polymeerin pieneen tuotanto- ja sovellusten määrään. Kun taas sovellusten vähäinen määrä saattaa osaksi olla syynä korkeaan hintaan, on PHA -biopolymeerin tuotanto ja hintataso noidankehässä. PHA -kuituja usein käytetään lääketieteellisiin sovelluksiin biohajoavuuden, hydrofobisuuden ja biologisen yhteensopivuuden vuoksi. (Chodák & Blackburn, 2005, 221, 239)

PHA biopolymeerille löydettiin kolme valmistajaa Metabolix Inc, Bioresins.eu ja Meridian Inc. Metabolix ja Archer Daniels Midland- yritys valmistavat yhdessä Mirel nimistä biomuovia, joka on suunniteltu biohajoavaksi luonnon maaperässä ja vesistöissä, mutta ei kaatopaikalla. PHA:ta myydään granulaattimuodossa, josta voidaan jalostaa kalvoja, ruiskuvalumuotoja, puristelevyjä ja jopa kuitukangasta kotisivujen mukaan. (Metabolix, Inc. 2010.)

Bioresins.eu on A&O FilmPAC- yrityksen eurooppalainen yksikkö, jonka tarkoituksena on tulla Euroopan suurimmaksi biohartsien toimittajaksi. Packaging Europea- internet-sivustolle oli 23.3.2010 julkaistu artikkeli, joka käsitteli A&O FilmPAC:n sopimusta Ecomann Shenzhen kanssa. Sopimus koski Ecomann yrityksen halua toimia ainoana PHA -hartsien toimittajana Euroopassa. Ecomann tuottaa nykyään 5000 tonnia PHA -hartsia vuodessa, mutta vuoteen 2012 mennessä Ecomann:n tuotantokyky tulisi kasvaamaan 50000 tonnia vuodessa uuden tehtaan myötä. Bioresins.eu, A&O FilmPAC eikä Ecomann Shenzhen yrityksillä ole omaa internet sivua. (Positive publications Ltd, 2009 Packaging Europea: A&O Filmpac sole...) Bioresins.eu:n kautta löydetty PHA on siis Ecomann Shenzhen:in valmistamaa. Liitteistä (LIITE 1) löytyy Ecomann PHA biopolymeerin tekninen tietoraportti, josta löytyy tarkempia tietoja valmistetusta PHA biopolymeeristä. Muun muassa sulamispisteeksi biopolymeerille, Ecomann PHA EM 20010, ilmoittaa 130–150 °C. Tekniset tiedot saatiin Bioresins.eu:n yhteyshenkilöltä.

Meredian Inc on yritys, joka on vielä kehitysvaiheessa PHA materiaalin tuotannossa. Meredian henkilökuntaan kuuluvan mukaan Meredian PHA sopisi joihinkin kuitukan-gas sovelluksiin.

4.1.2 Polyhydroxybutyrate (PHB)

Polyhydroxybutyrate (PHB) on muunnos PHA -polymeeristä ja on samoin luonnollisesta alkuperästä luonnollisella prosessoinnilla aikaansaatu biohajoava, termoplastinen ja elastaaninen alifaattinen polyesteri. Alun perin PHB oli tarkoitettu korvaamaan polyvi-nyylikloridia (PVC), polyeteeniä ja polypropeenaa. PHB -polymeerin ominaisuudet ovat lähellä polypropeenin ominaisuuksia, ja niitä voidaan muuttaa sekoittamalla tai lisää-mällä muita monomeereja. (Clarival & Halleux, 2005, 22; Johnson, Mwaikambo & Tucker, 2003, 10)

PHB -biopolymeeri on hyvin kiteinen materiaali. Sen sulamispiste on 180 °C ja sen lasittumislämpötila on 5 °C. Kiteisyys ja korkea lasittumislämpötila tekevät PHB -biopolymeeristä valmistetut kalvot ja muovit hauraiksi. Se myös hajoaa sulamispisteen ylittävissä lämpötiloissa, mikä tekee käsittelystä haastavan. Ominaisuuksiltaan PHB poikkeaa polypropeenista venymän ja liuottimien keston osalta, saaden näistä huonom-

mat arvot. Vaikka materiaali on köyhempi mekaanisilta ominaisuuksiltaan, verrattuna vaikka PHBV ominaisuuksiin, on PHB kustannuksiltaan kilpailukykyisin biopolymeeri tähän mennessä (Chen, 2005, 39). Pehmennys, eli pehmitin lisäaineen käyttäminen, on tarpeen käsittelyn ja ominaisuuksien parantamiseksi (Bhattacharys, Reis, Correló & Boesel, 2005, 341–342)

PHB -polymeerejä valmistaa Micromidas Inc ja PHB Industrial S.A. Micromidas Inc, joka on tuotannossaan vasta kehittäjasteella, mutta henkilökuntaan kuuluvan mukaan, ovat kehittäjässä tuotettaan kolmannen osapuolen kanssa.

PHB Industrial S.A. valmistaa Biocycle brändin alla PHB ja PHB-HV biopolymeeriä. PHB Industrial yrityksen yhteyshenkilön mukaan valmistus on vielä koelaitosasteella, mutta yrittävät teolliseen mittakaavaan ensi vuonna. Yrityksen kotisivujen mukaan PHB ja PHB-HV -biopolymeeriä voisi jalostaa ruiskutus-, puriste- ja lämpömuovausteknologioilla. Valmistusmuodoksi kävisi myös kuitu. (Biocycle, 2011)

4.1.3 Poly-3-hydroxy butyrate-co-valerate (PHBV)

Poly-3-hydroxy butyrate-co-valerate (PHBV) on kopolymeeri ja muunnelma PHB biopolymeeristä. Kopolymeeri eli yhteispolymeeri merkitsee polymeerin molekyylirakenteen rakentumista useammasta erilaisesta meieristä. Meerien pitoisuudet kokonaisuudessa vaikuttavat biopolymeerin ominaisuuksiin. PHBV on hitaampi kiteytymään, mutta se on jäykempää kuin PHB biopolymeeri. Hintataso on kuitenkin korkeampi kuin PHB:n. PHBV biopolymeerin sulamispistealueeksi määritellään 135–150 °C. (Chen, 2005, 39; Chodák & Blackburn, 2005, 230; Johnson, Mwaikambo & Tucker, 2003, 10; Muoviyhdistys ry, 1992, 23.)

PHBV biopolymeerille löydettiin yksi valmistaja, Tianan Biologic Material Co., Ltd. Tianan Biologic valmistaa PHBV granulaattia, jonka se ilmoittaa valmistavansa maisista bakteerien avulla. Yrityksen mukaan PHBV biopolymeeriä voidaan soveltaa lääketieteen ja ruuan pakkausmateriaalisovelluksiin. Bio-Lite.eu toimittaa Tianan Biologic yrityksen PHBV materiaalia eteenpäin. (Bio-Lite.eu, 2008; Tianan Biologic, 2000)

4.1.4 Poly(caprolactone) (PCL)

Poly(caprolactone), eli PCL, on mineraalisesta alkuperästä syntetisoimalla saatu Alifaattinen polyesteri, joka on biohajoava ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan muistuttaa polyolefiinia. PCL -biopolymeeriä on helppo työstää sulana ja sillä on hyvä lämmönkesto. Vaikka PCL biopolymeerin sulamispiste onkin alhainen, noin 60 °C. PCL biopolymeeriä käytetään harvoin yksinään, vaan useimmiten sekoitteena. Useita eri menetelmiä on kokeiltu PCL kuitutuotannossa, mutta yksinkertainen sulakehruumenetelmä on yksi mahdollisuus. (Chodák & Blackburn, 2005, 232–233; Clarinval & Halleux, 2005, 22)

PCL biopolymeerille löydettiin yksi valmistaja, Daicel Chemical Industries, Ltd. Yrityksen tuotteita Euroopassa välittää IMCD Deutschland GmbH. Daicel Chemical valmistaa PCL biopolymeeriä kiinteässäkin muodossa, mutta muuta teknistä tietoa yrityksen valmistamasta tuotteesta oli vaikea saada selkoa yhteyshenkilön kautta.

4.1.5 Polybutylene succinate (PBS)

Polybutylene succinate (PBS), alifaattinen polyesteri, on mineraalisesta alkuperästä, joka on saatu polymeerimuotoon synteettisesti. Ominaisuuksiltaan se on lähellä polyeteenitereftalaattia eli PET, kestumuovia. PBS on yleensä sekoitettuna muihin yhdisteisiin kuten tärkkelykseen. PSB sovelluksiin kuuluu kalvot, pussit ja vessanpöntöstä alas vedettävät hygieniatuotteet, jotka on suunniteltu niin, että ne eivät tuki putkistoa ja hajoavat vähitellen. (Clarinval & Halleux, 2005, 22, 24)

PBS granulaattia valmistaa Anqing Hexing Chemical Co., Ltd. PBS biopolymeeriä kuvailtiin mainossivustolla biohajoavaksi polymeeriksi, joka on syntetisoitu meripihkahaiposta (*succinic acid*). PBS:n ominaisuuksiksi kuvailtiin hyvä lämmönkesto sekä hyvät mekaaniset ominaisuudet. Anqing Hexing Chemical yrityksen lähettämässä teknisillä tietosivuilla, joka löytyy liitteistä (LIITE 2), löytyi PBS biopolymeerin sulamispiste alue: 108–115 °C. (Focus Technology Co.,Ltd. 2011, Made in China)

4.1.6 Alginaatti

Alginaattikuidut on tehty natriumalginaatista, jota saadaan uutettua ruskeasta merilevästä ja jaotellaan luonnonpolymeeristä polysakkarideihin. Kuituteollisuudessa alginaattikuituja on käytetty erikoishaavansidosmateriaalina, niiden korkean imukyvyn sekä biologisen yhteensopivuusominaisuuksien takia. Alginaattikuituja on kuitenkin alettu soveltaa muihinkin sovelluksiin. (Qin, 2010, 48)

Alginaatin kemiallisen rakenteeseen kuuluu metalli-ioneja. Alginaatit jakautuvat eri ryhmiin näiden metalli-ionien mukaan. Kalsiumioneja sisältävästä kalsiumalginaatista valmistetaan tekstiilisovellukset. Kalsiumin määrä rakenteessa määrittää alginaatin teknisiä ominaisuuksia. Kun metallisisältö pidetään vakiona, alginaatin vetolujuusominaisuuksiin vaikuttaa kosteus. Kalsiumalginaatin kuiva- ja märkäljuudet ovat verrattavissa viskoosiin. Kuivana lujuudet ovat paremmat kuin märkänä. Kiteisyysominaisuuksiltaan alginaatti omaa alhaisemman kiteisyyden kuin esimerkiksi luonnonkuidut. Perinteisesti kalsiumalginaatti kuitua tuotetaan märkäkehruumenetelmällä. (Chijioke, 2006, 1386; Muri, Brown, 2005, 97–98)

Alginaatin valmistaja, FMC BioPolymer, osoittautuikin vain alginaattivaahdon valmistajaksi, vaikka yrityksen kotisivuilla kerrottiin mahdollisiksi sovelluksiksi kuitumuoto. Alginaatti biopolymeerin sisällytettiin kuitenkin tähän työhön, koska sillä on mahdollisuuksia kuitutuotannolle ja varmasti kuitua valmistava yritys löytyykin. (FMC Corporation, 2010)

4.2 Yhteenveto löydetyistä biopolymeereistä

Biopolymeerejä voidaan vertailla monella tapaa. Tässä työssä vertailtiin biopolymeerien kirjallisuustietojen antamia ominaisuuksissa kuten sulamispiste, vetolujuus, lasittumislämpötila sekä murtovenymä. Lasittumislämpötila kuvaa lämpötilaa, jossa polymeeri alkaa mekaanisilta ominaisuuksiltaan käyttäytyä lasimaisesti. Tässä lämpötilassa polymeerin rakenneketjujen liikkuvuus rajoittuu, jolloin polymeerin ”kumimaisuus” muuttuu ”lasimaiseksi”. Vetolujuus kuvaa sitä rasituksen määrää, mikä katkaisee materiaalin. Vetolujuuden vertailuarvot ovat megapascal:n (MPa) luokkaa. Murtovenymä kuvaa

materiaalin venymistä alkuperäisestä muodosta, siihen asti kunnes materiaali katkeaa. Murtovenymä ilmaistiin prosentteina alkuperäisestä pituudesta. (Tampereen teknillinen yliopisto, 2001–2005)

Työssä esiintyvien biopolymeerien vertailuarvot koottiin taulukkoon (taulukko 2). Biopolymeerien vertailua helpotettiin valitsemalla vertailukohteeksi polypropeenin (PP) ominaisuusarvot. Arvot koottiin eri lähteistä.

TAULUKKO 2. Biopolymeerien ja polypropeenin sulamispiste, vetolujuus, lasittumislämpötila sekä murtovenymä. (Chodák & Blackburn, 2005, 223; Chen, 2005, 39; Clarinval & Halleux, 2005, 24, 29; Ecomann PHA EM 20010, LIITE 1; Anqing Hexing Chemical, LIITE 2)

	Sulamispiste (Melt point) °C	Vetolujuus (Tensile strength) Mpa	Lasittumislämpötila (Glass transition temperature) °C	Murtovenymä (Elongation at break) %
PHA	130–150	30		
PHB	175	40	0–4	5
PHBV	135–150	20–25	–	100–20
PCL	59–64	4–28	– 60	700–1000
PBS	114–115	35–41	– 32	100–300
Alginaatti				6–14,5
PP	176	38	– 10	400

Taulukossa nähtävät arvot vaihtelevat hieman lähteestä riippuen. Muutamia biopolymeerien ominaisuusarvoja ei löytynyt, kuten alginaatin ja polyhydroxyalkanoate, PHA:n kohdalla, mikä vaikeutti niiden vertailua muihin biopolymeereihin. PHA- biopolymeeriä tuotetaan bakteereista, mutta synteettisiä valmistustapojakin tunnetaan. Vaikka maailmalla tunnetaan 40 erilaista bakteeria, jotka pystyvät tuottamaan polyesteri-tyyppistä polymeeriä, ei eri bakteerien tuotoksissa ole huomattavaa eroa. Itse PHA sovelluksista löydettiin vähän ominaisuusarvoja, mikä voi johtua siitä että PHA:n johdannaiset ovat enemmän esillä kuin itse PHA. (Chodák & Blackburn, 2005, 222)

Taulukon arvoja vertaillessa huomattiin Polyhydroxybutyraten (PHB) arvojen yhtäläisyydet polypropeenin, PP:n, kanssa. Murtovenymä viittaa kuitenkin alhaisempaan elastisuuteen PHB:n kohdalla. PHB -biopolymeeristä johdettu poly-3-hydroxy butyrate-co-valerate eli PHBV:n omaa myös paremman joustavuuden verrattuna alkuperäiseen PHB:n. Erikoisen, polycaprolactone, PCL- biopolymeeristä tekee sen alhainen sulamis-

piste ja murtovenymän suuret arvot. Alhainen sulamispiste tekee työstämisestä erilaisen kuin muiden biopolymeerien kohdalla. PCL -biopolymeeriä ja polybutylene succinate (PBS) käytetään usein sekoitteena, vaikka PBS sulamispisteet sekä lujuusarvot viittaavat mahdollisiin sovelluksiin yksinäänkin. Korkea hintataso on saattanut vähentää PBS:n sovelluksien määrää.

Huomattavaa on luonnonmateriaaleista prosessoitujen biopolymeerien PHA:n, PBH:n sekä PHBV:n korkeammat sulamispisteet verrattuna synteettisesti prosessoituihin biopolymeereihin. Sama jakautuminen on nähtävissä luonnon- ja synteettisen alkuperän biopolymeerien murtovenymän kohdalla. Sokereihin pohjautuvat biopolymeerit näyttäsivät olevan jäykempiä kuin synteettiseen alkuperään pohjautuvat biopolymeerit. Biohajoavuusnopeuteen saattaa myös vaikuttaa biopolymeerin alkuperämateriaali. Mineraalista alkuperästä prosessoitu PCL:n kerrotaan biohajoavan suhteellisen kauan, 2–3 vuotta. Koska toisen, mineraalipohjaisen, biopolymeerin PBS:n biohajoavuudesta ei löydetty kirjallisuutta, tätä teoriaa ei siis voida lyödä lukkoon. (Chodák & Blackburn, 2005, 233)

4.3 Runkokuidut

Luonto tarjoaa runsaasti kuitumateriaalia, jotka jaotellaan kasvi-, eläin- ja mineraalikuituihin, joista kasvikuidut on jaoteltu siemen-, runko-, lehti- ja hedelmäkuituihin. Uusiutuvat ja biohajoavat kasvikuidut, joihin runkokuidutkin kuuluvat, ovat olleet käytössä tekstiilikuituina jo tuhansia vuosia. Runkokuitukasveja ovat muun muassa pellava, hamppu, juutti, gensitra, rami sekä kenaf ja nokkonen. Kasvin rungossa kasvavat kuidut toimivat kasvin tukirakenteena ja kuitukimppuina ne tavallisesti kasvavat kasvin varren pituisiksi. Runkokuitujen käyttö tekstiiliraaka-aineena on saanut moderneja sovellusalueita, kuten komposiitit, rakennusteollisuus, lääketiede sekä lähteenä muihin biopolymeereihin. Runkokuidut ovat osa menneisyyttä, mutta myös tulevaisuutta. (Boncamper, 2004, 117; Kozlowskin, Baranieckin & Barriga-Bedoyan, 2005, 36)

Suurinta osaa runkokuiduista tuotetaan kehitysmaissa. Poikkeuksena tästä ovat pellava ja hamppu, joita tuotetaan maailmanlaajuisesti merkittävästi niin Itä-Euroopassa, Venäjällä kuin Kiinassa. Määrällisesti eniten tuotetaan juuttikuitua noin 2 miljoona tonnia

vuosittain. Tähän työhön valittiin tarkempaan tarkasteluun pellava, hamppu ja kenaf. (Franck & Textile Institute Staff, 2005, 33–34)

4.3.1 Pellava

Pellava on luja kuitu, jonka lujuus nousee kosteana. Pellavakuidun hienous ja pituus riippuu kasvusta. Kuituhienous on noin 1-5 dtex ja kuitupituus 25–30 mm. Muilta ominaisuuksiltaan voi mainita pellavan joustamattomuuden, jäykkyyden, alhaisen murtovenymän sekä hyvän kosteuden imukyvyn. Vuonna 2003 pellava kuitua tuotettiin maailmassa noin 772 000 tonnia ja vuonna 2009 kuitua sekä rohdinta 491 296 tonnia. (FAO statistics 2011; Boncamper, 2004, 124–125)

Pellavakuitu on tunnettu tekstiilikuitu ja sitä käytetään kudotuissa ja neulotuissa sovelluksissa. Tunnetuimmat sovellukset ovat vaatteiden, pöytäliinojen, liinavaatteiden ja verhojen kohdalla. Stemergy, kanadalainen yritys, välittää pellava- ja hamppukuitua. Puuvillakuidusta he välittävät eri osia ja hienouksia. Pellavakuidun hienous ja sovellusalueet viittaavat karstauksen onnistumiseen Suominen Kuitukankaat Oy:n tuotannossa. Sovellusalueet Stemergyn tuotteille ovat komposiiteissa ja rakennusteollisuudessa. (Kozlowskin, Baranieckin & Barriga-Bedoyan, 2005, 49; Stemergy, 2006–2011, Flax fibre...)

4.3.2 Hamppu

Hamppukasvia viljellään kolmea lajiketta: kuituhamppua, öljyhamppua sekä lääkehamppua. Kuituhamppu on pensasmainen kasvi, joka kasvaa 1,2 -3,0 metrin korkuiseksi. Kuiturakenne sekä ominaisuudet ovat lähellä pellavakuitua. Hamppukuitu eroaa pellavasta pituuden, karkeuden, jäykkyyden sekä epätasaisuuden suhteen, saaden kaikissa suurimmat arvot. Kaikissa ilmasto-olosuhteissa kasvavan kuituhampun suurimmat sadot kasvatetaan Kiinassa, Pohjois-Koreassa sekä Euroopassa. (Boncamper, 2004, 130–132)

Hamppukuitu on suurimmaksi osaksi selluloosaa. Kuitupituus vaihtelee 2–90 mm:n ja on keskiarvoltaan 15 mm. Hamppukuitua käytetään komposiiteissa, paperissa, muovien

lujitekuituna, säkkeihin ja vaateuskankaisiin. Samainen pellavakuidun välittäjä Stemerger, välittää myös hamppukuitua. Stemerger mainostaa hamppukuitua samantyyppisiin sovelluksiin kuin pellavakuituaankin, joten sovellusalue heidän kuidullaan on rajallista. (Boncamper, 2004, 133; Kozlowskin, Baranieckin & Barriga-Bedoyan, 2005, 60; Stemerger, 2006–2011, Hemp fibre...)

4.3.3 Kenaf

Kenaf -kasvia kuvaillaan juutin tapaiseksi kasviksi, mutta vaatimattomimmissa olosuhteissa kasvavaksi. Kuidun ominaisuudet ovat myös lähellä juuttia, eli se on heikompi lujuudeltaan ja taivutuskestossa sekä sillä on alhaiset venymäominaisuudet kuin pellavalla tai hampulla. Kenaf -kuitua käytetään myös usein juutin korvikkeena. (Boncamper, 2004, 134, 138)

Kenaf -kasvia kasvatetaan eteenkin Thaimaassa, Kiinassa, Intiassa, Vietnamin ja Kuubassa. Tuotantomäärissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia vuoteen 2005 mennessä. Kenaf -kuidun käyttökohteiksi luetellaan pakkausmateriaalit, kuivikkeet, paperi sekä sekoitteet puuvillan kanssa tekstiileissä. Malesialainen Kenaf natural fiber industries Sdn. jalostaa kenafia kuiduksi, jonka kuitupituudeksi yritys ilmoittaa 50–120 mm. (Kozlowskin, Baranieckin & Barriga-Bedoyan, 2005, 78–79; Kenaf Natural Fiber Industries Sdn Bhd, 2009, Our factory...)

4.4 Kierrätetyt kuidut

Kierrätettyjen kuitujen käyttöä edistää halpa hinta, huono käyttämättömien kuitujen saatavuus ja raaka-aineiden sekä jätehuollon kustannusten kallistuminen. Tekstiilikierrätys on kannattavaa, vaikka kierrätys supistaa kierrätettyjen kuitujen sovellusalueita kuitupituuden lyhentyessä. Kierrätyksen prosessit vaikuttavat niin kuitupituuteen kuin kuitusisällön puhtauteen. Usein kierrätetyt tekstiilikuidut ovat sekoitteita, ja niiden sisältöä on hankala määrittää. Kierrätetyt kuidut soveltuvat hyvin kuitukankaiden ja lankojen valmistukseen kuitupituuksien ja kuituhienouksien vaihdellessa. (Gulich, 2006, 117–118)

Kierrätys ei koske pelkästään tekstiileistä saatuja kuituja. Esimerkiksi polyetyleenitereftalaatti (PET) muovipulloja kierrättämällä saadaan sulattamisen ja puristuksen kautta kuitua, jota pystytään käyttämään samoin kuin uusia synteettisiä kuituja samoissa soveluksissa. Foss Manufacturing Company LLC valmistaa kierrätetyistä muovipulloista kuitua. Foss Manufacturing väittää saavansa kymmenestä muovipullosta 453,6 grammaa kuitua. (Foss Manufacturing Company LLC, 2010)

Kierrätyskuituja valmistava Leigh Fibers, Inc on yksi suurimmista kierrätyskuitujen valmistajista. Kierrätysmateriaalia Leigh Fibers saa teollisuuden ja kuluttajien jätteistä. Tätä opinnäytetyötä varten tilattiin Leigh Fibers yritykseltä kierrätettyjä kuituja lähempää tarkastelua varten. Yritykseltä saatiin kierrätettyä viskoosifilamenttia, polyesteritappuraa, muokattua meta-aramidijätettä, ballististen vaatteiden leikkuujätettä sekä polypropeenikuitua kuluttajien matoista. Viskoosista, polyesteristä, meta-aramidista sekä ballistisista kuiduista tehtiin Suominen Kuitukankaat Oy:llä kuitua määritteleviä testejä. Kaikki testaukset suoritettiin Suominen Kuitukankaat Oy:n omassa laboratorioissa. Polypropeenikuiduista ei testejä suoritettu, nähtävän erilaatuisen muodon tähden. Kuva kierrätetystä polypropeenikuiduista on liitteissä, (LIITE 3). Seuraavissa kappaleissa on testien tulokset. (Leigh Fibers, Inc, 2010, About us)

4.4.1 Kierrätetty viskoosi

Viskoosi on selluloosamuuntokuitu ja nimensä mukaisesti valmistettu puuselluloosasta. Viskoosia valmistetaan filamenttina sekä katkokuituna kuitupituuden vaihdellessa. Vaikka valmistusvaiheessa viskoosin ominaisuuksia voidaan määrittää erilaisiksi, yleisesti ottaen viskoosin märkälujuus on alhaisempi sen kuivalujuutta, kosteuden imukyky on erinomainen, joustavuus ja kimmoisuus ovat huonot. Leigh Fibers tuotteista kierrätetty viskoosi löytyy synteettisten ja keinokuitujen nimityksen alla, mutta sen kuitusisältö saattaa sisältää muita kuituja. Kierrätetyn viskoosin mahdollisiksi sovellusalueiksi mainitaan langat ja imeyttämissovellukset. (Boncamper, 2004, 216, 220, 222–224; Leigh Fibers, Inc, 2010, Our products)

Viskoosifilamentista, Leigh Fibers koodilla 47.A1737, selvitettiin kuituhienous, lujuus, venymä, avivaasipitoisuus sekä tensidit. Kuituhienous ilmaisee kuidun hienoutta eli

painon ja pituuden suhdetta. Venymällä ilmaistaan kuidun pituuden lisääntymistä vedettäessä. Avivaasipitoisuus kuvaa viimeistelyaineiden määrää kuidun pinnalla ja tensidimittaus ilmentää kuidun vaahtoutumista prosessissa. Tulokset on nähtävissä seuraavassa taulukossa, (taulukko 3). (VirtuaaliAMK, 2006, Kuitutestaus)

TAULUKKO 3. Viskoosifilamentin, 47.A1737:n, testitulokset. Testit suorittivat Suominen Kuitukankaat Oy.

Kierrätetty viskoosi filamentti (47.A1737)			
		Keskiarvo	Hajonta
Kuituhienous	dTex	1,96	0,6
Kuitulujuus	cN/dtex	3,12	0,9
Kuituvenymä	%	7,39	2,57
Avivaasipitoisuus	%	0,19	
Tensidit	mm	4	

Taulukossa 3 nähtiin näytteen sisältämien kuitujen epätasaisuus hienouden osalta, mitä osattiin jo odottaa kierrätettyjen kuitujen osalta. Venymän tulosten hajonta kertoo epätaoisesta laadusta. Kun verrattiin avivaasipitoisuuksia muiden näytekuitujen kanssa, huomattiin että tässä viskoosinäytteessä on vähiten viimeistelyaineita. Vaahtoa, kierrätetty viskoosi verrattuna muihin, on muodostunut eniten. Kuva kierrätetyn viskoosin näytepussista on liitteissä, (LIITE 4).

4.4.2 Kierrätetty polyesteri

Synteettisiin kuituihin kuuluvan polyesterin raaka-aineena ovat mineraaliöljyt ja valmistusmenetelmänä on sulakehruu. Polyesterin ominaisuuksiin vaikutetaan jo valmistusvaiheessa käyttötarkoituksen mukaan. Yleisiltä ominaisuuksiltaan polyesteri on luja kuitu eikä kosteus muuta sitä. Se on myös kemiallisesti kestävä, sulamispiste on 250–260 °C sekä sen kosteuslisä on alhainen. Leigh Fibers välittää kierrätettyä polyesterikuitua yritysten polyesteristä, joten näytepakkauksessa on pelkkää polyesteriä. Yritys kuvailee kierrätettyä polyesteriään alhaisessa lämpötilassa sulavaksi ja soveltuen lämpösidontaan. (Boncamper, 2004, 280–282; Leigh Fibers, Inc, 2010, Our products)

Polyesteritappura, Leigh Fibers koodilla 45.A1116.S1, selvitetiin kuituhienous, lujuus, venymä, sulamispiste, avivaasipitoisuus sekä tensidit. Tulokset on nähtävissä seuraavassa taulukossa, (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Polyesteri tappura, 45.A1116.S1:n, testitulokset. Testit suorittivat Suominen Kuitukankaat Oy.

Kierrätetty polyesteri (45.A1116.S1)			
		Keskiarvo	Hajonta
Kuituhienous	dTex	2,82	0,7
Kuitulujuus	cN/dtex	3,31	0,8
Kuituvenymä	%	40,32	11,47
Avivaasipitoisuus	%	0,29	
Tensidit	mm	0	
Sulamispiste	° C	250,67	

Taulukossa 4 nähtiin kuituhienous ja sen hajonnan suuruus. Venymän hajonta on suuri, eli epätasaisuutta lujuudessa on havaittavissa. Avivaasipitoisuus on koholla, eli viimeistelyaineita näytteen mukana on, mutta ne eivät aiheuta vaahtoamista, mitä tensidit ilmaisevat. Sulamispiste mukaillee polyesterin normaalia sulamispistettä, mikä on Irma Boncamperin (2004, 282) mukaan 250–260 °C. Kuva, kierrätetyn polyesterin näytepusista, on liitteissä, (LIITE 5). (Boncamper, 2004, 282)

4.4.3 Kierrätetty meta-aramidi ja ballistiset kuidut

Aramidit on jaettu meta- ja para-aramideihin. Aramidit ovat aromaattisia polyamideja eli erikoiskuituja ja ne kestävät korkeita lämpötiloja. Meta-aramidit, kauppanimeltään muun muassa Nomex ja Conex, on käytetty lämpöä suojaavissa vaatteissa ja kuitukankaana niitä käytetään kaasujen suodattamisessa sekä lämpöeristyksessä. Korkeassa lämpötilassa ominaisuutensa säilyttävä meta-aramidikuidut, muuttuvat keltaisiksi hajoamisreaktion alkaessa. Kauppanimiltään muun muassa Kevlar ja Twaron Para-aramidit ovat lujia ja niitä käytetään ballistisessa- sekä palosuojauksessa. Para-aramidit ovat myös kemiallisessa että kulutuksen kestossa erinomaiset. Meta-aramidit alkavat 400 °C-asteessa vähän sulamaan tai eivät sula ollenkaan. Hiiltyminen korkeissa lämpötiloissa on todennäköisempää kuin kummankaan aramidin sulaminen. (Bajaj, 2000, 230; Boncamper, 2004, 274–277)

Leigh Fibers näytepussissa ballististen kuitujen kohdalla ei mainittu para-aramidi alkuperää, mutta kuvaukset viittaisivat siihen. Molemmat kuitunäytteet testattiin mielenkiinnon tähden. Kierrätetystä meta-aramidi jätteestä, Leigh Fibers koodilla 63.A3000, ja kierrätetystä ballistisista vaateiden leikkuujätteistä, Leigh Fibers koodilla 63.A1620.4, selvitettiin kuituhienous, lujuus, venymä, sulamispiste, avivaasipitoisuus sekä tensidit. Tulokset, meta-aramidille on nähtävissä seuraavassa taulukossa, (taulukko 5) ja tulokset ballistiselle materiaalille meta-aramidin taulukon jälkeen, (taulukko 6).

TAULUKKO 5. Meta-aramidi jätteen, 63.A3000:n, testitulokset. Testit suorittivat Suominen Kuitukankaat Oy.

Kierrätetty meta-aramidi (63.A3000)			
		Keskiarvo	Hajonta
Kuituhienous	dTex	2,29	0,7
Kuitulujuus	cN/dtex	3,93	1,1
Kuituvenymä	%	28,44	6,44
Avivaasipitoisuus	%	0,38	
Tensidit	mm	0	
Sulamispiste	° C	275,5	

Taulukosta 5 nähtiin meta-aramidin testien tulokset. Meta-aramidille löydettiin jonkinlainen sulamispiste, joka on aika alhainen kirjatietoihin verrattuna. Viimeistelyaineita näytteestä löydettiin, mutta vaahtoamista ei esiintynyt. Hajontaa löydettiin kaikista kuitumäärittelyn arvoista. Kuva, meta-aramidin näytepussista, on liitteissä (LIITE 6).

TAULUKKO 6. Kierrätetyn ballistisen materiaalin, 63.A3000:n, testitulokset. Testit suorittivat Suominen Kuitukankaat Oy.

Kierrätetty ballistinen materiaali (63.A1620.4)			
		Keskiarvo	Hajonta
Kuituhienous	dTex	1,44	0,4
Kuitulujuus	cN/dtex	5,18	0,9
Kuituvenymä	%	3	0
Avivaasipitoisuus	%	0,21	
Tensidit	mm	2	
Sulamispiste	° C	-	

Taulukosta 6 nähtiin ballistisen materiaalin hienouksien, lujuuksien sekä venymän vähäiset hajonnat. Tämä materiaali on siis tasalaatuisinta kierrätysmateriaalia kaikista näytteistä. Viimeistelyaineita kuidusta löydettiin ja vaahtoutumistakin syntyi. Sulamis-

pistettä ei saavutettu, mitä odotettiin. Vaikka Leigh Fibers kuvaili näyttettä vaatteiden leikkujätteeksi, nähtiin näytteessä selviä kuituja. Para-aramideille tunnusomainen keltainen väri nähtiin myös näytteestä. Kuva, kierrätetystä ballistisesta materiaalista näytepussissa, on liitteissä, (LIITE 7). (Bajaj, 2000, 230)

5 OMAT PÄÄTELMÄT

5.1 Tulokset ja johtopäätökset

Kestävän kehityksen mukaiseksi kuituraaka-aineeksi saatiin erilaisia tuloksia. Toisaalta markkinoita ja mielikuvia hallitsee maailmalla luonnonkuiduista valmistetut tuotteet. Mutta koska kertakäyttöisiä tuotteita valmistetaan ja käytetään, ovat helposti hävitettävät tuotteet valtaamassa alaa biohajoavilla tuotteilla. Ei kuitenkaan voida unohtaa kierrätyksen avulla saatua materiaalia, jotka vähentävät uuden materiaalin tarvetta ja antavat vanhalle materiaalille uuden elämän.

Uutuusarvoltaan merkittävämmät löydetyistä materiaaleista ovat biopolymeereistä PHA, eli polyhydroxyalkanoate -ryhmä, sekä PBS, eli polybutylene succinate. Vaikka materiaaleille ei löydetty kuitua valmistavaa yritystä, ovat PHA ja PBS varteenotettavia kehityskohteita. PHA -ryhmän biopolymeeriä on eniten tutkittu ja valmistettu sovelluksia kirjallisuuden mukaan, mikä osaltaan viittaa ryhmän soveltuvuutta tuotantoon. PHA -ryhmän ja PBS:n ominaisuudet viittaavat mahdollisiin kuitusovelluksiin ja samantyyppiseen prosessointiin mitä polypropeenille voidaan tehdä. Sitä, kuinka paljon biopolymeereihin vaikuttaa kuitutuotanto, tietoa ei löytynyt. Ainakin PHA -ryhmän biopolymeerien ominaisuuksia pystytään muokkaamaan prosessoinnin aikana, mikä osaltaan lisää materiaalien sovellusalueita. Hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan molemmat tarvitsevat pohdintaa. Mahdolliset kuitusekoitukset eri materiaaleista voisivat alentaa kustannuksia. Kehitys kuitenkin menee eteenpäin näiltäkin osin. Valitettavasti Metabolix Inc yritykseen, joka kotisivujensa mukaan valmistaa kuitua PHA biopolymeeristä, yhteyttä ei saatu muodostettua eikä näin ollen vahvistettua. Metabolix:n voisi yrittää ottaa yhteyttä asian tiimoilta ja miettiä yhteistyötä kuitukangas soveltuvuudesta.

Luonnonkuitujen kohdalla pellava, hamppu sekä kenaf kestävät karstauksen, mutta tuntu, puhtaus ja kuitujen tasalaatuisuus saattavat rajoittaa mahdollisia sovellusalueita. Kuitujen tuotannon määrät ovat myös yksi pohdinnan aiheista. Hampun kohdalla ongelmaksi voisi nousta sen moraalisesti arveluttava sovellusalue lääkekasvina. Tämä voisi vaikuttaa negatiivisesti markkinointiin, jos asiakkaat yhdistävät nämä mielikuvat. Pellavan ja kenafin osalla tätä ongelmaa ei ole. Useasti kirjallisuudessa luonnonkuituja sovellettiin komposiittituotannossa yhdessä biohajoavien biopolymeerien kanssa. Tämäkin olisi yksi mahdollinen sovellusalue.

Leigh Fibers:n kierrätyskuiduista vain polyesterin kuitusisällys oli täysin tiedossa. Markkinoilla on hyvin paljon tarjolla kierrätettyä polyesteriä, mikä saattaa vähentää mahdollisen sovelluksen uutuusarvoa. Vaikka Leigh Fibers:n tarjoama viskoosikuidun kuitusisällys ei Leigh Fibers:n mukaan ole täysin viskoosia, voisi tälle löytyä mahdollisia sovellusalueita sellaisilta alueilta, jossa tätä asiaa ei tarvitse pohtia.

5.2 Kriittinen näkemys työhön

Tämä työ jäi lyhyeksi katsaukseksi tämän päivän kestävän kehityksen tarjoamista materiaaleista. Tarjontaa ja mielenkiintoisia uusia materiaaleja maailmalta löydettiin, mutta syväluotaavaa tutkielmaa siitä ei tehty. Kun löydettyistä materiaaleista raapaistiin vain pintaa, voi olla että joitakin tärkeitä asioita saattoi jäädä pois.

Tutkimusmenetelmien täysimittainen hyödyntäminen ei ehkä toteutunut täysin. Jokaiselle löydetylle materiaaleille ei löytynyt valmistajaa, mikä vaikeutti materiaalin soveltuvuuden tarkistamista työhön. Materiaalivalmistajien kotisivujen vähäiset tiedot sekä yhteydenottojen kaatuminen joidenkin yritysten välillä, hankaloitti tiedon paikkaansa pitävyyden tarkistamista. Se hankaloitti myös materiaalien lisätiedon hankintaa, mikä myös vaikeutti materiaalien soveltuvuuden tarkastamista työhön. Kirjallisuutta biopolymeereistä löydettiin, mutta esimerkiksi biopolymeerien jaottelu käsitykset vaihtelivat niissä.

Eniten tämän opinnäytetyön kohdalla jäi harmittamaan kuitunäytteiden uupuminen biopolymeerien kohdalta. Tosin valmistajiakaan ei juuri löytynyt. Nekin valmistajat, jotka

Internet sivuillaan viittasivat kuitutuotannon mahdollisuuksiin, ei niihin kaikkiin saatu muodostettua yhteyttä ja vahvistettua tätä tietoa. Näin tapahtui myös luonnonkuitujen kohdalla. Kierrätyskuidut olivat ainoat näytteet löydetyistä materiaaleista. Mahdollisista kuitunäytteistä olisi päässyt paremmin pohtimaan soveltuvuudesta tuotannossa, kustannuksista sekä mahdollisista sovellusalueista.

Jos löydettyjen biopolymeerien kuitutuotanto onnistuu ja se soveltuu kuitukankaaksi, on valmistettava kuitukangas todellakin ensimmäisien sovellusten joukossa. Tällä uutuisarvolla olisi merkittävä vaikutus markkinointiin. Näin ollen myös biopolymeerien aiheuttamat suuret kustannukset voitaisiin hyväksyä paremmin.

LÄHTEET

ASTM international. 2006–2011. ASTM D6400-04. Luettu 31.3.2011.
<http://www.astm.org/Standards/D6400.htm>

Averous, L. 2007. Bioplastics. Agro-polymers and Starch-based biomaterials. Luettu 9.3.2011. <http://www.biodeg.net/biomaterial.html>

Bajaj, P. 2000. Handbook of technical textiles. Thermal behaviour of fibres. Teoksessa Horrocks, A.R. & Anand, S.C. (toim.) Great Britain: Woodhead Publishing

Bhattacharys, M. Reis, R.L. Correlo, V. & Boesel, L. 2005. Biodegradable Polymers for Industrial Applications. Classification of biodegradable polymers. Teoksessa Smith, R. (toim.). England: Woodhead Publishing Limited

Biocycle. 2011. Product. Luettu 18.3.2011. <http://www.biocycle.com.br/site.htm>

Bio-Lite.eu. 2008. Our materials: Tianan Biologic PHBV. Luettu 18.3.2011.
<http://www.bio-lite.eu/pages/our-materials/biopolymers/tianan.html>

Boncamper, I. 2004. Tekstiilioppi: kuituraaka-aineet. Hämeenlinna: Hämeen ammatti-korkeakoulu

Carus, M. 2010. A new assessment of the materials use of renewable raw materials: Bio-based economy. Seminar presentation. EDANA sustainability & tech committee 7.10.2010.

Chen, G. G-Q. 2005. Biodegradable Polymers for Industrial Applications. Polyhydroxyalkanoates. Teoksessa Smith, R. (toim.). England: Woodhead Publishing Limited

Chijioke, F. 2006. ANTEC 2006 Plastics: Annual Technical Conference Proceedings. Novel chitosan-alginate fibers for wood dressing applications. Society of Plastics Engineers

Chodák, I & Blackburn, R.S. 2005. Biodegradable and sustainable fibres. Poly(hydroxyalkanoates) and poly(caprolactone). Teoksessa Blackburn, R.S. (toim.). England: Woodhead Publishing Limited

Clarival, A-M. & Halleux, J. 2005. Biodegradable Polymers for Industrial Applications. Classification of biodegradable polymers. Teoksessa Smith, R. (toim.). England: Woodhead Publishing Limited

Edana. 2008. Discover nonwovens. Luettu 29.3.2011.
<http://www.edana.org/content/default.asp?PageID=33>

Encarta. 2009. World English Dictionary. Luettu 3.3.2011.
http://encarta.msn.com/dictionary_1861607424/ecofriendly.html

FAO statistics. 2011. Luettu 24.3.2011.
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>

FMC Corporation. 2010. NovaMatrix: Alginate foam. Luettu 21.3.2011.
<http://www.novamatrix.biz/Technology/Alginate/AlginateFoam.aspx>

Focus Technology Co.,Ltd. 2011. Made in China: Butylene Succinate. Luettu 20.3.2011. <http://www.made-in-china.com/showroom/hexingpbs/product-detailUqVENYWwnukh/China-Poly-Butylene-Succinate-.html>

Foss Manufacturing Company LLC. 2010. Eco-fi: About us. Luettu 25.3.2011.
<http://www.eco-fi.com/aboutus.cfm>

Franck, R.R. & Textile Institute Staff. 2005. Bast and other plant fibres. Overview. Great Britain: Woodhead Publishing Limited

Gulich, B. 2006. Recycling in textiles. Development of products made of reclaimed fibers. Teoksessa Wang, Y. (toim.) Great Britain: Woodhead Publishing Limited

Hawley, J.M. 2006. Recycling in textiles. The textile recycling industry. Teoksessa Wang, Y. (toim.) Great Britain: Woodhead Publishing Limited

IFOAM. 2009. Definition of Organic Agriculture. Luettu 30.3.2011.
http://www.ifoam.org/growing_organic/definitions/doa/index.html

ISO 14851. 2003. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium... Sveitsi: International Organization for Standardization

Johnson, R.M. Mwaikambo, L.Y. & Tucker, N. 2003. Biopolymers. Great Britain: Smithers Rapra

Kenaf Natural Fiber Industries Sdn Bhd. 2009. Our factory are producing following products. Luettu 24.3.2011. <http://www.kenaffiber.com/our-product.htm>

Kozłowski, R. Baraniecki, P. & Barriga-Bedoyan, J. 2005. Biodegradable and sustainable fibres. Bast fibres. Teoksessa Blackburn, R.S. (toim.). England: Woodhead Publishing Limited

Leigh Fibers, Inc. 2010. About us. Luettu 25.3.2011. <http://www.leighfibers.com/about/>

Leigh Fibers, Inc. 2010. Our products. Luettu 26.3.2011.
http://www.leighfibers.com/products_landing/

Metabolix, Inc. 2010. The proof is in the details. Luettu 9.3.2011.
<http://www.mirelplastics.com/discover/default.aspx?ID=1783>

Muoviyhdistys ry. 1992. Muovitermit. Määrittelevä osa. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Muri, J.M. & Brown, P.J. 2005. Biodegradable and sustainable fibres. Alginate fibers. Teoksessa Blackburn, R.S. (toim.). England: Woodhead Publishing Limited

Nonwovens Industry. 2006. The top companies report 2006. Luettu 29.3.2011.
<http://nonwovensindustry.texterity.com/nonwovensindustry/sample/?u1=d#pg90>

Polymeeri. 2005. CD-Facta 2005. [CD-ROM]. Helsinki: WSOY

Positive publications Ltd. 2009. Packaging Europe: A&O Filmpac sole EU distributorship for Ecomann PHA resins. Luettu 17.3.2011.
<http://www.packagingeurope.com/NewsDetails.aspx?nNewsID=35074>

Pytel, J. 2009. HAPPI. Biorenewable carbon index for green formulations. Teoksessa Largar, A. (toim.)USA: HAPPI

Qin, Y. 2010 Man-made fiber year book 2010. Functional alginate fibers. Chemical fibers international, volume 60. 48–49.

SFS-EN 13432. 2001.Pakkaukset. Vaatimukset pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Stemergy. 2006–2011. Flax fibre products. Luettu 24.3.2011.
<http://www.stemergy.com/products/flaxfibre/>

Stemergy. 2006–2011. Hemp fibre products. Luettu 25.3.2011.
<http://www.stemergy.com/products/hempfibre/>

Suominen Yhtymä. 2008. Biolace - Valinnanvaraa laajentava. Luettu 28.2.2011.
http://www.suominen.fi/fi_biolace

Suominen Yhtymä. 2008. Fibrella - Täydellinen materiaali pyyhkimiseen. Luettu 28.2.2011. http://www.suominen.fi/fi_fibrella

Suominen Yhtymä. 2008. Karelin – Täydellinen ja hoivaava hygieniauotemateriaali. Luettu 28.2.2011. http://www.suominen.fi/fi_karelin

Suominen Yhtymä. 2008. Luomme uusia mahdollisuuksia. Luettu 11.3.2011.
<http://www.suominen.fi/kuitukankaat>

Suominen Yhtymä. 2008. Novelin - Täydellinen hygieniauotemateriaali. Luettu 28.2.2011. http://www.suominen.fi/fi_novelin

Suominen Yhtymä. 2008. Suominen kuitukankaiden brändit. Luettu 28.2.2011
<http://www.suominen.fi/brandit>

Suominen Yhtymä. 2008. Tuotamme tuotteita ja ratkaisuja, jotka helpottavat ihmisten arkielämää. Luettu 23.2.2011. http://www.suominen.fi/tuotteet_ja_palvelut

Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos. Polymeerien ominaisuudet. 2001–2005. Luettu 11.4.2011. http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4_2.php

Tianan Biologic. 2000. Greating value from nature: Company. Luettu 18.3.2011.
<http://www.tianan-enmat.com/default.htm>

Turunen, O. 2003. Metsäteollisuuden kaatopaikkatoiminnan kehittäminen. Kaatopaikkapäästöjen synty. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö

Wang, Y. 2006. Recycling in textiles. Introduction. Teoksessa Wang, Y. (toim.) Great Britain: Woodhead Publishing Limited

Wilson, A. & Mowbray, J. 2008. Eco-Textile labelling. Great Britain: Eco Textile News

Wilson, A. 2007. Handbook of nonwovens. Development of the nonwovens industry. Teoksessa Russell, S.J. (toim.) England: Woodhead Publishing Limited

VirtuaaliAMK. 2006. Kuitutestaus: Lujuus, Hienous. Luettu 26.3.2011.
<http://www.virtuaaliAMK.fi/opintojaksot/030507/1086702378009/1166092246483/1166092271302/1166092313098.html>

Ecomann PHA EM20010



Ecomann PHA EM20010

Biodegradable plastic for Injection Molding

Product description EM20010 is semi-crystalline biodegradable, aliphatic bio-polyester designed for use in injection moulding applications.

Ecomann EM20010 meets USFDA and EU direct food contact and OK compost. It is also in the process of receiving OK Home compost and OK Marine compost

Typical applications: Ball pens , bottle tops , cups . electric frames and etc.

Chemical name	Polyhydroxyalkanoates
Form	EM20010 is supplied in pellet form in 25kg bags

Properties Ecomann PHA EM20010 has excellent strength, good machinability and excellent stiffness. Its barriers properties are excellent especially to water and oil. It has excellent heat resistance as well as the following:

High impact resistance and excellent surface gloss
 Low water vapour transmission (WvTR) and O₂ transmission (O₂TR)
 MFR (170 °C, 2.16kg, 10mins): 4 - 10
 Excellent hydrolysis resistance
 Good processability and printability

Property	Unit	Test Method	Result
Density	g/cm ³	ASTM D-792	1.25
MFR	g/10min	ASTM D-1238	4
Melting Point	°C	DSC	130--150
Vicat A/50	°C	ASTM D-648	90
Tensile Strength	MPa	ASTM D-638	30
Breaking Extension	%	ASTM D-638	20
Flexural Strength	MPa	ASTM D-790	45
Flexural Modulus	MPa	ASTM D-790	1650
Impact Strength	Kj/m ²	ASTM D-256	NB
Izod Impact nd	Kj/m ²	ASTM D-256	4
Shrinkage	%	ASTM D-955	1.2
Water Absorb	%	ASTM D-570	<0.4

Ecomann PHA EM20010

**Compatibility**

EM20010 exhibits excellent compatibility with other biodegradable polymers and can blend with Polylactic Acid (PLA), or other biodegradable aliphatic polyesters; PBS, PBSA, PBAT or TPS. If combining EM20010 with other resins it is recommended that process trials be conducted to assess the quality of the final product. Ecomann takes no responsibility or liability for any issues, processing problems that may arise from combinations of PHA and any other resins.

The processability of EM20010 in extrusion will depend on the technology and processing conditions.

Compostibility

Composting is a natural method of waste disposal that allows organic materials to be recycled back into the environment as soil nutrient. Ecomann PHA resins degrade when exposed to naturally occurring micro-organisms that are found in the following environments; seawater, sludge, soil, sandy soil, home and industrial composting environments.

Important:

The combination of microorganisms, water and nutrient need to be present before resin breakdown to CO₂ and H₂O will occur.

Ecomann PHA EM20010 meets the requirements of biodegradable standards ASTM D6400 & EN13432.

Safety and Handling

Material Safety Data Sheet (MSDS) for PHA resins are available from Ecomann or approved distributors. The MSDS is provided to help customers satisfy their own safety and handling requirements and disposal needs. It is recommended to review the MSDS before handling or using PHA.

Temperatures during transportation and storage should not exceed 80 °C.

Product should be stored in a dry, well ventilated warehouse. Avoid high humidity.

Avoid contact with soil, seawater, and sludge.

Shelf life of product should not exceed 3 years at ambient temperature (23 °C).

Quality Control

EM20010 is produced in a continuous production process according to ISO 9001: 2000.

The melt flow rate and tensile properties have been defined as specified parameters for quality control.

A certificate can be provided with each lot number upon specific customer request. There is a product quality control team taking measurements during manufacturing.

State of the art analytical instrumentation ensures measurements are in accordance with recognized international standards.

Processing**Drying**

Pre drying of EM20010 is recommended prior to processing to get the best processing performance; however pre drying may not be needed if the residual moisture content is below 0.3%.

It is recommended prior to processing to check the moisture

LIITE 1:3 (3)

Ecomann PHA EM20010



content of the resin. If the moisture content of the resin is less than 0.3% pre drying may not be needed.

Typical drying conditions: 3 hours at 175°F (80°C).

If the resin has been exposed to high humidity it is recommended to pre dry prior to processing.

Keep the package sealed at all times until ready to use and promptly reseal any unused material.

Machines **Injection**

EM20010 will process on conventional injection machine using general purpose screws with L/D ratios in the range 20:1 to 30:1 and compression ratios in the range 1.5:1 to 3:1.

Start up procedure

Ecomann PHA resins are not compatible with conventional thermoplastic resins. The following purging sequences should be followed to make sure the injection machine is clean:

1. Set temperature of injection machine to 150 -150°C.
2. Vacuum out hopper system to avoid contamination.
3. Introduce PHA resin into the injection machine at the operating conditions used in Step 1.
4. Once PHA is purged and no residual conventional resins are present, reduce barrel temperatures to the temperatures recommended in the processing profile below.
5. Once the injection machine has reached the required temperature below you can start production.
6. If the machine is specially used for PHA processing, step 2 & 3 can be ignored.

Important:

Ecomann PHA polymers are temperature sensitive. It is important to make sure the injection machine is closer to the lower temperature setting to start with. If the injection part is not optimized it is recommended to increase the temperature in 5°C increments.

Processing Temperature Profile for Injection		
Melt temperature	266--311°F	130--150°C
Feed temperature	275--293°F	135--145°C
Compression Section	293--329°F	145--165°C
Melting Section	311--347°F	150--175°C
Die	311--329°F	155--165°C
Screw Speed	20--40rpm	20--40rpm
Mold temperature	104°F	40°C

IMPORTANT: The following supersedes Buyer's documents.

SELLER MAKES NO REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

No statements herein are to be construed as inducements to infringe any relevant patent. Under no circumstances shall Seller be liable for incidental, consequential or indirect damages for alleged negligence breach of warranty, strict liability, tort or contract arising in connection with the product(s). Buyer's sole remedy and Seller's sole liability for any claims shall be Buyer's purchase price. Data and results are based on controlled or lab work and must be confirmed by Buyer by testing for its intended conditions of use. The product(s) has not been tested for, and is therefore not recommended for, uses for which prolonged contact with mucous membranes, abraded skin, or blood is intended; or for uses for which implantation within the human body is intended.

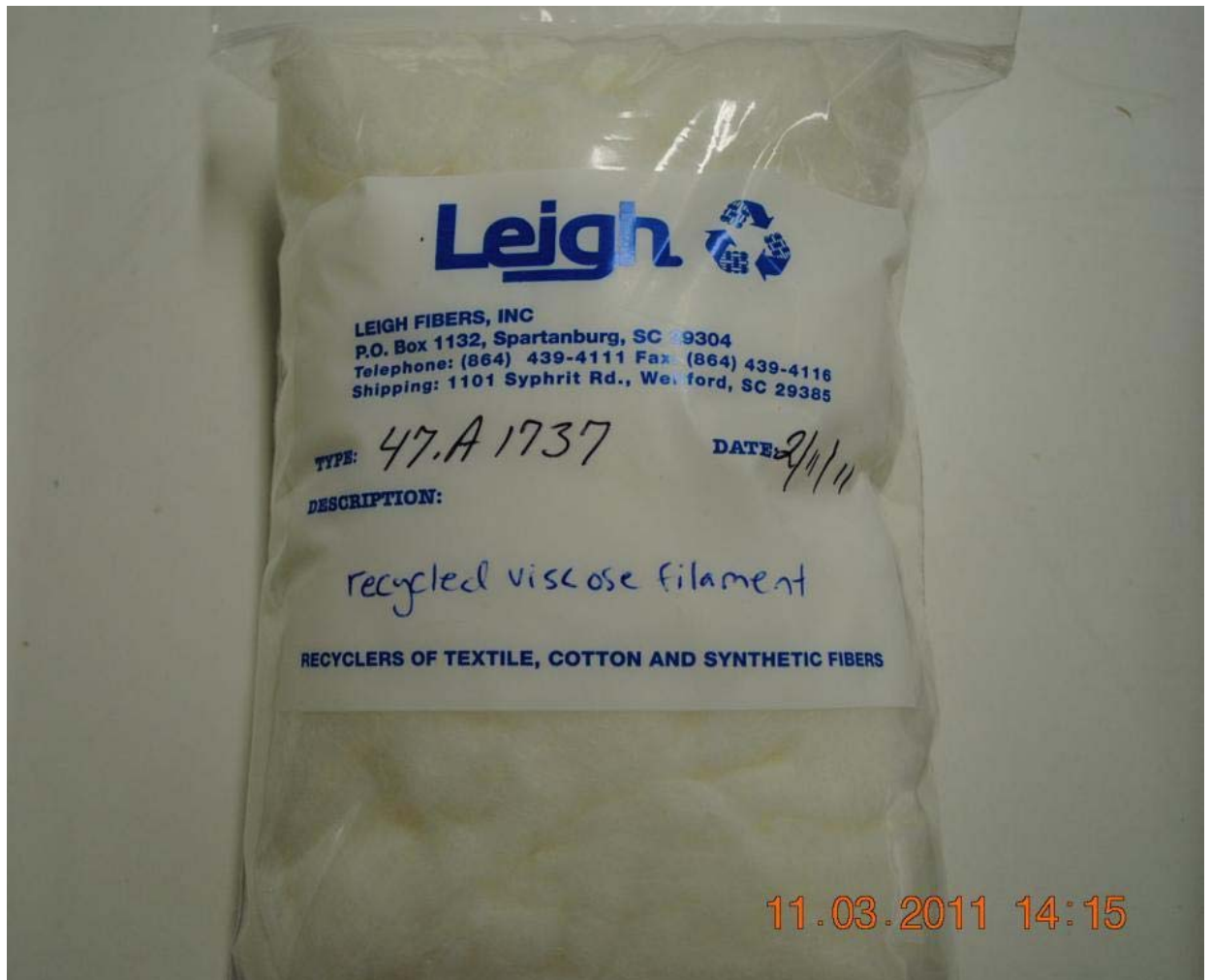
Name 制品名	Poly (ButyleneSuccinate) 聚丁二酸丁二醇酯 (PBS)	Producer 产地	Anqing Hexing chemical co.,LTD 安庆和兴化工有限责任公司		
-------------	--	----------------	--	--	--

Test Item 项目	Condition 条件	Units 单位	Injection 注塑级	Extruding 挤出级	Blow-film 吹膜级
Relative Density 相对密度	25℃		1.26	1.26	1.26
熔点 Melt Point	/	℃	113-115	113-115	108-113
Melt-Flow-Index 熔融指数	190℃/2.16kg	g/10min	20~30	10~20	≤10
Heat-Deflection-T emperature 热变形温度	0.455Mpa	℃	89	89	85
维卡软化点 Vicat-soft-point	1.0 kg	℃	90-95	90-95	90-95
Tensile Strength 拉伸强度	Tensile speed 拉伸速度: 50mm/min	MPa	35-40	36-41	37-41
Elongation at Break 断裂伸长率		%	≥100	≥200	≥300
Flexural Strength 弯曲强度	Flexural speed 弯曲速度: 5mm/min	MPa	33-35	30-34	20-23
Impact Strength 冲击强度	Notched A 缺口 A	kJ/m ²	8-12	9-12	≥13
外观 Appearance	/	/	白色或淡 黄色颗粒	白色或淡 黄色颗粒	白色或淡 黄色颗粒

Valkoista tai vaaleankeltaista
granulaattia



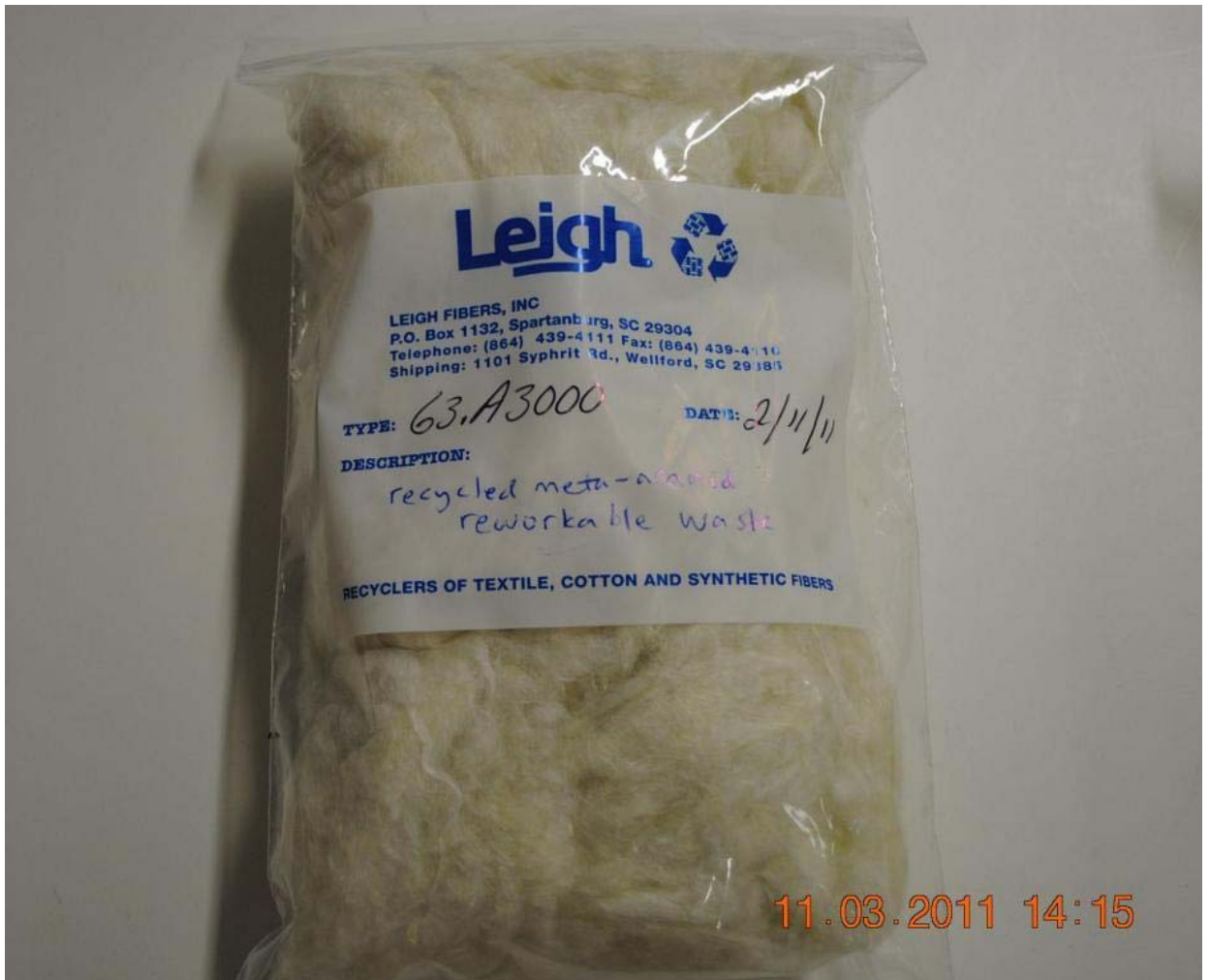
Kuva 1. Leigh fibers, Inc:n kierrätettyä polypropeeni mattokuitua kuluttajilta. (Kuva: Suominen Kuitukankaat Oy 2011, muokattu)



Kuva 2. Leigh fibers, Inc:n kierrätetty viskoosifilamentti (Kuva: Suominen Kuitukan-
kaat Oy 2011, muokattu)



Kuva 3. Leigh fibers, Inc:n kierrätetty polyesteritappura (Kuva: Suominen Kuitukankaat 2011, muokattu)



Kuva 4. Leigh fibers, Inc:n kierrätetty meta-aramidijäte (Kuva: Suominen Kuitukankaat Oy 2011, muokattu)



Kuva 5. Leigh fibers, Inc:n kierrätetty ballististen vaatteiden leikkujäte (Kuva: Suominen Kuitukankaat Oy 2011, muokattu)