

Silja Suomalainen

Ympäristömyötäisempiä vaihtoehtoja puuvillalle

Case: Arela

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Vestonomi (AMK)

Vaatetusalan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

16.11.2017

Tekijä(t) Otsikko	Silja Suomalainen Ympäristömyötäisempiä vaihtoehtoja puuvillalle Case: Arela
Sivumäärä Aika	56 sivua + 1 liite 16.11.2017
Tutkinto	Vestonomi (AMK)
Koulutusohjelma	Vaatetusalan koulutusohjelma
Ohjaaja(t)	DI Erja Parviainen Arelan pääsuunnittelija Anni Arela
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on selluloosamuuntokuitujen tutkiminen ja työn päämäärä on löytää puuvillalle ympäristömyötäisempiä vaihtoehtoja. Työ tehdään toimeksiantona Arela-vaatemerkille, mikä vaikuttaa oleellisesti aiheen käsittelyyn, työn rajaukseen ja lähestymistapaan. Aihetta pohjustetaan luomalla katsaus kulutustottumuksiin, laadun merkitykseen sekä puuvillan käyttöön liittyviin ekologiisiin ongelmiin. Kuituja tarkastellaan ympäristömyötäisyyden, kestävyiden ja ominaisuuksien näkökulmasta.</p> <p>Vaatetusala on tilanteessa, jossa muun muassa ilmastonmuutos sekä puhtaan veden ja uusiutumattomien luonnonvarojen, kuten öljyn ehtyminen, ajavat sitä muutokseen. Ympäristömyötäisyyden merkitys on kasvanut niin alan sisällä kuin kuluttajien keskuudessa. Vaatetusmateriaalien tuotanto on merkittävä ympäristön kuormittaja; esimerkiksi puuvillan tuotantoon kuluu valtavat määrät vettä sekä hedelmällistä maata. Toisin sanoen materiaali-valinnalla on merkittävä vaikutus tuotteen ympäristökuormitukseen.</p> <p>Opinnäytetyö on tutkimuksellinen ja se on toteutettu käyttämällä laadullista tutkimusmenetelmää. Aineistoa on kerätty alan kirjallisuudesta ja muista aiheeseen liittyvistä julkaisuista sekä asiantuntijahaastatteluilla. Selluloosamuuntokuituja käsitellään sekä ryhmänä että yksittäin niiden elinkaaren eri vaiheissa. Kuituja tarkastellaan benchmarkkausta eli vertailuanalyysiä apuna käyttäen. Perinteisten selluloosamuuntokuitujen lisäksi työssä nostetaan esiin myös suomalaista osaamista uusien kuidunvalmistusteknologioiden saralla.</p> <p>Vertailun tuloksena saatiin rajattua tutkituista kuiduista Arelalle sopivimmat vaihtoehdot puuvillan korvaajiksi. Sopivimmiksi materiaaleiksi valikoituivat Lyocell, erityisesti itävaltalaisen Lenzingin Tencel sekä Lenzing Modal. Arelan lisäksi tutkimuksesta voivat hyötyä muutkin puuvillalle vaihtoehtoa etsivät tai puuvillan ja selluloosamuuntokuitujen ympäristövaikutuksista kiinnostuneet.</p>	
Avainsanat	ympäristömyötäisyys, selluloosamuuntokuidut, vaihtoehtoja puuvillalle

Author(s) Title	Silja Suomalainen Pro-Environmental Substitutes for Cotton Case: Arela
Number of Pages Date	56 pages + 1 appendix 16 November 2017
Degree	Bachelor of Fashion and Clothing
Degree Programme	Fashion and Clothing
Instructor(s)	Erja Parviainen, MSc (Tech) Anni Arela, head designer of Arela
<p>The aim of this thesis was to explore the range and properties of regenerated cellulose fibers with the intention of finding pro-environmental substitutes for cotton. The thesis was carried out in co-operation with the Finnish clothing brand Arela. In consideration of this collaboration, the goal of the study was to find a material that meets Arela's specific needs. Viewpoints in the research process included environmental friendliness, sustainability as well as the quality of the material. To establish a common understanding of the context, the first chapters analyze and evaluate the status quo, that is, the present-day consumption habits along with the role of quality and problems caused by the cultivation and production of cotton.</p> <p>The production of textile fibers undoubtedly has a major impact on the environment. For instance, the cultivation of cotton is highly intensive in its use of water and chemicals. This leads to several environmental problems. Climate change as well as the scarcity of clean water and non-renewable natural resources like oil have the fashion industry facing a turning point. However, the voices of change do not solely come from within the industry. More and more consumers are interested in a sustainable lifestyle. Therefore, it is important to acknowledge the significance of choosing the right materials for your projects.</p> <p>The study was carried out using qualitative research methods, including professional literature and other publications as well as interviews. Methods used to analyze and compare the properties of fibers were life cycle analysis and benchmarking. Aside from the ordinary regenerated cellulose fibers, a few pioneering fiber manufacturing technologies have been explored within the scope of the thesis as well.</p> <p>In conclusion it can be suggested, that the goal of the study was achieved. The research provided a few materials, such as Lyocell, especially Lenzing Tencel and Lenzing Modal, that met the initial requirements of Arela. Furthermore, these insights can be of use to anyone in need of a pro-environmental substitute for cotton or is interested in the environmental impacts of the previous.</p>	
Keywords	pro-environmental, regenerated cellulose fibres, alternatives to cotton

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön lähtökohdat	1
1.2	Rajaus ja viitekehys	2
1.3	Yhteistyöyrityksen esittely – Arela Oy	4
1.4	Keskeisiä käsitteitä	5
1.4.1	Ympäristömyötäisyys	5
1.4.2	Kestävä kehitys ja kestävyys	5
1.5	Materiaalin merkitys	7
2	Puuvillan käyttöön liittyvät ekologiset ongelmat	7
3	Kulutustottumukset ja laadun merkitys	13
4	Selluloosasta ympäristömyötäisiä materiaaleja	15
5	Selluloosamuuntokuidut	19
5.1	Viskoosi	20
5.1.1	Ominaisuudet	21
5.1.2	Ympäristövaikutukset	21
5.2	Modaali	23
5.2.1	Ominaisuudet	23
5.2.2	Ympäristövaikutukset	23
5.3	Kupro	24
5.3.1	Ominaisuudet	24
5.3.2	Ympäristövaikutukset	25
5.4	Lyocell	25
5.4.1	Ominaisuudet	25
5.4.2	Ympäristövaikutukset	26
6	Uudet selluloosamuuntokuidut	27
6.1	Ioncell-F	27
6.1.1	Ominaisuudet	28
6.1.2	Ympäristövaikutukset	29
6.2	BioCelSol	30

6.2.1	Ominaisuudet	30
6.2.2	Ympäristövaikutukset	31
6.3	Selluloosakarbamaatti	31
6.4	Spinnova	32
7	Materiaalin ympäristökuormitukseen vaikuttavat tekijät	33
7.1	Veden- ja energiankulutus	33
7.2	Raaka-aineen tuotanto, kemikaalit ja päästöt	35
7.3	Esikäsittelyt	36
7.4	Värjäys	38
7.5	Viimeistykset	39
7.6	Kierrätys	41
7.7	Biohajoavuus	43
7.8	Higg Materials Sustainability Index (MSI)	44
8	Asiantuntijahaastattelut	45
9	Johtopäätökset	49
10	Pohdinta	49
11	Lähteet	51

Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on löytää Arela-vaatemerkin tarpeisiin sopiva ympäristömyötäisempi materiaali korvaamaan puuvilla. Työssä syvennyn tutkimaan sellulosaamuunkuituja ympäristön sekä ominaisuuksien näkökulmasta Arelan toiveita silmällä pitäen. Idea työn aiheesta syntyi tehdessäni työharjoittelua Arelalle keväällä 2017.

Opinnäytetyössä kohtaavat oma kiinnostukseni ekologisuuteen sekä globaali tarve ympäristömyötäisten tekstiilien tuotannon kehittämiseksi. Ympäristömyötäisyys on aiheena myös ajankohtainen viime vuosina tapahtuneen vihreiden arvojen nousun myötä. Ekologisuudesta on tullut globaali asia, ja ympäristömyötäinen kuluttaminen kiinnostaa yhä useampia.

Puuvillan tuotannon on ennustettu loppuvan lähes kokonaan parin vuosikymmenen sisällä vesipulan takia (Puukka 2017). Vaihtoehdoille on siis myös yleisesti ottaen todellinen tarve.

Käsittelen aihetta laajaa aineistoa apuna käyttäen. Kerään aineistoa muun muassa kirjallisuudesta, sanoma- ja aikakauslehdistä sekä luennoilta. Lisäksi haastattelen alan asiantuntijoita uusien ympäristömyötäisten kuitujen kehittämiseen liittyen ja sitä kautta tuon työhön mukaan myös uusinta ja ajankohtaista tietoa. Samalla kartoitan myös tulevaisuuden mahdollisuuksia ympäristömyötäisten materiaalien saralla.

1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Puuvillan korvaamista lähestytään tutkimuskysymyksillä: Miksi puuvilla pitäisi korvata? Mikä materiaali korvaajaksi sopisi parhaiten? Ensimmäinen kysymys toimii lähtökohtana opinnäytetyölle ja sen antamat vastaukset ohjaavat jälkimmäisen kysymyksen tarkastelua. Jälkimmäisessä kysymyksessä tulee myös ottaa huomioon Arelan toiveet materiaalin ominaisuuksien suhteen.

Käytän laadullista tutkimusmenetelmää, ja käyttämäni aineisto on kerätty tekstiili- ja vaatetusalan kirjallisuudesta, sanoma- ja aikakauslehdistä, luennoilta, alan yritysten verkkosivuilta, tutkimusraporteista sekä asiantuntijoita haastattelemalla.

Haastattelin opinnäytetyötäni varten kahta asiantuntijaa. Päätin ottaa haastattelun mukaan opinnäytetyössä käyttämiini aineistonkeruumenetelmiin, sillä halusin syventää ymmärrystäni käsittelemistäni uusista tekstiilikuiduista ja saada ajankohtaista ja uutta tietoa niistä. Otin yhteyttä neljään asiantuntijaan, joista kahdelta sain myöntävän vastauksen, ja haastattelut toteutettiin sähköpostin välityksellä. Haastatellut asiantuntijat Designer in Residence Pirjo Kääriäinen ja Research Fellow Marja Rissanen työskentelevät Aalto-yliopistossa, ja Rissanen on mukana Ioncell-F:n kehitysprojektissa.

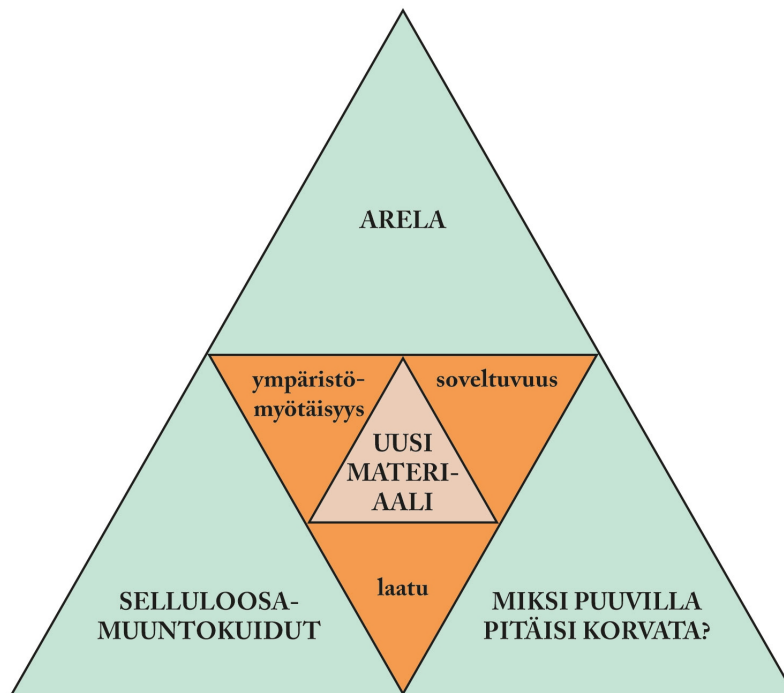
1.2 Rajaus ja viitekehys

Tässä työssä keskityn tarkastelemaan erilaisia selluloosamuuntokuituja. Rajasin synteettiset tekokuidut pois, sillä ne ovat jo lähtökohtaisesti kestämätön ratkaisu niihin käytettävien raaka-aineiden, mineraalien ja öljyn, rajallisuuden vuoksi. Öljy uusiutuu noin miljoonassa vuodessa, mikä tarkoittaa sitä, että sen tarve tulee pian ylittämään tarjonnan. Selluloosamuuntokuitujen raaka-aine, puu, taas on suhteellisen nopeasti uusiutuva luonnonvara, jolloin kysyntä ja tarjonta on helpompi pitää tasapainossa. Kuitenkaan ainoastaan raaka-aineen uusiutuvuus ei takaa kestävyttä, vaan siihen vaikuttaa monta muutakin seikkaa, kuten materiaalin valmistukseen kulunut vesi, energia ja kemikaalit, sen tuotannon vaikutus ekosysteemiin ja työntekijöihin sekä sen käyttöikä. (Fletcher & Grose 2012, 14.)

Puuvillan ongelmakohtia ja ominaisuuksia tuon esille selvittääkseni syyn sen korvaamisen tarpeelle. Luonnonkuidut, kuten hamppu, rami ja pellava jäävät rajauksen ulkopuolelle, sillä ne eivät ominaisuuksiltaan vastaa toimeksiantajan kriteerejä, enkä näin ollen katso niiden käsittelyä tarpeelliseksi. Selkeyden vuoksi ei mukaan oteta (puuvillaa lukuun ottamatta) muitakaan luonnonkuituja, vaan pitäydytään puupohjaisissa selluloosamuuntokuiduissa. Vaatetusmateriaaleja syvennyttään arvioimaan ympäristön näkökulmasta, sillä Arelan toiveena oli saada puuvillalle nimenomaan ympäristömyötäisempi vaihtoehto. Koska vaatetusmateriaalit ja niiden valinta nivoutuvat yhteen myös ihmisten hyvinvoinnin ja kulutuskäyttäytymisen kanssa, avaan hieman näitäkin aihealueita.

Kuviossa 1 on kuvattuna opinnäytetyön keskeiset osa-alueet. Uloimmassa kolmiossa ovat työn lähtökohdat: toimeksiantajayritys Arela, puuvillan korvaaminen toisella materiaalilla ja selluloosamuuntokuitujen tutkiminen. Arelan pääsuunnittelijan Anni Arelan kanssa keskusteltuani tärkeiksi kriteereiksi korvaavalle materiaalille nousivat keskimäisessä kolmiossa olevat ympäristömyötäisyys, laatu ja soveltuvuus käyttötarkoituk-

seen. Nämä ovat tekijät, joiden kautta materiaaleja tarkastellaan. Sisimmässä kolmiossa on opinnäytetyön tavoite, uusi materiaali.



Kuvio 1. Opinnäytetyön viitekehys

Tavoitteena on löytää tunnultaan pehmeä, mutta luja ja käytössä hyvin kestävä materiaali, sillä Arelan pyrkimyksenä on luoda pitkäikäisiä, käytännöllisiä ja miellyttävän tuntuista vaatteita. Lisäksi Arelan, lähes poikkeuksetta yksivärisissä tuotteissa, materiaali on keskiössä, joten sen on oltava laadukas.

Tuon myös esille uusien puuselluloosapohjaisten kuitujen kehityshankkeita ja tuotantomahdollisuuksia Suomessa, sillä täällä on tällä hetkellä suuri potentiaali niin osaamisen kuin raaka-aineen saatavuudenkin kannalta. Uudet kuidut eivät tuo välitöntä ratkaisua, mutta niistä voi olla hyötyä pitkällä aikavälillä ja jopa lähitulevaisuudessa. Materiaalin hankkiminen läheltä on myös taloudellisesti ja ekologisesti kannattavaa. Käyn läpi perinteisten ja uusien selluloosamuuntokuitujen ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia ja teen lopuksi vielä vertailua niiden, energian, veden ja kemikaalien käytöstä, esikäsittelyistä, viimeistelyistä, värjäyksistä sekä kierrätysmahdollisuuksista. Avaan aluksi myös työssä käytettävät keskeiset käsitteet – ympäristömyötäisyyden ja kestävä kehityksen.

1.3 Yhteistyöyrityksen esittely – Arela Oy

Arela on suomalainen vaatetusalan perheyritys ja brändi, jonka valikoima koostuu pääosin kashmir- ja merinoneuleista, mutta mukana on myös jonkin verran puuvillaisia neulottuja ja kudottuja tuotteita. Yrityksen perustivat tekstiilisuunnittelija Maija Arela ja Kristiina Salminen-Lizza vuonna 2006. Tuolloin nimi oli Arelalizza. Perheyritykseksi ja nykyiseen muotoonsa, Arelaksi, yritys muodostui vuonna 2013, kun Maijan tyttäret Anni ja Viivi Arela tulivat mukaan Kristiinan jäädessä pois. Anni toimii Arelan pääsuunnittelijana ja Viivi vastaa yrityksen markkinoinnista ja viestinnästä.

Minimalistista tyyliä edustavissa eleganteissa tuotteissa keskeisiä elementtejä ovat laatu, toimivuus, mukavuus sekä taidokkaasti valitut värit. Tuotteissa käytetyt materiaalit on valittu huolella ja hyvästä laadusta pidetään kiinni. Valmistus tapahtuu Nepalissa, Latviassa, Kiinassa ja Suomessa (Arela n.d.). Tehtaissa vierailaan säännöllisesti ja näin voidaan valvoa laatua sekä varmistaa hyvät työolosuhteet.

We do not design the clothes for a particular woman or man, but rather to all people unified by a certain minimalist sensibility (Arela n.d.).

Arela pyrkii toiminnassaan vastuullisuuteen ja kannustaa myös asiakkaitaan toimimaan kestävien periaatteiden mukaisesti. Tuotteet ovat ajattomia ja ajatuksena on, että vaatteet kestäisivät sukupolvelta toiselle ja niistä pidettäisiin huolta. Arela tarjoaakin asiakkailleen huoltopalvelua ja ottaa siten myös vastuun tuotteidensa laadusta. Huoltopalveluun sisältyy tuotteen pesu, kampaus (nukan poisto) ja höyrytys sekä tarpeen tullen reikien paikkaus. Verkkokaupan tilaukset postitetaan postipaketin uusiokäytävällä Repack-palvelulla tai pick up -palvelulla, jolloin asiakas noutaa tilauksensa itse myymälästä.

Keskeistä Arelan toiminnassa on myös materiaalien säästäminen ja uusiokäyttäminen. Neuleet neulotaan muotoon, jolloin materiaalia ei mene hukkaan ja ylijääneet materiaalit ja käyttökelvottomat tuotteet hyödynnetään esimerkiksi kyynärpääpaikkoina tuotteiden korjausta varten. Sen lisäksi, että tällainen toimintatapa on ympäristömyötäinen, on se pienelle yritykselle myös kustannustehokas.

Arelalla on kahden kausittain vaihtuvan malliston lisäksi Basic-mallisto, johon kuuluu puuvillatuotteita, kuten t-paitoja, collegepaitoja ja -housuja sekä Sunday-mallisto, jonka kashmirtuotteet ovat värjäämättömiä. Uuden tuotannon lisäksi Arelalla on myös kierrä-

tykseen perustuva For good -konsepti. Tämä tarkoittaa sitä, että kampanjan ajan asiakkaat voivat tuoda myymälälle vanhoja Arela-tuotteitaan, jotka yrityksen tiimi huoltaa ja myy eteenpäin yhdessä tuotannon mallikappaleiden kanssa For good -tapahtumassa.

1.4 Keskeisiä käsitteitä

Seuraavaksi avaan opinnäytetyön kannalta keskeisiä käsitteitä, jotka esiintyvät työssä useampaan kertaan. Käsitteiden avaaminen syventää lukijan ymmärrystä työn kontekstista sekä selkeyttää aiheiden käsittelyä.

1.4.1 Ympäristömyötäisyys

Ympäristömyötäisyys on yksi keskeisistä teemoista tässä opinnäytetyössä, ja tulen käyttämään käsitettä useaan otteeseen. Mitä se sitten tarkoittaa? Kaikki ihmisen toiminta kuormittaa ympäristöä enemmän tai vähemmän. Tuotteiden valmistus, niiden markkinointi, kuluttaminen ja lopulta hävittäminen vaativat kaikki energiaa ja materiaaleja, jotka tavalla tai toisella rasittavat ympäristöä. Ympäristömyötäisyyden ideana on minimoida tämä kuormitus. Ympäristömyötäisyys (arkikielessä myös ympäristöystävällisyys) määritellään Ulla Suojasen *Vihreät tekstiilit* -kirjassa seuraavasti:

...prosessi, toiminto tai tuote, jonka elinkaaren aikaiset prosessit rasittavat ympäristöä vähemmän kuin tällä hetkellä vallitsevat prosessit (Suojanen 1995, 9).

Ympäristömyötäisyyden käsite on siis vahvasti kytköksissä kullakin hetkellä eletävään aikaan. Teknologia ja kuidunvalmistusprosessit kehittyvät koko ajan, ja sitä mukaa muuttuu myös käsitys ympäristömyötäisyydestä; se, mitä nyt pidetään ympäristömyötäisenä ei todennäköisesti enää ole sitä joidenkin vuosien kuluttua. (Suojanen 1995, 10.)

1.4.2 Kestävä kehitys ja kestävyys

Puhun opinnäytetyössäni myös *kestävyydestä* ja *kestävästä kehityksestä*, jotka tässä tapauksessa toimivat synonyymeinä toisilleen. Kestävän kehityksen ydin on säilyttää ja taata tuleville sukupolville elinkelpoinen ympäristö (Kestavakehitys.fi n.d.). Tulevaisuudentutkija Mika Mannermaan mukaan (1993) kestävän kehityksen ajatus on se, että ihmiskunta elää sopusoinnussa luonnon kanssa ja toimii ekosysteemin kantokyvyn rajo-

jen sisäpuolella, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että luonnonvarojen uusiutumistahti ja rajallisuus otetaan huomioon ja ympäristöä vahingoittavia toimia ja prosesseja välletään. Mannermaan mukaan tällainen yhteiskunta voisi toimia periaatteessa ikuisesti. Mannermaa on jo yli 20 vuotta sitten huomauttanut, ettei loputon taloudellinen kasvu ole realistista. (Suojanen 1995, 10.)

Kestävän kehityksen voidaan nähdä koostuvan kolmesta osa-alueesta: ympäristötaloudellisesta eli ekologisesta ulottuvuudesta, yhteiskunnallisesta ulottuvuudesta ja kulttuurisesta ulottuvuudesta. Ekologisen ulottuvuuden päämääränä on ihmiskunnan toimien mukauttaminen tasapainoon luonnon kanssa sekä biodiversiteetin katoamisen estäminen. Yhteiskunnallisen ulottuvuuden ideana on se, että jokaisella tulisi olla yhtäläiset edellytykset hyvään ja tasa-arvoiseen elämään. Kulttuurisen ulottuvuuden tarkoituksena taas on taata yksilönvapaus ja kulttuurien säilyminen maapallolla. (Malaska 1994, 3.)

Kestävä kehitys pitää toisin sanoen sisällään ajatuksen kulttuurin kehittämisestä uuteen suuntaan. Tänä päivänä se näkyy muun muassa kuluttajien alati kasvavana kiinnostuksena ympäristömyötäistä, eettistä ja läpinäkyvää toimintaa kohtaan. Tämän opinnäytetyön päämäärän – ympäristömyötäisen materiaalin löytämisen – kannalta on oleellista tarkastella aihetta kestävän kehityksen periaatteiden mukaisen ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun kannalta. Ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun ajatuksena on ottaa tuotteen suunnittelussa huomioon koko sen elinkaaren aikana syntyvät ympäristövaikutukset. (Räisänen, Rissanen, Parviainen & Suonsilta 2017, 246–247.) Tuotteen elinkaaari käsittää kuidun raaka-aineen tuotannon, kuidun ja materiaalin tuotannon, tuotteen käytön sekä sen hävittämisen tai kierrättämisen. Tuotteen käyttöön en kuitenkaan tässä työssä mene syvemmin. Tarkoituksena on valita laadukas materiaali, joka oikein hoidettuna on pitkäikäinen.

Kestävyys käsitteen merkitys ei ole kiistaton; määritelmiä on yli 70, ja kirjassaan *Shaping Sustainable Fashion: Changing the Way We Make and Use Clothes* Alison Gwilt ja Timo Rissanen toteavat, että kestävyys käsite on usein ymmärretty väärin. Käsitteen alkuperäinen, 1950-luvulta peräisin oleva merkitys, oli sosiaaliseen muutokseen pyrkiminen maailmanlaajuisen köyhyyden lieventämiseksi. (Gwilt & Rissanen 2011, 20.)

1.5 Materiaalin merkitys

Vaatteessa käytettävän materiaalin valinnalla on tuotteen fyysisten ominaisuuksien lisäksi merkittävä vaikutus koko ekosysteemiin. Kuituraaka-aineiden ja kankaiden tuottaminen on yhteydessä ympäristöllisiin ongelmiin kuten ilmastonmuutokseen, kaatopaikkojen täyttymiseen ja vesipulaan. Ilmastonmuutos taas vastavuoroisesti vaikuttaa vaatetusmateriaalien tuotantoon; lämpötilojen kohotessa, puhtaan veden loppuessa ja öljyvarojen ehtyessä, toimintatapojen muuttaminen on välttämätöntä. (Fletcher & Grose 2012, 12.)

Vaatetusmateriaalien tuotannosta aiheutuvia ympäristöhaittoja ovat muun muassa muutokset vesistöissä ja niiden kierroissa, biodiversiteetin katoaminen, jätteiden syntyminen, kemiallisten saasteiden päätyminen luontoon ja lukuisat terveysongelmat sekä sosiaaliset ongelmat tuottajayhteisöissä. Jokaisen kuidun kohdalla vaikutus ja vahinkojen aste on omansa. (Fletcher & Grose 2012, 13.)

Ympäristöhaittojen ilmenemisestä johtuen viime vuosina on alettu kehittää uusia materiaaleja, joiden tuotannossa pyritään vähentämään ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta. Kirjassaan *Fashion and Sustainability: Design for Change* Kate Fletcher ja Lynda Grose jakavat tällaiset kestävyysajatteluun perustuvat vaatetusmateriaalit neljään luokkaan: ensimmäisenä on nopeasti uusiutuvia luonnonvaroja hyödyntävät materiaalit, toisena vettä, energiaa ja kemikaaleja säästävät niin kutsutut "low-energy" tai "low-carbon" -materiaalit, kolmantena materiaalit, joiden tuotantoketjussa on otettu huomioon esimerkiksi raaka-aineen tuottajien tai työntekijöiden oikeudet (esimerkkinä tuotteelle annettava Reilun kaupan merkki) ja neljäntenä vähemmän jätettä tuottavat, kuten biohajoavat tai kierrätetyt materiaalit (Fletcher & Grose 2012, 13). Tässä opinnäytetyössä luvussa 6. käsiteltävät uudet selluloosamuuntokuidut ovat juuri tällaisia kestävään ja ympäristömyötäiseen ajatteluun perustuvia vaatetusmateriaaleja.

2 Puuvillan käyttöön liittyvät ekologiset ongelmat

Tässä luvussa tuon esille puuvillan tuotantoon ja käyttöön liittyviä ongelmia selvittääkseni syitä sen korvaamisen tarpeelle. Tavanomaisen puuvillan lisäksi käsittelen myös ekologista puuvillaa.

Puuvilla on maailman merkittävin luonnossa kasvava tekstiilikuitu (Boncamper 2011, 99). Sen vuosittainen kulutus on 24 miljoonan tonnin luokkaa (Pure Waste Textiles n.d.). Näin ollen puuvilla-ala on maailmalla myös suuri työllistäjä. Se elättää noin sataa miljoonaa henkeä, joista suurin osa, yli 90 prosenttia, on kehittyvien maiden asukkaita ja joiden viljelysmaat ovat alle kahden hehtaarin suuruisia. Näillä ihmisillä puuvillan tuomat riskit ja haitat ovat myös suurimmat. (Ander 2011, 11–12.) Merkittävimmät vaatealan aiheuttamat ympäristöongelmat kuljetuksista syntyvien ilmansaasteiden ohella johtuvat puuvillan viljelystä ja siihen käytettävistä kemikaaleista (Moilala 2009).

Puuvillaa viljellään yli sadassa maassa, joista jokaisessa on olosuhteiden mukaan omanlaisensa haasteet. Esimerkiksi Keski-Aasiassa ongelmana on vedenpuute, kun taas Länsi-Afrikassa sademäärä on korkea, mutta kemikaalien käyttö ja siitä aiheutuva vesistöjen saastuminen aiheuttavat ympäristöhaittoja. (Fletcher & Grose 2012, 23.)

23 prosenttia maapallon viljelypinta-alasta on puuvillaviljelmiä, ja ne vievät hedelmällistä maata ruoaksi kelpaavien kasvien viljelyltä. (Boncamper 2011, 99.) Puuvillaviljelmät kattavat koko maapallon pinta-alasta 2,6 prosenttia, joka vastaa Turkin kokoista aluetta. Jos tämän kokoinen alue käytettäisiin ravintokasvien viljelyyn, takaisi se ravinnon yli 200 miljoonalle ihmiselle. (Pure Waste Textiles n.d.) Lisäksi tästä valtavasta viljelypinta-alasta vain hyvin pieni, alle muutaman prosentin osa, on viljelty noudattaen kestäviä periaatteita. (Ander 2011, 11–12.)

Puuvillan tuotanto kuluttaa viljelypinta-alan lisäksi myös valtavat määrät vettä. Puuvilla kasvaa lämpimässä ja kosteassa ilmastossa, mistä johtuen satoa joudutaan monilla alueilla keinokastelemaan (Suojanen 1995, 24). Yhden puuvillakuitukilon kasvattamiseen kuluu keskimäärin 11 000 litraa vettä, mikä on yli yhdeksän kertaa sen verran, mitä yksi ihminen juo vuodessa. Yhden t-paidan valmistukseen vettä kuluu jopa 2 700 litraa. (Pure Waste Textiles n.d.) Tämän lisäksi puuvillan viljely aiheuttaa vesistöjen saastumista (Ander 2011, 11) ja kuivumista (Suojanen 1995, 25).

Tästä esimerkkinä Kazakstanin ja Uzbekistanin välissä sijaitsevan Araljärven ympäristökatastrofi. Araljärvi oli maailman neljänneksi suurin järvi, kunnes toisen maailmansodan jälkeen Neuvostoliitto ohjasi järveen virtaavien jokien vedet kasteluvedeksi pelloille, suurimmaksi osin puuvillapelloille, minkä seurauksena järvi alkoi kuivua ja sen suolapitoisuus nousi (Kokkonen 2014). 40 vuoden aikana järven vesimäärä laski 60 prosenttia ja sen suolapitoisuus kolminkertaistui (Suojanen 1995, 25). Vuoteen 2014 men-

nessä järven päänallas oli kuivunut kokonaan. Alue on nyt lähes aavikoitunut, mistä on seurannut sen ilmaston muuttuminen, mikä näkyy sademäärien laskuna. (Kokkonen 2014.)

Puuvillan viljely vaatii paljon kemikaaleja; enemmän kuin minkään muun kasvin viljely (Moilala 2009). Yksistään puuvillan viljelyyn käytetään 16 prosenttia maapallolla kulutetuista hyönteismyrkyistä. Jokaiselle puuvillahehtaarille ruiskutetaan torjunta-aineita yhteensä lähes kilon verran. Sen lisäksi, että myrkkujen käyttö on ympäristölle haitallista, on se myös kallista. Puuvillapelloille levitetään vuosittain kahden miljardin USA:n dollarin edestä kemikaaleja. Näistä kemikaaleista yli puolet on WHO:n (World Health Organisation) luokituksen mukaan vaarallisia. Geenimanipuloitu puuvilla kestää tuholaisia ja tauteja paremmin, mikä vähentää myrkkujen käytön tarvetta. Sen turvallisuudesta ja pitkäaikaisesta toimivuudesta ei kuitenkaan ole tarpeeksi tutkimustietoa. (Fletcher & Grose 2012, 22–23.)

Puuvilla tarvitsee kasvaakseen myös suuren määrän ravinteita, mistä johtuen sadon parantamiseksi käytetään keinolannoitteita. Keinolannoitteista maahan päätyy muun muassa typpeä, kaliumia ja fosfaattia. Pitkäaikaisen käytön seurauksena niiden sisältämät suolat, etupäässä nitraatit, suodattuvat maakerrosten läpi ja ilmaston ollessa kuivempi suolat nousevat maan pintakerrokseen nostaten niiden suolapitoisuutta. (Suojanen 1995, 25.) Tämä taas johtaa maaperän hedelmällisyyden laskuun (SoCo 2009, 1).

Ylenpalttisesta lannoitteiden käytöstä seuraa myös puuvillakasvin vastustuskyvyn heikkenemistä, jolloin se on alttiimpi taudeille ja tuholaisille (Suojanen 1995, 25). Tämä puolestaan on omiaan lisäämään torjunta-aineiden käyttöä entisestään. Puuvillan viljelyssä käytetään runsaasti erilaisia torjunta-aineita, ja jopa neljännes koko maapallon torjunta-aineiden käytöstä kohdistuu puuvillan. Torjunta-aineita ovat muun muassa hyönteismyrkyt, homeenestoaineet, rikkaruohojen torjunta-aineet ja aineet, joilla puuvillakasvi saadaan pudottamaan lehtensä. Ne sisältävät yleensä rikkiä, fosforia ja metalleja. (Suojanen 1995, 25.)

Ympäristölle haitallisten kemikaalien käyttöä pyritään korvaamaan esimerkiksi mekaanisella ja biologisella torjunnalla, mutta vaarallisia aineita käytetään tästä huolimatta (Suojanen 1995, 26). Toisinaan kemikaaleja ja lannoitteita käytetään myös puutteellisen tiedon ja taidon johdosta väärin, mikä aiheuttaa ympäristölle vielä entisestään lisää ja turhaa kuormitusta (Ander 2011, 11).

Puuvillasato poimitaan nykyään usein koneellisesti, etenkin maissa, joissa palkkataso on korkeampi. Koneiden käyttö edellyttää kasvin lehtien irrottamista ennen sadonkorjuuta. Tämä tapahtuu ruiskuttamalla kasvien päälle myrkyä, joka saa ne pudottamaan lehtensä. Samalla päästään myös eroon kasvin lehdistä olevista tuholaisista. Myrkyä levitetään lentokoneilla, jolloin sitä päätyy myös peltojen ulkopuolelle. Vaikutukset on nähtävissä myös alueen ympärillä asuvien ihmisten terveydentilassa. Esimerkiksi Kaliforniassa on havaittu puuvillapeltojen ympäristössä asuvan väestön terveydentilan olevan keskimäärin muuta väestöä heikompaa. (Suojanen 1995, 26, 55.)

Toisinaan sato korjataan kuitenkin käsin. Tällöin myös peltojen työntekijät saattavat altistua myrkyille. Puuvillanpoimijat eivät nimittäin aina saa asianmukaisia suojavarusteita tai eivät puutteellisen tiedon tai olosuhteiden johdosta käytä niitä. (Ander 2011, 19.) Tekstiilikuitujen tuotannosta työntekijöille aiheutuvat terveyshaitat ovat suurimmat juuri puuvillatuotannon työntekijöillä. Syynä tähän ovat pääosin juuri viljelyssä käytetyt torjunta-aineet. (Suojanen 1995, 55.)

Puuvillan viljelystä aiheutuu ympäristöhaittojen lisäksi myös eettisiä haittoja, joita ovat muun muassa sosioekonomiset haitat, kuten epäinhimilliset työolot mukaan lukien lapsityövoiman käyttö sekä orja- ja pakkotyö (Ander 2011, 11). Esimerkiksi Uzbekistanissa, joka on puuvillan viejänä maailmassa kolmanneksi suurin, lapset ja nuoret komenetaan kouluista puuvillapelloille töihin sadonkorjuuajoina huolimatta siitä, että lapsityövoiman käyttö on laissa kielletty. Lapsityöläisiä on arvioitu olevan useista sadoista tuhansista jopa miljoonaan. Vähintään yhtä merkittäväksi sosioekonomiseksi ongelmaksi muodostuvat myös puuvillantuotannon tuomat taloudelliset ongelmat. (Ander 2011, 13.)

Aiheuttamansa ympäristökuormituksen perusteella puuvillan tulisi olla kallis materiaali, ja sitä täytyisi käyttää säästeliäästi. Paljon puuvillaa heitetään kuitenkin jatkuvasti hukkaan. Joka vuosi 11 miljoonaa tonnia puuvillaa päätyy kaatopaikoille. Tekstiiliteollisuuden ylijäämäjätteen, kuten lankojen kehuussa syntyvän jätteen ja kudonta- ja leikkujätteiden osuus tästä on lähes kolme miljoonaa tonnia, josta riittäisi materiaalia niin paljon, että jokaiselle maapallon asukkaalle saataisiin valmistettua kolme t-paitaa. Tämä tarkoittaa sitä, että valtavat määrät uutta materiaalia menee hukkaan jo valmistusprosessissa. (Pure Waste Textiles n.d.)

Puuvillan tehotuotannossa käytettyjen kemikaalien ja lannoitteiden aiheuttamien ympäristöhaittojen välttämiseksi on aloitettu ekologisen puuvillan viljely. Puuvillan ekologisessa viljelyssä torjunta-aineiden ja keinotekoisien lannoitteiden käyttö on rajoitettua tai kokonaan kiellettyä (Suojanen 1995, 26). Ekologisen puuvillan kriteereissä on jonkin verran eroavaisuuksia eri ekomerkkien välillä. Ekologinen puuvilla voi siis esimerkiksi tarkoittaa puuvillaa, joka on viljelty kokonaan tai osittain luonnonmukaisesti tai puuvillaa, joka on poimittu käsin. Ekomerkki puuvillassa voi myös tarkoittaa, että materiaalia ei ole värjätty haitallisilla väriaineilla tai että sen viimeistykseen ei ole käytetty formaldehydiä tai että sitä ei ole valkaistu kloorilla. Toisin sanoen ekomerkillä merkitty puuvilla-tuote voi täyttää yhden, useamman tai kaikki edellä mainitut kriteerit. (Boncamper 2011, 116.)

Mikäli ekologisesti viljellyn puuvillan materiaalinjalostuksen aikana ei käytetä myrkkijä ollenkaan, laskee koko tuotteen elinkaaren aikana käytettyjen myrkkijen määrä 93 prosentilla tavanomaiseen puuvillaan verrattuna (Fletcher 2008, 21). Kasvia suojellaan tuhoholaisilta erilaisilla biologisilla kasvinsuojelumenetelmillä, vuoroviljelyllä sekä muilla ympäristölle hellävaraisemmilla aineilla, kuten saippualla ja kasviöljyillä. Lehtien pudottamiseksi voidaan käyttää hyväksi hallayöitä, jos puuvillapellot sijaitsevat alueella, jossa sellaisia on. (Suojanen 1995, 26.)

Yhtenä hyvänä esimerkkinä ekologisen puuvillan viljelystä toimii 1990-luvulla Texasissa toteutettu luonnonmukaisen puuvillan viljelyprojekti. Texas-projekti todisti, että puuvillaa voidaan onnistuneesti viljellä ekologisesti. Positiiviseen lopputulokseen vaikutti kuitenkin oleellisesti projektin toteutusympäristö. Alueen ilmasto ja elinkeinot nimittäin olivat viljelyyn hyvin soveltuvat. Yleensä puuvillanviljelyssä eniten tuhoa aiheuttava tuhoholais-hyönteinen, boll weevil, ei kuulunut alueen hyönteiskantaan, ja karjankasvattamiseen keskittyneeltä seudulta saatiin hyvin lannoitteita. Merkittävin etu Texas-projektin viljely-alueella olivat kuitenkin hallayöt, jotka mahdollistivat kasvin lehtien pudottamisen luonnollisesti. (Suojanen 1995, 27.)

Onnistuneesta luomupuuvillan viljelystä toinen esimerkki on Perussa kasvatettu Tanguis-puuvilla. Andien rinteillä kasvavan puuvillan viljelyä valvotaan tehokkaasti. Tuholaistorjunta toteutetaan biologisia torjuntamenetelmiä hyödyntäen ja lannoitteina käytetään kompostia ja guanoa (lepakoiden, merilintujen ja valaiden ulostetta ja jäännöksiä (The Editors of encyclopaedia Britannica n.d.)). Vuoristoisessa maastossa koneellinen sadonkorjuu ei ole mahdollista, joten koneellisen korjuun aiheuttamilta päästöiltä välty-

tään. Lisäksi seudulla sataa riittävästi eikä keinokastelua näin ollen tarvita. (Suojanen 1995, 27.)

Koko maailman tarpeita vastaavaa määrää puuvillaa ei kuitenkaan voida kasvattaa näillä alueilla. Lisäksi, vaikka ekologisesti viljelty puuvilla saattaakin olla tavanomaisesti viljeltyä puuvillaa ympäristömyötäisempää kemikaalienkäytön näkökulmasta, kuluu sen viljelyyn silti valtavat määrät vettä. Tavanomaisen ja ekologisen puuvillan vertailua hankaloittaa puolueettoman tutkimustiedon puute. Aiheesta julkaistusta tutkimuksesta suurin osa on bioteknologian alan rahoittamaa. Ekologisesta viljelystä ja vastaavista menetelmistä taas on tehty hyvin vähän tutkimusta, mikä koettelee niiden uskottavuutta. (Fletcher & Grose 2012, 24–25).

Ekologisen puuvillan tuotanto on hyvin vähäistä, kaikesta tuotetusta puuvillasta vain alle prosentin verran. Syynä tähän ovat muun muassa vaatimattomat sadot, jotka ovat perinteisillä menetelmillä kasvatettuun puuvillaan verrattuna jopa puolet pienempiä. Samasta syystä se kuluttaa tavanomaista puuvillaa enemmän viljelysmaata suhteessa saatuun satoon. Heikkojen satojen lisäksi ekologisen puuvillan viljelystä vähemmän houkuttelevaa tekee myös se, että vaihtaminen tavanomaisesta viljelystä ekologisteen viljelyyn on kallista, ja maa on viljelykelpoista puuvillan luomuviljelylle vasta kolmen vuoden päästä prosessin aloittamisesta. (Fletcher 2008, 21.)

Ongelmallista on myös se, että ekologisen puuvillan käyttöä ei raaka-aineen tuotannon jälkeen valvota. Ekologiset standardit antavat suosituksia käytettävistä kemikaaleista sekä värjäys- ja viimeistystekniikoista, mutta viime kädessä vastuu jää materiaalin tai tuotteen tuottajalle. Tämä tarkoittaa sitä, että ekologisesti kasvatettua puuvillaa saateen käsitellä tuotannossa tavanomaisilla, ympäristölle haitallisilla kemikaaleilla ja prosesseilla. (Fletcher 2008, 19–21.) Raaka-aineen luomutuotanto ei toisin sanoen vielä takaa tuotteen ekologisuutta. Toki sama ongelma voi muodostua minkä tahansa muunkin kuidun kohdalla, mutta uusien ympäristömyötäisempien kuitujen kehittäminen lieinee kuitenkin järkevämpi ratkaisu kuin tavanomaisen puuvillan korvaaminen luomupuuvillalla.

3 Kulutustottumukset ja laadun merkitys

Tässä luvussa käsittelen tekstiilien kulutusta ja laadun merkitystä kulutuksen kontekstissa. Näiden aiheiden käsittely on oleellista tämän opinnäytetyön kannalta, sillä kulutustottumusten vaikutus tekstiilien ympäristövaikutuksiin on ilmeinen ja materiaalin laatu taas on merkityksellinen tekijä kulutuksen kannalta. Laadukkaasta materiaalista valmistettu tuote on luonnollisesti pitkäikäisempi kuin tuote, jonka materiaali on heikkolaatuisempi. Huonolaatuisten tuotteiden valmistaminen puolestaan lisää kulutusta ja siten myös ympäristökuormitusta.

Vaatetusteollisuuden aiheuttama ympäristön kuormittuminen on lisääntynyt vaatteiden tuotannon kasvun myötä. Kuluttamisen tahti kiihtyy, ja vaatteita tuotetaan yli tarpeiden. Vaatteiden laatu on heikentynyt vuosien saatossa, mikä taas lisää kulutusta ja tekstiilijätteen määrää. Luonnonkuitujen käyttö puolestaan vähenee koko ajan, ja tekstiilikuitujen tuotannosta jo yli puolet ovat tekokuituja. (Herala 2009, 9.) Massiivisesta kulutuksesta huolimatta tekstiilijätteelle ei ole omaa keräysastiaa kuten muille kotitalousjätteille (Nurmilaakso 2017).

Tiheään tahtiin vaihtuvat mallistot ja edullinen hinta houkuttelevat ostamaan uutta, vaikka varsinaista tarvetta ei olisikaan, ja näin päädytään tekemään heräteostoksia. Nykyhetken vaatetusteollisuus rakentuu tämän käyttäytymismallin varaan. (Pölkki 2016.) Tilastokeskuksen kulutustutkimuksista käy ilmi, että Suomessa uusia tekstiilejä ostettiin vuonna 2010 suunnilleen 13 kiloa. Lähes saman verran, noin 14 kiloa vuodessa, kertyy suomalaiselle kuluttajalle tekstiilijätettä. Pois heitetystä 14 kilosta kuluttaja kierrättää vain alle viisi kiloa ja loput yli yhdeksän kiloa päätyy kaatopaikalle. Suomessa tekstiilijätteen vuosittainen määrä on 70–80 miljoonan kilon luokkaa. (Koljonen 2013.)

Pois heitettyjen tekstiilien määrä on pysynyt suunnilleen samana. Ylen verkkosivuilla 13.10.2017 julkaistussa artikkelissa kerrotaan roskikseen päätyneiden tekstiilien määrän olevan 13 kiloa yhtä suomalaista kohden. (Nurmilaakso 2017.) Vuoden 2016 vaihteessa astui voimaan laki, jonka mukaan tekstiilien vieminen kaatopaikalle on vastedes kiellettyä. Sen sijaan tekstiilit tulisi kierrättää esimerkiksi viemällä ne niille tarkoitettuun keräyslaatikkoon tai kirpputorille. (Kaakinen 2016.) Roskikseen tulisi heittää vain sellaiset tekstiilit, jotka ovat jo käyttökelvottomia. Tällaiset tekstiilit päätyvät polttolaitoksiin, joissa ne poltetaan energiaksi, jolla tuotetaan esimerkiksi sähköä. (Virtanen 2015.)

Yksi syy vaatteiden pois heittämiselle on juuri tuo aikaisemmin mainittu tuotantotahdin ja -määrien kasvu ja siitä seuraava laadun heikkeneminen. Kuljetuskustannukset ovat laskeneet logistiikan kehittymisen myötä, mutta tuotteiden laatua ei paranneta, vaan säästetty raha käytetään tuotannon kasvattamiseen. (Yle 2012.) Näin päädytään tilanteeseen, jossa vaatteesta tulee lähes kertakäyttötavaraa. Huono laatu annetaan kuitenkin useimmiten anteeksi, sillä tuotteet ovat niin halpoja, ettei niiltä odotetakaan paljoo. Tämä on suhteellisen uusi ilmiö. Pari sukupolvea sitten kulutustahti oli hitaampi ja vaatteet kestivät pidempään. Tekstiilijätteen määrä oli vähäisempää ja vanhoista tekstiileistä tehtiin usein esimerkiksi mattoja. (Pölkki 2016.)

Yksi vaate viettää kuluttajan vaatekaapissa keskimäärin kolme vuotta ja viisi kuukautta, josta se on aktiivisessa käytössä vain 44 päivää (Niinimäki 2017). Osasyllisinä tähän ovat jälleen hyvin todennäköisesti edellä mainitut vaatteiden laadun heikkeneminen ja heräteostosten teko. Kun vaatteen ostaa harkitsematta, saattaa todennäköisemmin päätyä tilanteeseen, jossa se jää vähäiselle käytölle tai jopa kokonaan käyttämättä.

Myös nopeasti vaihtuvat trendit vaikuttavat siihen, kuinka pitkään vaatetta käytetään. Ainakaan trenditietoisimpien kuluttajien päälle edellisen sesongin hittituotteet tuskin päätyvät. Se, miksi kolme vuotta ja viisi kuukautta vaatekaapissa oleva vaate päätyy kuluttajan käyttöön ainoastaan 44 päiväksi, saattaa yksinkertaisesti johtua myös siitä, että vaatteita on kertynyt kaappiin niin paljon, ettei yhtä vaatetta ehdi käyttää enempää. Tämä ongelma ratkeaisi suosimalla ajattomia malleja ja ostamalla harkiten, mikä kuuluu Arelan periaatteisiin.

Mitä tuotteiden laatuun tulee, kuten jo aikaisemmin todettiin, Arelan tuotteissa materiaali on keskiössä ja laatu on materiaalilta vaadittavista ominaisuuksista puhuttaessa vähintään yhtä tärkeää kuin ympäristömyötäisyys. Tuotteiden halutaan kestävän sukupolvelta toiselle, mikä olisi myös ympäristön näkökulmasta katsottuna ihanteellista. Vaatteen käyttöikään vaikuttavista tekijöistä erittäin ratkaisevassa asemassa ovatkin tuotteen materiaali ja sen laatu (Pölkki 2016).

Ympäristömyötäisen ja kestävän materiaalin valitseminen ei kuitenkaan ole helppoa edes ammattilaiselle. Tehtävää vaikeuttaa, kun huomioon on otettava kuidun elinkaari kokonaisuudessaan, mikä luonnollisesti lisää arviointiin vaikuttavia seikkoja. (Suojanen 1995, 37.) On siis hyvin vaikeaa listata ympäristön ja kestävyuden kannalta yksiselitteisesti hyviä ja huonoja materiaaleja, sillä matkaan kuidusta vaatteeksi mahtuu monta

vaihetta ja jokaisen materiaalin kohdalla prosessi on erilainen. Materiaalikohtaisia päätelmiä kestävyyskään suhteen ei voi suoraan tehdä, sillä samassa materiaalissakin voi olla laatueroja. (Pölkki 2016.)

Tuotantoprosessin ympäristömyötävyyden lisäksi materiaalia valittaessa olisi merkittävän tärkeää ottaa huomioon myös sen soveltuminen käyttötarkoitukseen (Pölkki 2016). Kun materiaali on valittu oikein, kestää vaate käytössä pidempään ja on siten myös ympäristömyötävämpi valinta. Materiaalin soveltuminen käyttötarkoitukseen on tässä opinnäytetyössä keskeisessä asemassa, sillä pyrkimyksenä on löytää juuri Arelan tarpeisiin ominaisuuksiltaan sopiva materiaali.

4 Selluloosasta ympäristömyötäisiä materiaaleja

Tässä luvussa selvitän selluloosan potentiaalia ympäristömyötäisenä tekstiilien raaka-aineena. Tarkastelen aihetta raaka-aineen ja materiaalin tuotannon näkökulmasta. Lisäksi tuon esille selluloosamuuntokuitujen tilannetta sekä kehityshankkeita Suomessa.

Selluloosaa saadaan pääosin kasveista, mutta myös bakteerit ja levät tuottavat sitä. Se on luonnosta saatavista raaka-aineista yksi runsaimmista. (Cellulose from Finland n.d. a.) Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yhtä kasviperäisen selluloosan muotoa, puusta saatavaa selluloosaa.

Suunnilleen puolet maapallon biomassasta on selluloosaa. Selluloosa muodostuu hiili-diidoksidista ja vedestä kasvin fotosynteesissä. Fotosynteesin energianlähteenä toimii auringonvalo ja prosessissa ilmaan vapautuu happea. Luonnossa koko maapallon selluloosantuotanto on suunnilleen 40 miljardia tonnia vuodessa. (CIRFS n.d. b.) Selluloosa on ympäristömyötäinen ja kestävä raaka-aine uusiutuvuutensa, biohajoavuutensa ja kemiallisen muunneltavuutensa johdosta, ja sen merkityksen ennustetaan kasvavan tulevaisuudessa. (Cellulose from Finland n.d. a.)

Tällä hetkellä selluloosamuuntokuitujen osuus kaikesta maailman kuitutuotannosta on kuitenkin vielä pieni; noin kuutisen prosenttia. Eniten kaikista tekstiilikuiduista valmistetaan polyesteriä, jonka tuotanto on yli 50 prosenttia globaalista kuitutuotannosta, seuraavana on puuvilla 40 prosentissa. (Luotola 2013.) Puupohjaisten kuitujen tuotannon on kuitenkin ennustettu kasvavan viiden vuoden sisällä viisi ja puoli prosenttia. Tällä

hetkellä puupohjaiset kuidut ovat tekstiiliteollisuuden nopeimmin kasvava osa. (MTV Katsomo 2017.)

Uusiutuvien luonnonvarojen käyttö ja biotalous tulevat aina vain nousemaan yhä merkittävämpään asemaan (Nykänen n.d.). Tekstiilikuitujen kulutus kasvaa jatkuvasti maapallon väestön kasvaessa ja kulutuksen kiihtyessä, eikä tarjolla ole montaa materiaalia, joiden tuotantomäärien lisääminen olisi ekologisesti kestävä. Puuvillan viljelymäärää ei voi enää kasvattaa, sillä viljelyyn kelpaava maa täytyy hyödyntää ravintokasvien viljelyyn. Viskoosikaan ei ole kestävä ratkaisu sen valmistuksessa käytettävien myrkyllisten kemikaalien, etenkin rikkihiilen, johdosta. (Aalto-yliopisto 2016.) Synteettisten teko-
kuitujen, kuten polyesterin, valmistukseen taas käytetään öljyä, joka on uusiutumaton luonnonvara. Lisäksi niiden hävittäminen on monimutkaisempaa, sillä ne eivät hajoa biologisesti.

Tarvetta ympäristömyötäisille kuiduille siis olisi ja selluloosamuuntokuidut näyttäisivät olevan lupaava vaihtoehto. Uusia ympäristömyötäisempiä selluloosamuuntokuituja kehitetäänkin koko ajan innokkaammin, yhtenä syynä halu luopua rikkihiilen käytöstä tekstiilien valmistuksessa sen lukuisien ympäristö- ja terveystaittojen vuoksi. (Mäntyranta 2017.)

Suomessa ympäristömyötäisten selluloosamuuntokuitujen kehitystyö on jo hyvällä mallilla. Esimerkiksi VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus), Aalto-yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston DWoC-tutkimushankkeessa (Design Driven Value Chains in the World of Cellulose) kehitetään Suomeen uudenslaisia ekologisempia liiketoimintamalleja ja ekosysteemiä (Harlin n.d.). Lisäksi hankkeen tarkoituksena on luoda uusia, ympäristömyötäisempiä ja kestävän kehityksen mukaisia vaatetusmateriaaleja (Manninen 2013). DWoC-tutkimushanke alkoi 1.4.2013 ja se jatkuu aina 31.3.2018 asti. Hankkeen rahoittajana toimii Tekes (Suomen valtion innovaatorahoituskeskus). (Cellulose from Finland n.d. a.)

Vuoden 2016 syksyllä käynnistyi toinen projekti, jossa näitä innovaatioita viedään seuraavaan vaiheeseen. Kyseessä on Aalto-yliopiston ja VTT:n yhteinen TeKiDe-projekti, jonka päämääränä on mahdollistaa uusien, suomalaisten, ympäristömyötäisempien kuidunvalmistusmenetelmien teollinen toteuttaminen. Hanke on saanut rahoitusta Uudenmaan liiton Suomen rakennerahasto-ohjelmalta, Espoon kaupungilta, VTT:ltä sekä

Aalto-yliopistolta. Projektissa kehitettäviä teknologioita ovat muun muassa Ioncell-F-, BioCellSol-, ja karbamaattiteknologiat. (Aalto-yliopisto 2017.)

Koeajot on määrä suorittaa Espoon Kivenlahteen, VTT:n Bioruukki-pilotointikeskukseen luoduissa tiloissa. Pilotointi koostuu useammasta osasta: Ensin kerätään raaka-aineenä käytettävät jätetekstiilit ja irrotetaan niistä mekaaniset osat (esimerkiksi vetoketjut ja napit). Sitten materiaali hienonnetaan ja sille tehdään kemiallinen esikäsitely. Tämän jälkeen selluloosa modifioidaan, liuotetaan natriumsinkaattiin, liuos suodatetaan ja siitä poistetaan ilma. Seuraavaksi liuos kehrätään kuiduksi ja lopuksi kuitu jälkikäsitellään ja kuivataan. (Aalto-yliopisto 2017.)

Uusin teknologia tuo uusia mahdollisuuksia muun muassa materiaalien tuottamiseen ja kierrätykseen. Valmistusprosesseja pyritään lyhentämään ja yksinkertaistamaan, samalla kuitenkin säilyttäen kuidun hyvät ominaisuudet. Esimerkiksi VTT on onnistunut tuottamaan selluloosakuidusta lankaa ilman liuottimia, mikä vähentää ympäristölle haitallisten kemikaalien käyttöä. (Harlin n.d.) Menetelmän kehittäneet Janne Poranen ja Juha Salmela jatkoivat sen kehittelyä ja perustivat oman yrityksen, Spinnovan, jonka tarkoituksena on alkaa tuottaa menetelmällä lankaa. (Harlin n.d.).

Suomessa selluloosamuuntokuitujen valmistukselle on hyvät edellytykset, sillä raaka-ainetta ei tarvitse tuoda muualta ja sitä on runsaasti. Suomessa on Euroopan maista eniten metsää ja ne peittävät kolme neljäsosaa maan pinta-alasta (Kääriäinen & Tervinen 2017). Metsätalouden tuotteet kattavat Suomen viennistä merkittävän osuuden. Vuonna 2015 niiden osuus koko viennin arvosta oli 13,1 prosenttia. Paperiteollisuuden vähentyessä, muun muassa sanomalehtien ja aikakauslehtien siirtyessä yhä enemmän digitaaliseen muotoon, Suomen metsäteollisuus tarvitsee uusia vientituotteita. (Cellulose from Finland n.d. b.) Selluloosapohjaiset vaatetusmateriaalit voisivat paikata tätä rakoja.

Pelkästään käyttämällä suomalaisen puuteollisuuden hakkuuylijäämät, saataisiin korvattua 20 prosenttia koko maapallon puuvillasta. Määrällisesti tämä vastaa 5–6 miljoonaa tonnia kuitua. Mikäli puuvillan tuotantoa vähennettäisiin saman verran, laskisi se hiilidioksidipäästöjä 120–150 miljardia tonnia ja vähentäisi aavikoitumista suunnilleen kymmenellä prosentilla. Lisäksi käyttämällä nämä viljelysmaat ravinnon tuotantoon, saataisiin ruokaa 18–25 miljoonalle ihmiselle. (Harlin n.d.) Selluloosamuuntokuitujen

tuotanto olisi myös taloudellisesti merkittävää, sillä sen tuotantoarvon Suomelle arvioidaan olevan kahdesta kolmeen miljardia euroa (Luotola 2013).

Stora Enso onkin ilmoittanut lisäävänsä Uimaharjun Enocellin tehtaan liukosellun tuotantoa 52 miljoonalla eurolla ja tästedes Enocellin tehdas keskittyy ainoastaan sen tuotamiseen. Tekstiilien lisäksi liukosellua käytetään muun muassa elintarvikkeissa ja kosmetiikassa. (Rummukainen 2017.)

Selluloosan käyttöön liittyy kuitenkin omat ongelmansa ja haasteensa. Jotta selluloosasta saataisiin kuitua, joudutaan prosessissa käyttämään kemiallisia liuottimia. Perinteisesti käytetyt liuottimet eivät ole hyväksi ympäristölle eivätkä ihmiselle. Muun muassa viskoosin ja modaalin valmistusprosessissa käytetään terveydelle haitallisia kemiallisia yhdisteitä kuten aikaisemmin mainittua rikkihiiltä. (Kivipelto 2015.) Lisäksi selluloosapolymeerin käsittely on rajallisen liukoisuutensa johdosta hankalampaa kuin synteettisten polymeerien (Luotola 2013).

Toisaalta selluloosa on polymeerinä hyvin adaptiivinen ja orgaanisista raaka-aineista parhaiten saatavilla (Nykänen n.d.). Myrkyllisille kemikaaleillekin on jo vaihtoehtona ympäristömyötäisempi ratkaisu: Lyocellin valmistusprosessissa käytetty NMMO-liuotin on myrkytön ja se otetaan talteen ja käytetään uudelleen (Fletcher 2008, 30–32). Myös VTT on kehittänyt jo 1990-luvulta lähtien myrkytöntä liuotinta, jossa rikkihiilen sijaan käytetään ureaa (Kivipelto 2015). Kyseessä on karbamaattiteknologia, johon palataan myöhemmin. Edellisten lisäksi on kehitetty muitakin myrkyttömiä prosesseja, kuten myös tässä työssä käsiteltävä loncell-F.

Selluloosan käytön kasvattamisen ongelmaksi saattaisi muodostua raaka-aineen kysynnän lisääntyminen. Toisaalta ilmastonmuutoksen seurauksena metsien kasvu Suomessa on kiihtynyt (Kivipelto 2015). Puubiomassan kasvu on Suomessa suunnilleen 104 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja sen vuotuinen kulutus on 65,3 miljoonaa kuutiometriä. Kun vielä otetaan huomioon perinteisen metsäteollisuuden väheneminen sekä ilmastonmuutoksen vaikutus, kulutusta voitaisiin lisätä huomattavasti silti aiheuttamatta vahinkoa ekosysteemille. (Cellulose from Finland n.d. b.) Myös kestävään metsienhoitoon kiinnitetään yhä enemmän huomiota. Ekologisen puuntuotannon lisäksi lajien monimuotoisuuden säilyttäminen nähdään tärkeänä. (Remes & Salminen 2017.) Ympäristömyötäinen tekstiilintuotanto asettuu näin osaksi laajempaa ekologisuuden kehystä.

5 Selluloosamuuntokuidut

Seuraavissa luvuissa käyn läpi tavallisimmat selluloosamuuntokuidut sekä joitakin uusia selluloosamuuntokuituja. Tarkastelen kuituja muun muassa niiden valmistuksen, ominaisuuksien sekä ympäristövaikutusten näkökulmasta. Selvitän myös aluksi lyhyesti, mikä selluloosamuuntokuitu on.

Selluloosamuuntokuidut kuuluvat tekokuituihin, mutta niiden molekyylit tulevat luonnosta ja niiden koostumus on lähestulkoon täyttä selluloosaa. (Boncamper 2011, 225.) Selluloosamuuntokuitujen raaka-aineena käytetään puuta (esimerkiksi pyökki, kuusi, koivu, mänty tai eukalyptus), ruohovartisia kasveja (esimerkiksi bambu) tai puuvillalintteriä (puuvillan tuotantoprosessissa syntyvä sivutuote). Kuidun valmistuksessa käytetään niin kutsuttua liukosellua, joka eroaa paperin valmistukseen käytettävästä selluloosasta siten, että sillä on korkeampi selluloosapitoisuus ja erittäin alhaiset lingiini- ja hemiselluloosapitoisuudet. (Räisänen ym. 2017, 91.) Kuidun valmistuksessa selluloosa muokataan liukseksi ja sen jälkeen taas selluloosaksi (Boncamper 2011, 232).

Selluloosamuuntokuituja on mahdollista valmistaa myös kierrätetyistä materiaaleista, kuten paperi-, pahvi- ja puuvillajätteestä. Valtaosa selluloosamuuntokuiduista valmistetaan märkäkehrulla, mutta esimerkiksi lyocellin valmistus tapahtuu ilmarakokehrulla. Eroavaisuudet selluloosamuuntokuitujen valmistusprosesseissa syntyvät liuotinkemikaalien prosessikohtaisesta vaihtelusta. (Räisänen ym. 2017, 91.)

Selluloosapohjaisia materiaaleja, säteriä ja sillaa, käytettiin Suomessa jo sotia edeltävänä aikana (Kivipelto 2015). Huipussaan selluloosamuuntokuitujen tuotanto oli 1970-luvulla, minkä jälkeen niiden menekki on laskenut synteettisten tekokuitujen kehittymisen myötä (Boncamper 2011, 226). Tuotantomäärät olivat nousussa aina 1980-luvulle asti, minkä jälkeen luvut notkahtivat 1990-luvulla. Syynä tähän oli se, että monet tehtaat joutuivat vähentämään tuotantoaan tai sulkemaan ovensa kokonaan muun muassa kustannusrakenneongelmien sekä ympäristölainsäädännössä tehtyjen muutosten myötä. Jotkut eurooppalaiset tehtaat siirsivät toimintansa Aasiaan, missä kuitutuotanto on kasvanut huomasti 2000-luvun aikana. (Räisänen ym. 2017, 91.)

Selluloosamuuntokuitujen tuotanto on kasvanut viime vuosina kymmenen prosentin vuosivauhtia (Räisänen ym. 2017, 91) ja sen odotetaan kasvavan entisestään lähivuosina (Cellulose from Finland n.d. b). Vuonna 2014 selluloosamuuntokuituja tuotettiin yh-

teensä suunnilleen viisi miljoonaa tonnia, josta suurin osa oli viskoosia. Eniten tuotantoa on Kiinassa, Indonesiassa ja Intiassa. Kiinan osuus koko maailman selluloosamuuntokuitujen tuotannosta on kaksi kolmasosaa ja Indonesian ja Intian molempien kymmenisen prosenttia. Euroopassa selluloosamuuntokuiduista tuotetaan vain alle kymmenen prosenttia. Muita selluloosamuuntokuitujen tuottajamaita ovat muun muassa Taiwan, Thaimaa sekä Japani. (Räisänen ym. 2017, 91.)

Puu on raaka-aineena hyvin monipuolinen, sillä siitä saadaan tunnultaan ja ominaisuuksiltaan eri tyyppisiä materiaaleja riippuen muun muassa siitä, onko raaka-aineena käytetty puu kovaa vai pehmeää (Härkäsalmi 2017, 83). Perinteisistä selluloosamuuntokuiduista tässä työssä käsittelen viskoosia, modaalia, kuproa ja lyocellia, joiden lisäksi tarkastelen uusia kehitteillä olevia selluloosamuuntokuituja, joita ovat loncell-F-, Bio-CelSol- ja selluloosakarbamaatti sekä Spinnovan kehittämä kuidunvalmistusmenetelmä.

5.1 Viskoosi

Viskoosin valmistusprosessi on selluloosamuuntokuitujen valmistusprosesseista kaikkein käytetyin (Vehviläinen 2015, 26). Viskoosia voidaan valmistaa muun muassa kuisen, koivun, bambun, pyökin ja eukalyptuksen selluloosasta. Raaka-aineeksi soveltuu myös kaisla. Viskoosin raaka-aineen selluloosapitoisuuden on oltava vähintään 90 prosenttia, ja sen tulee olla valkaistua. Viskoosikuitu valmistetaan märkäkehrulla. (Boncamper 2011, 228, 232.) Selluarkkien muodossa oleva selluloosa käy läpi pitkän tuotantoprosessin, jossa on monta vaihetta. Prosessin kesto vaihtelee useista tunneista vuorokausiin. (Räisänen ym. 2017, 92.)

Aluksi selluloosa merseroidaan NaOH (natriumhydroksidi) -liuoksella, minkä seurauksena se turpoaa ja osasta selluloosamolekyylejä tulee alkaliselluloosaa. Liiallinen kosteus poistetaan puristamalla ja selluloosa-arkit revitään ilmapaksi massaksi. Tätä seuraa esikypsytysvaihe, jossa alkaliselluloosa reagoi ilman hapen kanssa. Näin päästään eroon epäpuhtauksista ja liian lyhyistä molekyyleistä. Kuitenkin samalla kuituselluloosamolekyylit lyhenevät, mikä heikentää kuidun lujuuutta. Esikypsytyksen jälkeen alkaliselluloosa rikitetään rikkihiilellä, jolloin muodostuu selluloosaksantaattia. (Boncamper 2011, 230.)

Seuraava vaihe on selluloosaksantaatin liuotus. Liuotukseen käytetään laimeaa NaOH-liuosta. Selluloosaksantaatin liuetessa muodostuu oranssinkeltainen liuos eli viskoosi. Tämän jälkeen alkaa viskoosin jälkikypsytyks; seisottaminen huoneenlämmössä 5–24 tunnin ajan, mikä tekee siitä helpommin kehrättävän. Viskoosi suodatetaan kahdesta kolmeen kertaa jälkikypsytyksen aikana epäpuhtauksien poistamiseksi ja siitä poistetaan myös ilma, jotta kuituun ei kehrättäessä synny onkaloita. (Boncamper 2011, 231.)

Nyt alkaa varsinaisen viskoosikuidun luominen. Se tapahtuu kehräämällä viskoosi rei'itettyjen metallilevyjen läpi kehruukylpyyn, joka koostuu vedestä, rikkihaposta, natriumsulfaattista ja sinkkisulfaattista. Viskoosin joutuessa kosketuksiin kehruukylvyn liuoksen kanssa muodostuu siitä puhdas selluloosakuitu. Tuoretta kuitua venytetään lujouden lisäämiseksi. Viskoosia saadaan filamentteina tai katkokuituina. Viimeiseksi viskoosille tehdään vielä jälkikäsittelyinä pesu ja valkaisu, jotta saataisiin poistettua epäpuhtaudet, mikäli kuituun on sellaisia jäänyt. Toisinaan viskoosi saatetaan käsitellä avivointiaineilla, jotka kasvattavat kuidun pintakitkaa ja siten helpottavat kehruuta. (Boncamper 2011, 231–233.)

5.1.1 Ominaisuudet

Viskoosin laatu vaihtelee paljon raaka-aineen ja tekotavan mukaan. Se on ominaisuuksiltaan hyvin lähellä puuvillaa, mutta sen lujuus ja kemiallinen kesto ovat heikompia kuin puuvillalla, samaten kuin oikenevuus ja mittapysyvyys. Viskoosi ei kuitenkaan ole yhtä altis homeelle ja mikro-organismeille kuin puuvilla. (Boncamper 2011, 235–238.) Mikro-organismien vaikutus on kuitenkin viskoosille vahingollinen. Viskoosi voi imeä kosteutta painoonsa nähden puuvillaan verrattuna kaksinkertaisen määrän, mutta se kuivuu hitaasti. (Räisänen ym. 2017, 92.) Yhdistelmänä kosteuden imeminen ja hidaskuivuminen ei esimerkiksi hikoiltaessa ole toivottava ominaisuus. Valoa ja säätä viskoosi kestää heikosti. (Räisänen ym. 2017, 92). Tämä on huono ominaisuus siitäkin syystä, että viskoosivaatteille ei näin ollen suositeltaisi ulkona kuivausta, joka on kuivausta-voista ympäristöä vähiten kuormittava.

5.1.2 Ympäristövaikutukset

Viskoosi on kuidun raaka-aineen näkökulmasta katsottuna puuvillaan verrattuna ympäristöä vähemmän kuormittava kuitu, sillä puuta saadaan saman kokoiselta alueelta suhteessa enemmän kuin puuvillaa. Lisäksi metsä kasvaa köyhemmässäkin maape-

rässä eikä vie tilaa ruoaksi kelpaavien kasvien viljelyltä. (Boncamper 2011, 243). Toisaalta, vaikka puuselluloosa materiaalina onkin puuvillaa ympäristömyötäisempää, aiheutuu viskoosin valmistuksesta ympäristölle paljon kuormitusta ja vahinkoa. Tuhannen viskoosikuitukilon (kuitutonnin) valmistuksessa kuluu jopa 880 kiloa natriumhydroksidia, 400 kiloa rikkihiiltä, 1350 kiloa rikkihappoa ja 150 kiloa sinkkisulfaattia. Näistä natriumhydroksidi ja natriumsulfaatti saadaan nykyään kierrätettyä täysin mutta rikkihiili vain 70 prosenttisesti. (Räisänen ym. 2017, 94.)

Rikkihiili on myrkyllinen ja räjähdysherkkä kemikaali, joka pitkään jatkuneen altistumisen seurauksena vaurioittaa keskushermostoa. Lyhytkin altistuminen on terveydelle vahingollista. Tällöin oireilua on silmissä ja hengitysteissä. Raskaana olevien tulisi välttää joutumista tekemisiin rikkihiilen kanssa, sillä altistus saattaa vaurioittaa sikiötä. Tavallisen kuluttajan ei kuitenkaan tarvitse olla huolissaan rikkihiille altistumisesta käyttäessään viskoosista valmistettua vaatetta, sillä tässä vaiheessa rikkihiiltä ei enää materiaalissa ole. Pahimmin rikkihiilen haittavaikutukset kohdistuvat tehtaissa työskenteleviin ja sen lähiympäristössä asuviin ihmisiin. (Räisänen ym. 2017, 94.)

Viskoosin valmistusprosessi kuluttaa vähemmän vettä kuin puuvillan valmistus, mutta tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei prosessi kuluttaisi paljon vettä. Esimerkiksi lyocelliin verrattuna viskoosin valmistusprosessin vedenkulutus on reilusti yli kaksinkertainen. (Fletcher & Grose 2012, 29). Yhden viskoosikuitutonnin valmistaminen kuluttaa suunnilleen 800 000 litraa vettä, ja siitä vain osa saadaan kierrätettyä (Räisänen ym. 2017, 94). Yksi merkittävimpiä viskoosin valmistuksen ympäristöhaittoja on kuitenkin prosessin suuri energiankulutus (Boncamper 2011, 244). Varsinaisen valmistusprosessin lisäksi energiaa kuluttavat myös tehdastilojen ilmastointi ja lämmitys (Räisänen ym. 2017, 94).

Ympäristömyötäisyyttä ei siis voida arvioida pelkästään raaka-aineen perusteella. Tästä hyvänä esimerkkinä bambusta valmistettu viskoosi, jota bambun nopean kasvun ja uusiutumisen johdosta markkinoidaan ympäristömyötäisenä kuituna, vaikka se valmistetaan samalla viskoosin valmistusmenetelmällä (Fletcher & Grose 2012, 14).

Viskoosin, kuten muidenkin kuitujen, ympäristövaikutusten arviointi ei ole yksioikoista. Viskoosilla vaihteluväli on erityisen suuri ja viskoosikuitujen ympäristökuormitukset saattavat erota toisistaan radikaalistikin. Lopputulokseen vaikuttaa prosessien ener-

giankulutus, kuljetusten aiheuttamat ilmansaasteet ja niihin kulunut energia sekä se, kuinka hyvin vesi ja kemikaalit on prosessissa kierrätetty. (Räisänen ym. 2017, 94.)

5.2 Modaali

Modaalin valmistusmenetelmä on kehitelty viskoosin valmistusmenetelmästä 1930-luvulla ominaisuuksiltaan viskoosia paremman kuidun aikaansaamiseksi. Nykymuodossaan se on ollut vuodesta 1942 lähtien. (Boncamper 2011, 245.) Useimmiten modaalin valmistus tapahtuu viskoosimenetelmällä, mutta on olemassa muitakin menetelmiä. Modaalin raaka-aineen selluloosapitoisuus on korkeampi kuin viskoosin valmistuksessa käytettävän raaka-aineen. (Räisänen ym. 2017, 95.) Tällaista hyvälaatuista selluloosaa saadaan muun muassa kuudesta (Boncamper 2011, 245).

Modaalin valmistusprosessi eroaa viskoosin valmistuksesta siten, että siinä kuitujen molekyylit asettuvat yhdensuuntaisemmin, mikä tekee kuidusta lujempaa. Tämä johtuu muun muassa siitä, että esikypsytyks- ja jälkikypsytyksvaiheet ovat lyhyempiä, mikä mahdollistaa selluloosamolekyylien pysymisen pitkinä. Toisinaan jälkikypsytystä ei tehdä ollenkaan. Toinen molekyylien asettumiseen vaikuttava tekijä on kuidun hyytymisen pitkittäminen. Hyytymistä pitkittämällä kuitua saadaan venytettyä kauemmin. (Boncamper 2011, 245.)

5.2.1 Ominaisuudet

Modaali on materiaalina pehmeä, kuten kampakuvilla, ja on muutenkin ominaisuuksiltaan hyvin puuvillan kaltainen. Modaalikuidun lujuus ja märkälujuus ovat paremmat kuin viskoosikuidulla ja se myös pitää viskoosia paremmin muotonsa ja mittansa eikä rypisty yhtä helposti. (Boncamper 2011, 245–246, 248). Modaali imee hyvin kosteutta tuntumatta kuitenkaan märältä (CIRFS n.d. a). Lisäksi modaalin kutistuminen vesipesussa on vähäisempää kuin viskoosilla (Räisänen ym. 2017, 95).

5.2.2 Ympäristövaikutukset

Modaalin valmistusprosessissa kypsytyksvaiheet on poistettu, lämpötiloja madallettu ja rikkihapon käyttöä vähennetty, mikä vähentää sen ympäristökuormitusta viskoosiin verrattuna. (Suomen tekstiili ja muoti n.d.). Ero ei tosin ole merkittävä, eikä modaali näin

ollen ole juurikaan viskoosia parempi vaihtoehto (The Food and Environment Research Agency, Textile Engineering and Materials Research Group, De Montfort University & Centre for Technical Textiles, University of Leeds 2010, 61). Tosin Itävaltalainen Lenzing on kehittänyt modaalikuidun, jonka valmistus kuormittaa ympäristöä huomattavasti vähemmän kuin tavanomaisen modaalin tuotantoprosessi (Lenzing n.d. d).

5.3 Kupro

Kuproa voidaan valmistaa puuvillalintteristä tai puuselluloosasta. Kupron kehruu tapahtuu miltei viskoosin tapaan ja valmistusmenetelmiä on useampi. (Boncamper 2011, 251–252.) Kupron valmistusmenetelmä on kuitenkin viskoosin valmistusmenetelmää lyhytkestoisempi (Räisänen ym. 2017 96).

Yksi kupron valmistusmenetelmä on kupari-ammoniakkimenetelmä. Tällöin selluloosan liuottamiseen käytetään kuparihydroksidista ja ammoniakkihydroksidista valmistettua vesiliuosta. Liuennut selluloosa ohjataan suuttimien läpi kahteen peräkkäiseen kehruukylpyyn. Ensimmäinen on vettä ja toinen laimeaa rikkihappoliuosta, joka saa selluloosan regeneroitumaan. Viimeinen vaihe on kuitujen pesu, jossa niistä poistetaan hapon ja suolan jäänteet, minkä jälkeen kuidut avivoidaan (poistetaan pintakitka) ja kuivataan. (Räisänen ym. 2017, 96.) Toisessa menetelmässä kehruuliuos valmistetaan kuparisulfaattista, kuparihydroksidista ja lipeästä ja kehruukylpynä käytetään vettä. (Boncamper 2011, 252.)

Kupron valmistaminen tulee kalliiksi prosessissa käytetyn kuparin takia. Kuparia voidaan kuitenkin kerätä talteen. (Boncamper 2011, 252.) Tällä hetkellä kupron ainoa kaupallinen tuottajamaa on Japani (Räisänen ym. 2017 96).

5.3.1 Ominaisuudet

Kupron lujuusominaisuudet ovat viskoosin luokkaa, mutta se kestää viskoosia paremmin kemikaaleja (Boncamper 2011, 252). Kupro imee paremmin kosteutta kuin viskoosi, se ei sähköisty ja se hengittää iholla, mikä lisää käyttömukavuutta. Kupron huonoihin puoliin voidaan lukea viskoosin tavoin rypistyvyys. (Eurokangas n.d.) Filamenttikuituja käyttämällä kuprosta voidaan valmistaa pehmeää, silkkimäistä kangasta. Katkokuiduista taas saadaan villan ja mohairin tapaisia materiaaleja. Kuprosta saadaan valmis-

tettua myös onttoja kuituja, mikä tekee materiaalista kevyen ja lämpimän. (Boncamper 2011, 36, 253.)

5.3.2 Ympäristövaikutukset

Viskoosiin verrattuna kupron valmistuksen ympäristökuormitus on pienempi, sillä siinä ympäristöön vapautuu vähemmän sitä vahingoittavia kemikaaleja, kuten saastunutta vettä tai kaasuja. Tosin prosessissa syntyy kuparisulfaattia, joka on myrkyllistä, ja näin ollen sitä ei saisi päätyä luontoon. Kuparisulfaatti voidaan kuitenkin ottaa talteen. (Räisänen ym. 2017, 96.)

5.4 Lyocell

Lyocellin valmistuksessa käytetään orgaanisia liuottimia, useimmiten N-metyylimorfoliinioksidia (NMMO) (Räisänen ym. 2017, 95). Valmistusmenetelmää alettiin kehittää vuonna 1978. Kului kuitenkin vielä kymmenisen vuotta, ennen kuin BISFA (The International Bureau for the Standardisation of Man-Made Fibres) lisäsi sen kuitunimiluettelonsa vuonna 1989. Useimmiten lyocellkuitu valmistetaan puuselluloosasta. Tuotantoa on Itävallassa, Isossa Britanniassa, USA:ssa, Kiinassa ja Etelä-Koreassa (Boncamper 2011, 249). Itävaltalainen Lenzing tuottaa tämänhetkisestä lyocelltarjonnasta miltei kaiken (Räisänen ym. 2017, 95). Lenzingin lyocell myydään kauppanimellä Tencel (Lenzing n.d. b).

Lyocellin valmistusprosessi alkaa liuottamalla NMMO-liuotin veteen ja yhdistämällä seos selluloosan kanssa. Tämän jälkeen seos kuumennetaan. Seoksen kuumentuessa osa vedestä höyrystyy pois, jolloin selluloosa liukenee. (Boncamper 2011, 249.) Seuraavaksi liuos kehrätään ilmarakokehruulla, jolloin se puristetaan suulakkeiden rei'istä ilman kautta kehruukylpyyn, jossa on vettä ja NMMO-liuotinta. Kehruukylvyssä liuoksesta tulee selluloosaa regeneroitumisen myötä. Kehruun jälkeen seuraa vielä kuitujen pesu, kuivaus ja viimeistys. (Räisänen ym. 2017, 95.)

5.4.1 Ominaisuudet

Lyocell on kuituna hyvin monipuolinen – sitä voidaan käyttää useisiin eri tarkoituksiin denimtyyppisistä kankaista teknisiin kankaisiin. (Suomen tekstiili ja muoti n.d.) Lyocell

on hengittävä ja tunnultaan silkin kaltainen. Se myös toimii silkin tavoin kylmässä lämmittäen ja lämpimässä viilentäen. Tämä johtuu siitä, että lyocellkuidulla on erinomainen kosteustasapainon säätelykyky – puuvillaan verrattuna kaksinkertainen. (Nanso n.d.) Lyocell on käytössä kestävä materiaali, sillä kuitu on luja ja pitää hyvin muotonsa (Orneule n.d.). Lyocellilla on selluloosapohjaisista kuiduista korkein kuivalujuus, joka on lähes polyesterin luokkaa. Märkänäkin kuitu säilyttää lujuudestaan 85 prosenttia. (CIRFS n.d. c.)

Lyocellkuidulla on taipumus voimakkaaseen fibrilloitumiseen, minkä ansiosta kankaan pinnasta saadaan sellulaaseilla tehdyllä entsyymiviimeistyksellä persikkamaisen pehmeä. Voimakas fibrilloituminen tosin aiheuttaa myös kankaan nyppyyntymistä ja värin vaalenemista taitekohdissa. Toisaalta, entsyymikäsittely tekee kankaasta pysyvästi nukkaantumattoman ja fibrilloitumista on mahdollista vähentää ristosilloittamalla kuidun rakenne. (Räisänen ym. 2017, 96, 220.)

5.4.2 Ympäristövaikutukset

Muihin selluloosamuuntokuitujen valmistusmenetelmiin verrattuna lyocellin valmistusprosessi kuluttaa keskimäärin vähiten vettä ja energiaa (Nanso Group n.d.). Lyocellin valmistusprosessissa, toisin kuin viskoosia valmistettaessa, raakaselluloosaa ei tarvitse muuttaa ensin toiseen muotoon, vaan se voidaan liuottaa sellaisenaan, mikä vähentää huomattavasti vesistöihin ja ilmaan päätyvien saasteiden määrää. Prosessissa käytetty NMMO-liuotin on myrkytön ja siitä yli 99,5 prosenttia kerätään talteen, puhdistetaan ja käytetään uudestaan. Myrkyttömyyden ansiosta luontoon mahdollisesti päätyvä alle 0,5 prosenttia liuotinta on harmitonta. (Fletcher & Grose 2012, 16.) NMMO myös hajoaa biologisesti (Räisänen ym. 2017, 95).

Lyocellin valmistusprosessi on viskoosin valmistukseen verrattuna suoraviivaisempi ja lyhytkestoisempi. Kun viskoosin valmistus kestää noin 40 tuntia, kuluu lyocellin valmistukseen tunteja vain kahdeksan. (Räisänen ym. 2017, 95.) Lyocellin etuna on myös se, että sitä ei tarvitse valkaista, sillä kuitu on jo valmiiksi hyvin puhdas, mikä mahdollistaa värjäyksen tekniikoilla, jotka kuluttavat vähemmän vettä, energiaa ja kemikaaleja (Fletcher & Grose 2012, 16). Lisäksi lyocell puhdistuu alhaisissakin lämpötiloissa, jolloin voidaan käyttää ympäristöä säästäviä pesuohjelmia (Fletcher 2008, 32).

Lyocellin raaka-aineena käytetään usein eukalyptuspuun selluloosaa. Eukalyptus itsessään on raaka-aineena varsin ympäristömyötäinen, sillä eukalyptuspuu, kuten puut yleensä, ei tarvitse keinokastelua, geenimanipulointia tai tuholaismyrkkyyä ja sitä voidaan kasvattaa ruokakasvien viljelyyn sopimattomilla alueilla, jolloin se ei kilpaile ravinnontuotannon kanssa samoista alueista. Eukalyptuksen viljely vie myös puuvillaan verrattuna suhteessa vähemmän viljelyalaa. Esimerkiksi yhteen puuvillaiseen t-paitaan kuuluvan raaka-aineen viljelmät kattavat noin kuuden neliömetrin kokoisen alueen, kun taas lyocellipaitoja saman kokoiselta alueelta saisi kymmenen. (Lenzing n.d. a.)

Merkittävä etu moniin muihin puihin verrattuna eukalyptuksen käytössä on myös puun kasvutahti. Eukalyptuspuu on täysikasvuinen suunnilleen seitsemässä vuodessa (Kallsten 2014). Tosin vaikka eukalyptuspuu onkin raaka-aineena nopeasti uusiutuva, saattaa sen käyttö vahingoittaa ekosysteemiä, mikäli eukalyptusviljelmien tieltä raivataan ympäristön hyvinvoinnin ja ekosysteemin kannalta tärkeitä metsiä ja alueita (Apps 2014). Toisaalta eukalyptusmetsät ovat hyvin tarkasti valvottuja kestävästä viljelyn takuun vuoksi (Fletcher 2008, 32).

6 Uudet selluloosamuuntokuidut

Tässä luvussa käyn läpi muutamia uusia selluloosamuuntokuituja ja kuidunvalmistusteknologioita. Näitä innovaatioita on ryhdytty kehittämään tekstiilintuotannosta aiheutuvan ympäristökuormituksen vähentämiseksi. Kuiduntuotannon kehitystyön keskeneräisyyden vuoksi tästä ryhmästä ei välitöntä ratkaisua Arelan tapauksessa löydy, mutta otin uusia kuituja mukaan tähän työhön kartoittaakseni tulevaisuudennäkymiä sekä mahdollisuuksia.

6.1 Ioncell-F

Ioncell-F on Aalto-yliopiston ja Helsingin yliopiston yhteistyön tuotoksena syntynyt tekstiilikuitu. Kuitu valmistetaan märkäkehruuprosessilla ilmarakotekniikkaa käyttäen, mikä tekee siitä erittäin lujan. (Aalto-yliopisto 2017) Ioncell-F-kuidun valmistusmenetelmä palkittiin vuonna 2016 H&M-konsernin Conscious Foundationin Global Change Award -palkinnolla, mutta se oli kuitenkin ollut kehitteillä jo vuosia ennen tätä. (Aalto-yliopisto 2016.) Kuidun kehitystyö alkoi vuonna 2009 ja vuosien 2012–2013 taitteessa kuidun valmistusprosessi saatiin toimimaan (Anteroinen 2015). Ioncell-F on osa VTT:n ja Aal-

to-yliopiston vuoden 2016 syksyllä alkanutta TeKiDe-projektia, joka jatkuu vielä vuoden 2018 loppuun saakka. (Aalto-yliopisto 2017.)

loncell-F:n raaka-aineena on käytetty muun muassa koivun selluloosaa, kierrätyspahvia ja puuvillajätettä. Raaka-aineen ei toisin sanoen välttämättä tarvitse olla puuselluloosaa, ja prosessissa käytetty ioninen liuotin mahdollistaa laadukkaan kuidun valmistamisen myös kierrätysmateriaaleista. (Aalto-yliopisto 2016.) Kuidun valmistus tapahtuu liuottamalla selluloosa ioniseen liuottimeen, minkä jälkeen liuos puristetaan sylinterin reikien läpi veteen. Veteen päätyessään selluloosakuidut järjestäytyvät muodostaen pitkän säikeen. (Sandell 2016.)

loncell-F-kuitua valmistetaan vielä laboratoriossa ja suuremman mittakaavan valmistusta ollaan vasta suunnittelemassa. (Aalto-yliopisto 2016.) Aalto-yliopistossa työskentelevä Designer in Residence Pirjo Kääriäinen kertoo, että tällä hetkellä kehitystyössä on meneillään kaksi vuotta kestävä TUTLI (tutkimuksesta liiketoimintaa) -hanke. Hanke rahoittaa Tekes ja sen tavoitteena on luoda suunnitelma pilottilaitoksesta ja saada sille rahoitus. (Kääriäinen 2017.) loncell-F:stä on tehty jo neuletuotteita (mallikappaleita) Marimekolle (Rissanen 2017).

Kuidun hinta saattaa kuitenkin olla toistaiseksi vielä korkea, sillä prosessissa käytetty liuotin on kallis. Toisaalta, mikäli liuotin onnistutaan kierrättämään, laskisi se jonkin verran kustannuksia. (Sandell 2016.) Aluksi, kun määrät ovat vielä pieniä, on materiaali kalliimpaa. Mitä suurempi määrä materiaalia tuotetaan, sitä edullisempaa siitä tulee, toteaa materiaalin kehitystyössä mukana oleva Research Fellow Marja Rissanen. Suunnitelmissa on saada loncell-F:n hinta suunnilleen samalle tasolle Tencelin kanssa. Vielä hetkeen loncell-F:ää ei kuitenkaan saada markkinoille. Rissanen arvion mukaan siihen, että kuluttaja voi ostaa loncell-F:stä valmistetun tuotteen, menee vielä kymmenisen vuotta. Tämä edellyttää, että pilottitehtaalle ja myöhemmin tehdasmittakaavan tuotannolle saadaan rahoitus. (Rissanen 2017).

6.1.1 Ominaisuudet

loncell-F on ominaisuuksiltaan parhaiten verrattavissa lyocell-menetelmällä valmistettavaan Tenceliin (Kääriäinen 2017). loncell-F:n kehitystiimissä työskentelevän tutkijan, Marja Rissanen mukaan loncell-F on todella luja kuitu. Sen kuiva- ja märkäljuudet ovat paremmat kuin puuvillalla. (Rissanen 2017.) Viskoosiin verrattuna loncell-F-kuidun

lujuus on kaksinkertainen, ja toisin kuin viskoosi, se pitää lujuutensa hyvin myös märkänä. Tunnultaan loncell-F on pehmeä, kuten puuvilla. (Kivipelto 2015.) Se kuitenkin hengittää ja poistaa kosteutta iholta puuvillaa paremmin (Aalto-yliopisto 2016).

Rissanen mukaan loncell-F:n huonot puolet ovat samankaltaisia kuin tavanomaisella lyocellilla ja Tencelillä. Yhtenä ongelmakohtana hän mainitsee fibrilloitumisen, joka aiheuttaa materiaalin pinnan nyppyyntymistä. (Rissanen 2017.) Kääriäinen toteaa mahdollisen nyppyyntymisen aiheutuvan, mikäli kuidun tai langan viimeistyksessä on ollut puutteita. Samalla hän korostaa langan kehruoprosessin merkitystä. (Kääriäinen 2017.) Fibrilloitumisesta johtuvaan nyppyyntymiseen ratkaisuna toimii kuidun rakenteen ristosiloittaminen, kuten lyocellin yhteydessä. loncell-F:llä tätä ei olla kuitenkaan vielä ehditty testata käytännössä. (Rissanen 2017.)

6.1.2 Ympäristövaikutukset

loncell-F:n valmistusprosessi on myrkytön. Lisäksi sen raaka-aineet ovat itsessään hyvin ympäristömyönteisiä. Toisaalta, koska kysymys on uudesta kuidusta, jota valmistetaan vasta laboratoriossa, ei tarkkaa arviota sen ympäristövaikutuksista vielä ole. Aalto-yliopiston puunjalostustekniikan laitoksen professori ja yksi kuidun kehitysryhmän jäsenistä, Herbert Sixta, toteaa Metsään-lehdessä tilanteen näyttävän kuitenkin hyvältä. (Anteroinen 2015.)

loncell-F:n valmistuksessa liuotin pyritään kierrättämään täysin, jolloin päästöjä luontoon ei tulisi ollenkaan (Anteroinen 2015). Toistaiseksi tämä vaihe on vielä kehitteillä (Mäntyranta 2017). Tällainen suljettu prosessi lisäisi myös kuidun ympäristömyönteisyyttä (Sandell 2016). Liuottimen kierrättäminen edellyttää kuitenkin veden poistamista liuottimesta, mikä kasvattaa selvästi energiankulutusta. Toisaalta kuidun kehräys suoritetaan alhaisemmissa lämpötiloissa, mikä taas puolestaan kuluttaa vähemmän energiaa. (Anteroinen 2015.)

loncell-F olisi kierrätettävyyden kannalta muita tekstiilikuituja parempi vaihtoehto, jos Sixtan suunnitelmat liuottimen kierrättämisestä 99,8 prosenttisesti toteutuvat. (Anteroinen 2015.) loncell-F:n teollista tuotantoa varten täytyisi kuitenkin rakentaa uusia tehtaita, sillä valmistukseen eivät sovellu jo olemassa olevat laitteistot (Sandell 2016). loncell-F on erinomainen vaihtoehto puuvillalle, sillä se on ominaisuuksiltaan samankaltai-

nen tai jopa parempi, mutta ympäristön kannalta merkittävästi kestävämpi ratkaisu (Aalto-yliopisto 2016).

loncell-F:n valmistusprosessissa vettä kuluu suunnilleen saman verran kuin Tencelin valmistuksessa (Rissanen 2017). Kääriäisen mukaan kuidun valmistus voitaisiin toteuttaa Suomessa (Kääriäinen 2017). Mikäli myös raaka-aine olisi peräisin Suomesta, vähentäisi se kuljetuksia ja fossiilisten polttoaineiden kulutusta. Kankaaksi asti kuitua ei toistaiseksi saataisi täällä, sillä lähimmät lankakehräämöt ovat Etelä-Euroopassa (Kääriäinen 2017).

6.2 BioCelSol

BioCelSol on Marianna Vehviläisen väitöstyössä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) materiaaliopin laitoksella syntynyt tekstiilikuitu (Laukkanen 2015). Tutkimuksessa on prosessin varrella ollut osallisina useita tahoja. Rahoitusta on saatu Tekesiltä, EU:lta ja CLIC Innovation Oy:ltä (Vastamäki 2016).

BioCelSolia on valmistettu kuusesta, koivusta, männystä, pyökistä ja eukalyptuksesta, mutta raaka-aineena toimii kaikki puuselluloosa. Kuidunvalmistusprosessi perustuu biomuokkaukseen. (Vastamäki 2016.) Tämä tarkoittaa sitä, että valmistusprosessissa selluloosan liuottamisessa hyödynnetään luonnosta saatavia entsyymejä, mikä on vielä suhteellisen uutta. Valmistuksessa käytetään laimeaa rikkihappoa, johon selluloosa liuotuksen jälkeen ohjataan suulakepuristimen reikien läpi. Tässä liuoksessa selluloosasta tulee kiinteää eli regeneroitunutta kuitua. (Laukkanen 2015.)

BioCelSolin valmistusteknologian mahdollisuuksia suuremman mittakaavan tuotantoon ollaan vasta selvittämässä (Mäntyranta 2017). Aiheesta saadut tutkimustulokset ovat kuitenkin rohkaisevia (Meriläinen 2016). Kuidun valmistus ei siis ole vielä hetkeen tuotantotasolla, mutta se on potentiaalinen lisä ympäristömyötäisten kuitujen tarjontaan.

6.2.1 Ominaisuudet

BioCelSolilla on selluloosakuidulle tyypilliset ominaisuudet. Se on pehmeä – pehmeämpi kuin puuvilla. BioCelSolista valmistettu vaate on lämmittävä ja se laskeutuu hyvin eikä sähköisty. Kuitu myös värjäytyy helpommin kuin puuvilla tai viskoosi. (Vastamäki 2016.)

6.2.2 Ympäristövaikutukset

BioCelSol-kuidun valmistus tapahtuu viskoosin valmistuksen tapaan, mutta rikkihiilen sijaan selluloosan liotuksessa käytetään luonnollisia entsyymejä. Tuotantoprosessi ei silti ole kokonaan myrkytön. Viskoosiin verrattuna BioCelSol on kuitenkin paljon ympäristömyötäväisempi. (Vastamäki 2016.)

6.3 Selluloosakarbamaatti

Selluloosakarbamaatin valmistusteknologia on VTT:n omistama (Aalto-yliopisto 2017). Kuitu valmistetaan viskoosin tapaan, mutta rikkihiilen sijaan liuotuksessa käytetään ureaa, joka on myrkytöntä ja lisäksi myös edullista. (Sandell 2016.) Urealla saadaan luotua selluloosaketjuun karbamaattiryhmiä, jotka optimoivat selluloosan liukenemistä. Tämän tuloksena syntyy selluloosakarbamaatti, joka liuotetaan kylmään natriumsinkaattiliuokseen ja liuos saostetaan happoon, jolloin saadaan aikaan karbamaattikuitua. (Aalto-yliopisto 2017.) Seuraavaksi kuitu karstataan ja kehrätään langaksi, josta valmistetaan lopulta kangas tai neulos (Mäki-Petäjä 2016).

Selluloosakarbamaattikuidun raaka-aineeksi sopii puuselluloosa, paperi, vanhat pakkaukset tai lumput (Mäki-Petäjä 2016). Esimerkiksi yksistä farkuista saadaan 300-400 grammaa uusiokuitua. Materiaalin laatu on kuitenkin tasaisempaa käytettäessä puhtaita puukuituja. Kuitua voidaan valmistaa tavallisilla märkäkehruukoneilla, mikä helpottaa kuidun valmistuksen käynnistämistä ja volyymien kasvattamista, sillä tuotanto voitaisiin toteuttaa jo olemassa olevissa tehtaissa. (Sandell 2016.)

Käytettäessä kierrätysmateriaaleja, kuten vanhoja tekstiilejä, saadaan kuidusta entistäkin ympäristömyötäväisempi. Selluloosakarbamaatin valmistusteknologialla voitaisiin VTT:n tutkimusprofessori Ali Harlinin mukaan kierrättää ainakin 30–40 prosenttia tekstiileistä. Eroa kierrätetystä raaka-aineesta valmistetun ja neitseellisestä raaka-aineesta valmistetun selluloosakarbamaatin välillä tuskin huomaa, kertoo Harlin. (Mäki-Petäjä 2016.)

Ominaisuuksiltaan selluloosakarbamaattikuitu vastaa viskoosia, mutta tunnultaan ja ulkonäöltään se on puuvillan kaltainen. Espoon Bioruukissa selluloosakarbamaattikuitua voidaan valmistaa suuria määriä, mikä mahdollistaa tehdaskoeajojen toteuttamisen oikeassa tekstiilitehtaassa. (Sandell 2016.)

Karbamaattiteknologialla on kyetty valmistamaan kuitua jo 20 vuotta sitten. Silloin sen valmistusta ei kuitenkaan koettu tarpeelliseksi, ja teknologia on nyt löydetty uudestaan. Pitkän kehitystyön ansioista kuidunvalmistusteknologia on edennyt jo hyvin pitkälle. Viime keväänä kuidusta on tehty jo esitilauksia, ja kuidun valmistuksen oli määrä alkaa kesäkuussa VTT:n Bioruukissa Espoossa. (Mäntyranta 2017.)

6.4 Spinnova

Spinnova on Jyväskylässä toimiva yritys, joka on kehittänyt ympäristömyötäisen menetelmän langan valmistamiseksi puukuidusta. Menetelmä voitti työ- ja elinkeinoministeriön järjestämän kansainvälisen biojalostamokilpailun pääpalkinnon helmikuussa 2015. Prosessissa kuidulle ei tehdä ympäristöä kuormittavia kemiallisia käsittelyitä. Spinnovan perustivat Janne Poranen ja Juha Salmela vuoden 2014 syksyllä. Poranen työskenteli ennen Spinnovan perustamista VTT:llä kuitu- ja biopohjaisia materiaaleja kehittävä tutkimusalan johtajana. Salmela on aikaisemmin VTT:n lisäksi toiminut muun muassa tutkijana Oxfordin yliopistossa. (Bergqvist 2015.)

Spinnovan kehittämä menetelmä pohjautuu materiaalien kuitususpensiovirtauksiin eli reologiaan. Lanka saadaan aikaan säätelemällä kuituvirtauksia. Tähän mennessä menetelmällä on valmistettu lankaa vasta laboratoriossa (Bergqvist 2015). Yrityksellä on kuitenkin aikomuksena kasvattaa tuotantoa teolliseen mittakaavaan. Tämä vaatii tosin kymmenien miljoonien eurojen rahoitusta, ja parhaassa tapauksessa kuidun teollinen tuotanto voisi alkaa vuonna 2020. (Lappalainen 2015.)

Parhaiten menetelmään sopivat pitkät puukuidut, jollaisia ovat esimerkiksi kuusesta ja männystä saatavat kuidut. Näin ollen erinomaista materiaalia saadaan Suomen luonnosta, mikä on tietysti sekä taloudellisesti että ekologisesti kannattavaa, etenkin jos kuidun valmistuskin toteutettaisiin Suomessa. Toistaiseksi millään muulla menetelmällä ei lankaa kyeta vielä muodostamaan ilman kemiallisia prosesseja. Muihin markkinoilla oleviin selluloosamuuntokuitujen valmistusmenetelmiin verrattuna Spinnovan menetelmä kuluttaa vähiten kemikaaleja, vettä ja energiaa, mikä tekee siitä merkittävästi kilpailijoitaan ympäristömyötäisemmän kuidun. (Bergqvist 2015.)

Viskoosiin verrattuna Spinnovan menetelmällä vettä säästyy 90 prosenttia (Kivipelto 2015). Puuvillalangan tuotantoon verrattuna vedensäästö on 99 prosenttia ja energiaa säästyy 80 prosenttia (Koskenlaakso 2017). Menetelmä mahdollistaa myös taloudelli-

semman raaka-aineen käytön ja paremmat kierrätysmahdollisuudet (Lappalainen 2015). Spinnova tekee yhteistyötä muun muassa Lenzingin kanssa. Lenzing on globaalisti merkittävin selluloosamuuntokuitujen valmistaja (Bergqvist 2015).

7 Materiaalin ympäristökuormitukseen vaikuttavat tekijät

Seuraavissa luvuissa tuon esille tekstiilimateriaalien ympäristökuormitukseen vaikuttavia tekijöitä niiden elinkaarien eri vaiheista ja vertailen selluloosamuuntokuitujen ja puuvillan ympäristövaikutuksia. Tarkasteltavina tekijöinä ovat materiaalin tuotannon energiankulutus ja vedenkulutus, raaka-aineen tuotanto, tuotantoprosesseissa käytetyt kemikaalit ja niiden aiheuttamat päästöt, materiaaleille tehtävät esikäsittelyt, värjäys ja viimeistykset sekä tekstiilien kierrätys ja biohajoavuus.

Materiaalikohtainen vertailu esikäsittelyiden, värjäysten ja viimeistysten suhteen on haastavaa tässä kontekstissa, sillä samalle materiaalille ei välttämättä tehdä aina samoja käsittelyitä ja värjäyskin on tapauskohtaista. Selluloosamuuntokuiduille tehdään kuitenkin usein samoja esikäsittelyitä ja viimeistyksiä ja niiden värjäyksessä käytetään samoja väriaineita. Keskitynkin näissä osioissa tarkastelemaan aiheita yleisemmällä tasolla. Veden, energian, raaka-aineen tuotannon, kierrätyksen ja biohajoavuuden vertailussa ei samanlaista haastetta ilmene.

7.1 Veden- ja energiankulutus

Vedenkulutus maapallolla on kasvanut, eikä puhdasta vettä riitä enää kaikille sitä tarvitseville. Tämän myötä yhä merkittävämmäksi huomioitavaksi seikaksi vaatetusmateriaalia valittaessa nousee sen tuotannon vedenkulutus. Mikäli nykyinen kehitys jatkuu, UNEPin (UN environment/ Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma) arvioiden mukaan veden kulutus tulee kasvamaan seuraavien 20 vuoden aikana 40 prosentilla. Samaan aikaan puhtaan veden määrä laskee saasteiden lisääntymisen takia. Yhden viskoosikilon tuottamiseen kuluu suunnilleen 500 litraa vettä. Lyocellin vedenkulutus on tästä vain alle puolet. Puuvillan tuottamiseen taas kuluu viskoosiin ja lyocelliin verrattuna moninkertainen määrä vettä. (Fletcher & Grose 2012, 28–29.)

Ympäristön ja talouden kannalta olisi mielekästä valita materiaali, jonka tuottamiseen kuluu vähemmän fossiilisia polttoaineita ja joka siten tuottaa myös vähemmän hiilidiok-

sidipäästöjä. Neitseellisistä materiaaleista keskimäärin katsottuna pienin energiankulutus on luonnonkuitujen tuotannolla ja seuraavana tulevat muuntokuidut. Esimerkiksi lyocellin hiilijalanjälki on kaksinkertainen villaan verrattuna. Puuvillantuotannon energiankulutus on suurempi kuin villalla, mutta pienempi kuin lyocellilla. Eniten energiaa kuluu synteettisten tekokuitujen valmistukseen. Energiankulutusta ei kuitenkaan tulisi käyttää yksistään kestävyuden mittarina, sillä se on vain osa tuotteen elinkaarta. (Fletcher & Grose 2012, 26–28.)

Taulukossa 1 vertaillaan puuvillan, viskoosin, modaalin ja lyocellin tuotannon veden- ja energiankulutusta. Vedenkulutusta vertailtaessa huomioon on otettu raaka-aineen, kuidun sekä kankaan valmistus. Energiankulutuksessa huomioituna on kankaan valmistusta edeltävät vaiheet: raaka-aineen ja kuidun tuotanto. Kankaan valmistukseen energiaa kuluu kaikilla saman verran (5–30 MJ/kg). (The Food and Environment Research Agency ym. 2010, 52, 60–63.)

Taulukko 1. Kuitujen tuotannon energian- ja vedenkulutuksen vertailua (The Food and Environment Research Agency ym. 2010, 52, 60–63.)

Kuitu	Energiankulutus MJ/kg	Vedenkulutus L/kg
Puuvilla	67,1	576–4377
Viskoosi	70,3–107,3	374–805
Modaali	78	472
Lyocell	66–102	263

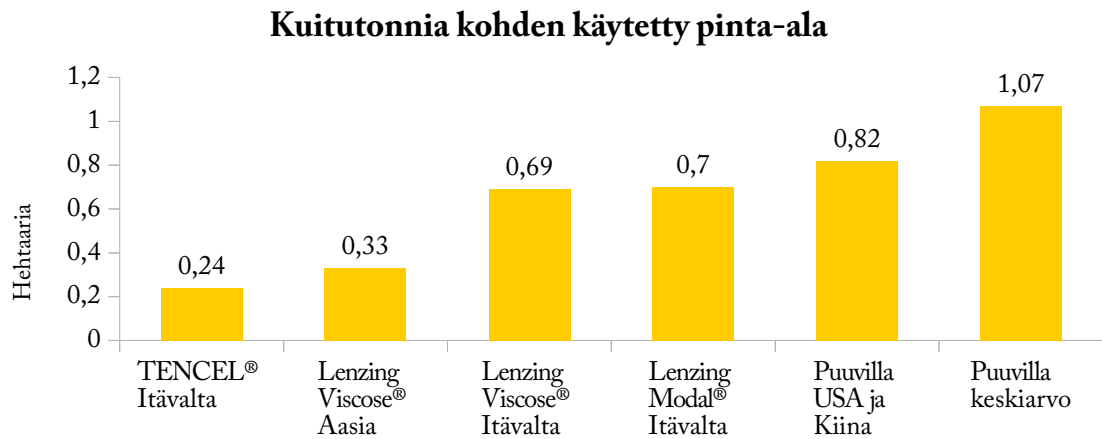
Kuten taulukosta 1 voidaan nähdä, ovat kaikkien kuitujen tuotannon aikaisen energiankulutuksen määrät hyvin lähellä toisiaan. Vedenkulutuksessa erot ovat sen sijaan suuremmat. Lyocellin valmistusprosessissa vedenkulutus on selkeästi pienin. Puuvillan tuotannon vedenkulutuksen vaihteluväli on valtava, sillä prosessiin käytetyn veden määrä riippuu puuvillan kasvuympäristöstä ja keinokastelun tarpeesta ja sen määrästä. Kuivilla alueilla vettä kuluu luonnollisesti enemmän. Pienin vedenkulutus taas on kosteammilla ja sateisemmilla alueilla. Kuidun ja kankaan valmistukseen vettä ei puuvillan tuotantoprosessissa käytetä (The Food and Environment Research Agency ym. 2010, 52).

Samalla tekstiilimateriaalilla voi myös olla eri suuruinen veden- tai energiankulutus valmistusprosessista ja valmistajasta riippuen. Viskoosin tuotantoprosessin energiansekä vedenkulutuksen arvoissa ilmenevät erot johtuvat siitä, että tarkasteltavana on kaksi eri kuidunvalmistajaa, Itävalta ja Aasia. Viskoosin valmistuksessa suurempi vedenkulutus on Itävallassa ja pienempi Aasiassa. Energiankulutuksen suhteen tilanne on taas päinvastainen, toisin sanoen Itävallassa tuotetun viskoosin energiankulutus on pienempi kuin Aasiassa tuotetun. (The Food and Environment Research Agency ym. 2010, 121.)

Lyocellin tuotantoprosessissa energiankulutuksen vaihteluväli johtuu siitä, että pienin arvo, 66 megajoulea kiloa kohden, perustuu jätteenpolton aikana tapahtuvaan energian talteenottoon. Suurempi arvo perustuu elinkaarianalyysiin ja senhetkiseen tuotantotapaan (vuonna 2008). (The Food and Environment Research Agency ym. 2010, 126.)

7.2 Raaka-aineen tuotanto, kemikaalit ja päästöt

Tiedämme jo, että toisin kuin puuvilla, puu ei kilpaile samoista maa-alueista ruoantuotannon kanssa (Mäntyranta 2017). Tiedämme myös, että metsien hoidossa ei tarvita puuvillan viljelyssä käytettäviä ympäristöä kuormittavia lannoitteita, kasvinsuojeluaineita eikä keinokastelua (Rissanen 2017). Näiden seikkojen lisäksi tekstiilimateriaalin ympäristövaikutusten kannalta merkittävää on myös se, kuinka paljon raaka-aine vie pinta-alaa suhteessa siihen, minkä verran sitä saadaan. Seuraavassa kuviossa (kuvio 2) vertaillaan itävaltalaisen Lenzingin valmistamien selluloosamuuntokuitujen ja puuvillan raaka-aineen tuotantoon kuluva pinta-alaa. Tulokset ovat Utrechtiin yliopiston tutkijoiden Li Shenin ja Martin K. Patelin toteuttamasta tutkimuksesta Life Cycle Assessment of Man-made Cellulose Fibres.



Kuvio 2. Raaka-aineen tuotantoon käytetty pinta-ala kuitutonnin kohden (Lenzing 2008, 50).

Vähiten pinta-alaa vie Tencelin raaka-aineen tuotanto, johon kuuluu alle kuudesosa puuvillaviljelmien (keskiarvo) kattamasta pinta-alasta. Kuvio myös vahvistaa luvussa 6 viskoosin ympäristövaikutusten yhteydessä esitetyn väitteen, että puusta saadaan tuotettua sen viemää pinta-alaa kohden enemmän kuitua kuin puuvillasta.

Puuvillan aiheuttamat päästöt johtuvat kuljetuksista ja kemikaaleista, kuten lannoitteista (Räisänen ym. 2017, 104). Selluloosamuuntokuitujen raaka-aineen tuotannossa taas puolestaan vältytään lannoitteiden ja tuholaismyrkkujen kemikaaleilta (Rissanen 2017). Sen sijaan päästöjä aiheutuu kuljetusten lisäksi kuitujen tuotannosta. Selluloosan liuotuksessa ja kuidun kehuussa käytetyt kemikaalit pystytään nykyään keräämään useimmissa tapauksissa talteen, mutta tästä huolimatta niitä päätyy jonkin verran myös luontoon.

7.3 Esikäsittelyt

Esikäsittelyillä kuitu, lanka tai kangas puhdistetaan ennen sen värjäystä, painoa ja viimeistystä. Materiaalissa on raaka-aineesta peräisin olevia (luonnosta tulleet) ja prosessin aikana siihen tarttuneita epäpuhtauksia (esimerkiksi avivointi- ja voiteluaineet, loimiliisterit ja koneista irronneet metallihiukkaset), jotka täytyy poistaa, jotta saataisiin väri- ja viimeistysaineiden kemikaalit imeytymään. Materiaalille tehtävät esikäsittelyt määräytyvät raaka-aineen ja sen puhtauden sekä toivotun lopputuloksen mukaan.

Luonnonkuiduissa, kuten puuvillassa, on suurempi määrä epäpuhtauksia kuin tekokuuduissa, ja näin ollen niille tehtävien esikäsittelyiden määrä on myös suurempi. (Räisänen ym. 2017, 186.)

Selluloosamolekyylin kemiallinen rakenne on monimutkainen, mistä johtuen sille tehdään yleensä erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia esikäsittelyitä tehostamaan tai parantamaan kuidun tiettyjä ominaisuuksia. Yleisiä selluloosakuiduille tehtyjä fysikaalisia esikäsittelyitä ovat muun muassa mekaaniset käsittelyt, säteilytys, kuivaus ja termiset prosessit, joilla saadaan lisättyä kuidun huokoisuutta. Kemiallisia esikäsittelyitä ovat erilaiset turvotus- ja hajoamisprosessit, joissa selluloosan turvottamiseksi tai liuottamiseksi käytetään voimakkaita happoja tai emäksiä, entsyymejä tai muita turvottavia tai liuottavia aineita. (Vehviläinen 2015, 20–21.)

Selluloosamuuntokuitujen esikäsittelyihin kuuluu pesu 60 asteessa anionisella tai ionittomalla tensidillä sekä niihin kehuun, kudonnan ja neulonnan yhteydessä jääneiden voiteluöljyjen poistaminen. Muita puhdistavia esikäsittelyitä ei tarvita, sillä kuitu on jo itsessään puhdas, ja valkaisu tehdään kuidunvalmistusvaiheessa. Puuvilla taas vaatii enemmän esikäsittelyitä, sillä raaka-aineen epäpuhtauksien määrä on suurempi. (Räisänen ym. 2017, 186, 190.)

Esikäsittelyihin kuluu paljon energiaa, vettä sekä kemikaaleja, sillä prosesseissa käytetyn veden on oltava lämmintä. Esikäsittelyissä syntyneen jäteveden osuus koko tekstiilintuotantoprosessin aikaisesta jätevesien kemiallisesta hapenkulutuksesta on suunnilleen 60–70 prosenttia. Kemiallinen hapenkulutus vahingoittaa muun muassa vesieliöitä. (Räisänen ym. 2017, 191, 203.)

Puuvillasta valmistetuille kankaille yleensä tehtävässä merseroinnissa käytettävä natriumhydroksidi jätetään usein kierrättämättä. Merseroinnissa natriumhydroksidia ympäristömyötäisempi vaihtoehto olisi nestemäinen ammoniakki. Se pystytään kierrättämään ja prosessi kuluttaa vähemmän vettä. Pesussa taas tulisi mieluummin käyttää biologisesti hajoavia tensidejä, kuin lipeää, sillä lipeäkeitto vaatii korkean lämpötilan ja kuluttaa näin ollen myös paljon energiaa. Lisäksi lipeäkeitossa syntyneiden jätevesien sekä biologinen että kemiallinen hapenkulutus on suuri. Puuvillan pesussa jätevesien mukana luontoon päätyy suuret määrät siitä lähtenyttyä vahaa ja selluloosaa sekä suoloja, jotka ovat muodostuneet merseroinnin yhteydessä. (Räisänen ym. 2017, 191.)

Yleisiin esikäsitteilyihin kuuluu myös materiaalin valkaisu, joka voidaan tehdä joko vetyperoksidilla tai kloorilla. Vetyperoksidin ympäristökuormitus on pieni, mutta valkaisu on tehtävä korkeassa lämpötilassa, mikä nostaa energiankulutusta. Mikäli valkaisussa käytetään klooria, saattaa jätevetteen syntyä AOX (absorboituva orgaaninen yhdiste) -päästöjä. AOX-päästöt muodostuvat kloorin reagoitessa orgaanisen aineksen kanssa ennen hajoamistaan. Prosessissa syntyy organoklorideja, hajoamattomia myrkyllisiä yhdisteitä, jotka kulkeutuvat ja rikastuvat myöhemmin ravintoketjuun. Organokloridien arvellaan aiheuttavan muun muassa syöpää. (Räisänen ym. 2017, 191.)

7.4 Värjäys

Selluloosakuituja on mahdollista värjätä monilla eri väriaineryhmiin kuuluvilla väreillä. Eniten käytetään reaktiivivärejä, kyppivärejä, rikkivärejä ja suoria värejä. Toisinaan saatetaan käyttää myös atsokehitevärejä. Eri kuidut tarvitsevat eri määrän väriä samansävyisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Esimerkiksi viskoosin värjäyksessä väriainetta tarvitaan vähemmän kuin puuvillan värjäyksessä, mikä vähentää prosessissa käytettyjen ympäristöä kuormittavien kemikaalien määrää. Värjäysmenetelmän valintaan vaikuttavat kuidun ominaisuudet. Esimerkiksi lyocellin fibrilloitumistaipumuksesta johtuen, sen värjäyksessä tulisi välttää voimakkaita emäksiä ja suurta mekaanista rasitusta. (Räisänen ym. 2017, 197.)

Värjäys kuuluu tekstiilintuotantoprosessin eniten ympäristöä kuormittaviin vaiheisiin. Prosessissa käytetään väriaineen ohella lämmintä vettä ja erilaisia apuaineita. Kaikki värjäysprosessit eivät kuitenkaan kuormita ympäristöä yhtä paljon, ja värjäyksestä aiheutuvaa ympäristökuormitusta voidaan pienentää käyttämällä ympäristöä vähemmän rasittavia menetelmiä ja kemikaaleja. Suurin vedenkulutus tekstiilikiloa kohden on päällemenovärjäyksessä. Jatkuvatoiminen värjäys on edellistä ympäristömyötisempää. Painovärjäyksellä puolestaan on kaikkein pienin vedenkulutus. (Räisänen ym. 2017, 202.)

Eri värjäysmenetelmien energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat myös eri suuruisia. Puuvillalla vaihteluväli on suuri ja värjäysprosessin energiankulutus voi vaihdella noin 30 megajoulesta 120 megajouleen kiloa kohden. Selluloosamuuntokuituja voidaan värjätä kehuun yhteydessä, mikä on ympäristömyötisempää, kuin vesiliuoksessa värjääminen, sillä tällöin värjäykseen ei kulu erikseen vettä. Näin vältetään värillisiltä jätevesiltä ja jäteväreiltä. Kehruuvärjäys pienentää myös kuidunvalmistusprosessin hiilidioksi-

päästöjä kahdella kolmanneksella verrattuna vesiliuoksessa värjäämiseen. Kehruuvärjäyksen lisäksi on myös toinen värjäysmenetelmä, jossa ei tarvita vettä. Tällöin vesi on korvattu ylikriittisellä hiilidioksidilla. Menetelmästä on tutkimuksia pitkältä ajalta ja sen toteuttaminen tehtaassa on mahdollista, mutta ongelmana on prosessiin tarvittavien laitteistojen korkea hinta. (Räisänen ym. 2017, 202–203.)

Värjäyksestä aiheutuvat ympäristöhaitat ulottuvat tehtaan lähiympäristön lisäksi myös kauemmas, sillä merivirrat ja tuulet kuljettavat kemikaaleja laajemmalle alueelle. Värjäyksessä käytettävistä kemikaaleista johtuva korkea biologinen ja kemiallinen hapenkulutus on vahingollista vesieliöille, ja luonnonkuitujen värjäyksessä käytettävien suolajien päätyminen vesistöihin aiheuttaa niiden suolaantumista. Väriaineiden saastuttamisessa vesissä voi olla muun muassa raskasmetalleja, halogeeneja ja aromaattisia amiineja. Jäteveden puhdistuksella vahingon määrää voidaan pienentää, mutta ei poistaa. Kuluttajakin voi altistua värjäyksessä käytetyille kemikaaleille ihon kautta, muun muassa käyttäessään vaatetta. (Räisänen ym. 2017, 203.)

Biologisesti hajoamattomat väriaineet pysyvät ympäristössä ja vahingoittavat sitä. Myrkyllisten ja vahingollisten kemikaalien joutumista ympäristöön rajoitetaan nykyään lailla ja säädöksillä. (Räisänen ym. 2017, 203.)

7.5 Viimeistykset

Viimeistyksillä kankaalle saadaan mekaanisesti tai kemiallisesti luotua esimerkiksi sen tuntua ja ulkonäköä muuttavia sekä käyttöä ja hoitoa parantavia ominaisuuksia. Mekaaniset viimeistyksiset (kuivaviimeistyksiset) toteutetaan fysikaalisesti esimerkiksi painamalla tai hiomalla kankaan pintaa. Kemiallisissa viimeistyksissä (märkäviimeistyksiset) taas halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi käytetään kemikaaleja ja vettä. Selluloosamuuntokuiduille tehdyt viimeistyksiset ovat usein kemiallisia viimeistyksiä. Seuraavaksi tarkasteltavat viimeistyksiset kuuluvat kemiallisiin viimeistyksiin. (Räisänen ym. 2017, 212.)

Suurimmalle osalle vaatekankaa tehdään pehmenysviimeistys poistamaan esikäsittelyistä ja värjäyksestä aiheutuvaa jäykkyyttä. Se kuitenkin samalla heikentää kuidun ominaisuuksia, kuten värien pesun- ja hankauksenkestoa sekä tekee materiaalista helpommin nypyyntyvän ja liestyvän. Pehmenysviimeistysten ympäristökuormitus johtuu enimmäkseen siitä, että niissä käytetyt aineet eivät hajoa biologisesti. Myös pe-

sunkestävää pehennintä irtoaa veteen pesuissa ja vesistöihin päätyvät silikonipehmentimet sekä kationiset ja ionittomat tensidit ovat haitallisia vesieliöille. Joissain silikonipehmentimissä on myös haihtuvia yhdisteitä, joista syntyy ilmansaasteita, jotka voivat muun muassa aiheuttaa hormonitoiminnan häiriöitä. (Räisänen ym. 2017, 215, 222.)

Selluloosakuiduista valmistetuille kankaille tehdään usein siliävyysviimeistys (hartsiviimeistys) kankaan pesussa rypistymisen ja kutistumisen vähentämiseksi tai vastaavasti pysyvien vekkien tai laskosten aikaansaamiseksi. Siliävyysviimeistys saattaa ehkäistä nukan muodostumista materiaalin pintaan, mutta tekee samalla siihen kovan tunnun, jolloin joudutaan puolestaan käyttämään pehennysviimeistystä. Siliävyysviimeistys myös huonontaa kankaan repäisy- ja hankauslujuuksia ja kangas saattaa harmaantua pesujen myötä. (Räisänen ym. 2017, 216.)

Siliävyysviimeistyksissä eniten käytetty kemikaali on alhaisen hintansa vuoksi dimetyylihydroksietyleeniurea (DMDHEU). DMDHEU toimii hyvin jo pieninä määrinä ja kestää hyvin pesussa. Kemikaali sisältää kuitenkin formaldehydiä, joka aiheuttaa lukuisia terveysongelmia, kuten allergioita, yskää, silmien kirvelyä, päänsärkyä ja mahdollisesti myös syöpää. DMDHEU:lla käsitellyistä tuotteista saattaa vapautua suuriakin määriä formaldehydiä, etenkin, jos pakkaus on ollut suljettu. (Räisänen ym. 2017, 216, 222.) Muun muassa tästä johtuen tekstiilit suositellaan pestävän aina ennen käyttöönottoa.

Siliävyysviimeistys voidaan tehdä myös ilman formaldehydiä. Tällöin käytetään dimeylihydroksietyleeniureaa (DMeDHEU). Saman lopputuloksen saavuttamiseksi tarvitaan kuitenkin enemmän kemikaalia, mikä nostaa prosessin kustannuksia. Lisäksi DMeDHEU kestää DMDHEU:ta huonommin pesua ja klooria, mikä saattaa johtaa kankaan kellastumiseen. Siliävyys saadaan aikaiseksi myös käyttämällä polykarboksyylihappoja (esimerkiksi butaanitetrakarboksyylihappo (BCTA)) tai sitruunahappoa. Viimeiseksi mainittujen menetelmien tutkiminen on kuitenkin vielä kesken. (Räisänen ym. 2017, 217.)

Kankaan tuntua saatetaan pehmentää entsyymikäsittelyillä (käytetään myös nimeä bioviimeistys). Monesti bioviimeistysentsyymeinä käytetään sellulaaseja, jotka sopivat selluloosakuitujen käsittelyyn. Sellulaaseilla kankaasta saadaan nukkaantumaton, pehmeä ja hyvin laskeutuva. Tällainen sellulaasiviimeistys tehdään usein esimerkiksi lyocellille persikkamaisen tunnun aikaansaamiseksi. Mikäli entsyymejä on puutteellisen puhdistuksen seurauksena jäänyt kankaan pinnalle, voi siitä aiheutua vaatteen käyttä-

jälle herkistymistä kuten ihottumaa tai astmaa. Myös tehtaissa huonosti huuhdelluista entsyymikäsitellyistä tuotteista ilmaan vapautuva pöly saattaa aiheuttaa työntekijöille terveysongelmia. (Räisänen ym. 2017, 223.) Nämä haitat ovat kuitenkin vältettävissä kankaan huolellisella pesulla ja asianmukaisilla suojarusteilla.

Kuljetuskontit käsitellään usein antimikrobiaineilla, jotta tekstiilit eivät kuljetusten aikana homehtuisi. Antimikrobiaineiden toiminta perustuu siihen, että ne joko estävät eliöitä lisääntymästä tai tappavat ne. Tästä voidaan jo päätellä, että ne ovat vahingollisia myös ympäristölle. Mikäli käytetyt antimikrobiaineet ovat biohajoamattomia, jäävät ne kuormittamaan ympäristöä. Ne saattavat olla haitaksi jätevedenpuhdistamoilla sekä vaaraksi vesieliöille. Lisäksi ne altistavat allergioille ja muille terveysongelmille, kuten keuhkosairauksille ja solumuutoksille, jotka aiheutuvat kuidun sisältä vapautuneiden nanopartikkeleiden pääsystä hengitysteihin. (Räisänen ym. 2017, 223.)

7.6 Kierrätys

Kierrätyskelpoista materiaalia syntyy jo ennen kuin vaate on edes päätynyt kuluttajalle. Tällaista tekstiilijätettä kutsutaan termillä *pre consumer waste*. Kuluttajan pois heittämistä tekstiileistä taas käytetään nimitystä *post consumer waste*. (Kääriäinen & Tervinen 2017, 147.) Tekstiilitehtaissa tuotannossa syntyy jätettä, joka on täysin uutta, käyttämätöntä materiaalia. Jopa 25 prosenttia tuotetuista langoista ja kankaista päätyy tällaiseksi neitseelliseksi tekstiilijätteeksi. (Runnel 2017.)

Tekstiilien kierrätyksessä haasteellisinta on se, että tekstiileissä on epäpuhtauksia ja yhdessä vaatekappaleessa voi olla sekaisin useita eri materiaaleja. Vaatteissa olevien lisäosien, kuten nappien ja vetoketjujen lisäksi pulmia aiheutuu myös kuitujen sekoittamisesta. Toisinaan, vaikka vaateen materiaalitiedoissa lukisikin sen olevan esimerkiksi 100-prosenttisesti puuvillaa, saattaa se sisältää viisikin prosenttia muita kuituja. Sekoitteita tehdään yleensä kankaan ominaisuuksien muokkaamiseksi tai pienentämään kustannuksia. Lisäksi ompelulangat ovat yleensä myös luonnonkuidusta valmistetuissa vaatteissa tekokuituisia. (Nurmilaakso 2017.) Materiaalivalintaa tehtäessä olisi siis kierrätettävyyden kannalta parempi suosia 100-prosenttisiä materiaaleja.

Edellä mainittuun ongelmaan on kuitenkin juuri kehitetty ratkaisu. Lahden ammattikorkeakoulussa ollaan onnistuttu kehittämään laitteisto, joka analysoi materiaalin kunnan

ja koostumuksen, ja mahdollistaa näin tekstiilien lajittelun. (VAU 2017.) Tämä teknologia tulee helpottamaan tekstiilien kierrätystä mullistavalla tavalla.

Tekstiilien lajittelun yhteydessä niistä irtoaa tekstiilipölyä, jossa on pieniä mikromuovihiukkasia, jotka lopulta päätyvät vesistöihin ja sitä kautta haihtuvat ilmaan ja palaavat sateen mukana takaisin maahan ja veteen (Nurmilaakso 2017). Tämä on epäilemättä vahingollista ekosysteemille. Vedessä olevat mikromuovihiukkaset päätyvät vesieläimiin, vesilintuihin, kaloihin ja kaloja syöviin ihmisiin, mikä tuskin on ainakaan terveellistä. Koko maapallon kuitupölymäärä vuodessa on yhteensä arviolta noin kolme miljoonaa tonnia (Nurmilaakso 2017).

Uudet kuidunvalmistusteknologiat, kuten loncell-F ja karbamaatti toimivat materiaalien valmistuksen lisäksi myös niiden kierrätysprosesseina. Vanhan tekstiilin, kuten esimerkiksi siistatun puuvillan, liuottaminen onnistuu samassa prosessissa sellukuitujen kanssa. (Mäntyranta 2017.)

loncell-F:n valmistusmenetelmällä materiaalin lisäksi on mahdollista kierrättää myös sen väri. Varmin lopputulos saadaan aikaiseksi käyttämällä raaka-aineena tehtaiden ylijäämäjätettä, jolloin käytetty väriaine on yleensä tiedossa. Kuluttajajätteen hyödyntämisessä värjäyksen lopputulos on epävarmempi, sillä materiaalien värjäyksessä käytettyä väriainetta ei tiedetä ja prosessissa käytettyjä tekstiilejä on todennäköisesti värjätty useilla eri väriaineilla. (Niinimäki, Smirnova & Tanttu 2017, 100.) Kun väri saadaan kierrätettyä, säästytään tuotannossa ympäristöä kuormittavilta vaiheilta, kuten yleensä kierrätystekstiileille tehtävältä valkaisulta sekä värjäykseltä.

Kierrätetty puuvilla on neitseellistä puuvillaa ympäristömyötäisempi vaihtoehto. Sen valmistusprosessissa vettä kuluu vain noin sadasosa ja kemikaaleja suunnilleen kolmasosa neitseellisen puuvillakuidun tuotantoon verrattuna. Kierrätysprosessissa tekstiilistä saadaan säilytettyä yli 80 prosenttia, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että L-kokoisesta vaatteesta saadaan kierrätysprosessin jälkeen M-kokoinen vaate. Materiaalin laatukaan ei välttämättä kärsi, sillä uusiopuuvillasta on mahdollista valmistaa kangasta, joka on ominaisuuksiltaan neitseellisen puuvillan veroista. (Nurmilaakso 2017.)

Vaatejätteen kierrätys on merkittävä askel kohti kestävämpää tilannetta. Kuitenkin olisi ratkaisevan tärkeää huomioida myös tekstiilijätteen syntyyn johtavia tekijöitä ja pyrkiä

vähentämään jätteen määrää. Yksi keino on esimerkiksi vaatteiden käyttöajan pidentäminen. (Nurmi 2017.)

Arelan toiminnassa ollaan tältä osin menossa jo hyvään suuntaan. Asiakkaille kerrotaan tuotteen hoidosta ja pyritään siten välittämään eteenpäin ajatusta vaatteista huolehtimisen tärkeydestä. Yrityksen tarjoaman huoltopalvelun tarkoitus on pidentää tuotteen käyttöikää. Yhdeksän kuukautta pidempään käytetyn vaatteiden ekologinen jalanjälki laskee jo 20–30 prosentilla (Nurmi 2017). Arelalla kierrätys on osana yrityksen toimintaa. Tässä tapauksessa kyse ei ole teollisesta kierrättämisestä, vaan esimerkiksi vanhojen materiaalien hyödyntämisestä tekemällä niistä uusia tuotteita. Lisäksi aikaisemmin Arelan esittelyssä mainittu yrityksen For Good -konsepti perustuu kierrätykseen.

7.7 Biohajoavuus

Materiaalin biohajoavuus on tulevaisuutta ajatellen tarpeellinen ominaisuus, sillä tekstiilijätettä kertyy koko ajan enemmän ja se täyttää kaatopaikat (Fletcher & Grose 2012, 17). Kaatopaikoilla tekstiilit aiheuttavat otsonia tuhoavien metaanikaasujen päästöjä, sillä ne eivät kompostoidu kunnolla. Vaatteiden polttaminen taas vapauttaa ilmaan hiukkasia, jotka aiheuttavat muun muassa astmaa. (Sherburne 2009, 7.) Tähän ratkaisuun valtiot pyrkivät lailla sääntelemään, miten vaatteet hävitetään. Esimerkiksi EU-alueella vaatteiden vieminen kaatopaikalle on ollut kiellettyä vuoden 2016 alusta lähtien (Kivipelto 2015.) Kuitenkaan edes biohajoavat tekstiilit eivät hajoa luonnossa aivan itsestään, vaan niiden kompostointi tapahtuu teollisesti (Budde 2017).

Luonnonkuidut ja selluloosamuuntokuidut ovat luonnostaan biohajoavia, jolloin ne on helpompi hävittää ekologisesti (Räsänen ym. 2017, 104). Biohajoavan tuotteen suunnittelussa, kuten kierrätyksen yhteydessä, haasteeksi muodostuu siihen kiinnitettävät osat, kuten esimerkiksi napit, vetoketjut, langat ja tukikankaat, jotka sisältävät usein muovia tai metallia. Tämä seikka tulisi siis ottaa huomioon jo vaatteiden suunnitteluvaiheessa. (Fletcher & Grose 2012, 17.) Tämä aiheuttaa luonnollisesti omat haasteensa, sillä nämä osat ovat vaatteiden toimivuuden kannalta varsin oleellisia ja niiden tulee olla kestäviä. Voidaan myös pohtia, onko kaikkia osia edes mahdollista tai kannattavaa valmistaa biohajoaviksi.

Biohajoavuus sopisi luonnollisesti ekosysteemin kiertokulkuun. Toisaalta vaateen kompostoituminen sen kierrätyksen sijaan, voidaan myös nähdä energiankäytön näkökulmasta tuotteeseen käytettyjen resurssien tuhlausena; Tällöin *high-energy-tuotteesta* tulee *low-energy-tuote*. Kirjassaan *Cradle to cradle* William McDonough ja Michael Braungart näkevät kaksi kestävän teollisuuden kannalta hyväksyttävää tapaa tavaran hävittämiseen: kompostoitumisen ja teollisen kierrättämisen. (Fletcher & Grose 2012, 17.)

7.8 Higg Materials Sustainability Index (MSI)

Higg Materials Sustainability Index (MSI) on alun perin urheilubrändi Niken kehittämä vaatetusalan ammattilaisten käyttöön tarkoitettu elinkaarianalyysiin pohjautuva mittaus- ja vertailumenetelmä. Myöhemmin sen kehittämistä ja tarjoamista on jatkanut Sustainable Apparel Coalition. Se on tarkoitettu vaatetuksessa, kengissä ja kodintekstiileissä käytettävien materiaalien tuotannon ympäristövaikutusten kartoitukseen ja vertailuun. MSI-ohjelma tarjoaa myös työkaluja ympäristökuormituksen vähentämiseen. MSI:n tavoite on tehdä vaatetusala läpinäkyvämpää. (Higg MSI n.d.)

MSI perustuu *cradle to gate* -elinkaariajatteluun, mikä tarkoittaa sitä, että siinä ei huomioida tuotteen käytön aikaisia ympäristövaikutuksia, sen käyttöikä tai kierrätettävyyttä (Higg MSI n.d.). MSI ei siis yksinään riitä kokonaisvaltaiseen tuotteen ympäristövaikutusten kartoitukseen, mutta on hyvä työkalu osana laajempaa kokonaisuutta. MSI analysoi tuotteen vaikutusta ilmastomuutokseen, vesistöjen rehevöitymiseen, vesipulaan sekä fossiilisten polttoaineiden ehtymiseen. Pieni MSI-arvo vastaa pientä ympäristökuormitusta (Higg MSI n.d.). Alla olevassa taulukossa (taulukko 2.) tarkastellaan tavanomaista puuvillaa, viskoosia, modaalia ja lyocellia sekä vertailun vuoksi Lenzingin valmistamaa modaalia ja lyocellia (TENCEL®) MSI-analyysin näkökulmasta.

Taulukko 2. Materiaalien MSI-arvot (Lenzing n.d. c) & (Lenzing n.d. d).

Higg Materials Sustainability Index (MSI)					
Material	Climate change CO ₂ -eq / kg fiber	Eutrophication PO ₄ -eq / kg fiber	Water scarcity impact m ³ / kg fiber	Fossil fuel depletion MJ / kg fiber	Total MSI score points
Conventional cotton	3,1	0,0095	0,9946	32,44	54,9
Generic viscose	7,53	0,0054	0,1245	89,35	24,6
Generic modal	10,63	0,0059	0,1165	119,17	30
Lenzing Modal®	1,28	0,0011	0,04	15,6	5,1
Generic lyocell	6,84	0,0048	0,075	68,73	19,6
TENCEL®	2,8	0,0018	0,046	44	9,8

● Smallest value ● Largest value

MSI-analyysin perusteella puuvillan tuotannolla on edellä mainituista suurin ympäristökuormitus. Seuraavana on tavanomainen modaali ja viskoosi ja pienimpien joukossa tavanomainen lyocell. Huomattavasti pienimmät MSI-arvot ovat kuitenkin Lenzingin valmistamalla modaalilla ja Tencelillä.

Matalat arvot perustuvat Lenzingin noudattamaan ympäristöä vähemmän kuormittavaan materiaalintuotantoon. Tämä pitää sisällään muun muassa valvotun raaka-aineentuotannon, bioenergian käytön ja kemikaalien kierrättämisen prosessissa. Lenzingin valmistaman modaalin raaka-aineen ja kuidun valmistus tapahtuu samassa paikassa ja prosessin kaikki vaiheet toteutetaan Itävallassa, mikä vähentää kuljetusten määrää ja siten fossiilisten polttoaineiden kulutusta. (Lenzing n.d. d.)

8 Asiantuntijahaastattelut

Tässä luvussa käsittelen tekemieni asiantuntijahaastatteluiden tuloksia. Haastattelin Aalto-yliopiston tutkijaa Research Fellow Marja Rissasta sekä Designer in Residence Pirjo Kääriäistä loncell-F:ään liittyen. Haastattelut tapahtuivat sähköpostin välityksellä. Alla käyn läpi heiltä kysymyksiini saamiani vastauksia loncell-F:n ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista.

1. Soveltuuko materiaali samoihin käyttötarkoituksiin kuin puuvilla?

Sekä Rissanen että Kääriäinen kertovat loncell-F:n soveltuvan hyvin samoihin käyttötarkoituksiin kuin puuvilla. Kääriäinen toteaa loncell-F:n olevan ominaisuuksiltaan lähimpänä lyocellin valmistusmenetelmällä valmistettavaa Tenceliä ja täten myös sopivan parhaiten samoihin käyttötarkoituksiin kuin Tencel. Tenceliä taas käytetään yleensä samoihin tarkoituksiin kuin puuvillaa.

2. Soveltuuko materiaali hyvin trikootuotteisiin, kuten t-paitoihin?

Rissanen ja Kääriäinen vahvistavat, että loncell-F on trikootuotteisiin soveltuva materiaali. Rissanen kertoo, että siitä on tehty jo mallikappaletuotteita Marimekolle. Rissanen mukaan toistaiseksi loncell-F-kuidusta ei saada valmistettua yhtä ohutta lankaa kuin ohuimmat trikootuotteissa käytetyt langat.

3. Minkälaisia ominaisuuksia materiaalilla on? Onko joitain huonoja ominaisuuksia?

Molemmat haastateltavat toteavat loncell-F:n olevan erittäin luja kuitu. Loncell-F:n lujuus on viskoosiin verrattuna kaksinkertainen ja sen kuiva- ja märkäljuudet ovat paremmat kuin puuvillalla. Sen märkäljuuus alenee vain vähän viskoosiin verrattuna, Rissanen kuvailee. Kääriäisen mukaan loncell-F on kestävä ja miellyttävän tuntuinen. Hän korostaa valmistusprosessin vaikutusta materiaalin ominaisuuksiin kokonaisuutena. Tällaisia vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi langan kehruu sekä esi- ja jälkikäsitteilyt sekä monivaiheinen kankaan valmistusteknologia.

Yhdeksi loncell-F:n huonoksi ominaisuudeksi Rissanen nimeää kuidun fibrilloitumisen, mikä aiheuttaa hankauksen yhteydessä nyppyyntymistä. Rissanen mukaan fibrilloitumiselta voidaan kuitenkin välttyä, kun ristosilloitetaan kuiturakenne, mutta loncell-F:n kohdalla ristosilloittamista ei olla vielä ehditty kokeilla käytännössä. Muutoinkin huonot ominaisuudet ovat lähes samat kuin Tencelillä Rissanen lisää.

3.2 Entä puuvillaan verrattuna (Onko yhtä kestävä? Minkä tuntuinen? Nyppyyntykö helpommin?)

Tähän kysymykseen vastaukset löytyvät osittain myös edellisen kysymyksen vastauksista. Loncell-F on siis kuiva- ja märkäljuuksiltaan puuvillaa parempi. Kääriäisen mu-

kaan loncell-F on yhtä kestävä kuin puuvilla. Hänkin toteaa nyppyyntymisen olevan mahdollista, mutta tähdentää kehruuprosessin ja viimeistysten merkitystä tässä yhteydessä.

4. Minkälaisia ympäristövaikutuksia materiaalilla on?

loncell-F:n valmistus tapahtuu vielä laboratoriossa, joten tarkkoja ympäristövaikutuksia on vaikea arvioida, Rissanen pohtii. Myös Kääriäinen kokee ympäristökuormituksen suoraviivaisen arvioinnin haasteelliseksi. Hän toteaa loncell-F:n valmistusmenetelmän pohjautuvan kemikaalien suljettuun kiertoon sekä uusiutuviin tai kierrätettyihin raaka-aineisiin. Nämä seikathan ovat materiaalin ympäristökuormitusta pienentäviä. Rissanen on samoilla linjoilla ja mainitsee vielä liuottimen myrkyttömyyden ja materiaalin biohajoavuuden. Lisäksi hän kertoo prosessin vedenkulutuksen olevan suunnilleen sama kuin Tencelin valmistuksessa.

4.2 Entä puuvillaan verrattuna?

loncell-F:n valmistuksessa vedenkulutus on huomattavasti pienempi kuin puuvillalla, jota joudutaan keinokastelemaan. Lisäksi, koska raaka-aine saadaan puusta, ei sen viljelyyn tarvita lannoitteita eikä kasvinsuojeluaineita, kuten puuvillan viljelyssä. Juuri nämä seikat aiheuttavat puuvillan viljelyssä eniten ympäristöhaittoja, Rissanen selittää. Kääriäinenkin nimeää loncell-F:n ja puuvillan ympäristövaikutuksia vertailtaessa ratkaiseviksi tekijöiksi veden sekä kemikaalien käytön.

5. Milloin kuluttaja voi ostaa materiaalista valmistettuja vaatteita?

Siihen, että loncell-F on kuluttajamarkkinoilla, menee vielä ainakin kolmesta viiteen vuotta, arvioi Kääriäinen. Tähän vaikuttavia seikkoja ovat muun muassa pilotointilaitoksen rahoitus sekä jotkin teknologiaan liittyvät vielä avoinna olevat kysymykset, hän lisää. Rissanen arvioi ajan hieman pidemmäksi. Hän kertoo, että tällä hetkellä suunnitellaan laitteistoa, jolla kuidun pilottituotanto voitaisiin toteuttaa. Rissanen mukaan laitteisto olisi mahdollisesti käytettävissä 2020, jolloin aloitettaisiin noin neljä vuotta kestävä pilot-mittakaavan kokeet, jolloin kuitua koevalmistettaisiin tehdasmittakaavassa. Tämän jälkeen rahoittajat tekevät arvion suuremman teollisen tuotannon kannattavuudesta ja mikäli valmistus päätetään aloittaa, saadaan loncell-F kuluttajamarkkinoille vuoden 2025 paikkeilla.

6. Tulisiko uusilla teknologioilla tuotetuista materiaaleista nykyisiä kalliimpia? Jos tulisi, mikä kustannusten nousun aiheuttaisi ja minkä verran hinta nousisi?

Kääriäisen ja Rissanen mukaan loncell-F:n hinta pyritään saamaan samalle tasolle lyocellin ja Tencelin kanssa. Molemmat toteavat hinnan olevan korkeampi ennen teollista tuotantoa pienistä tuotantomääristä johtuen, mutta mitä enemmän kuitua valmistetaan, sitä edullisemmaksi se tulee, Rissanen huomauttaa.

7. Voitaisiko materiaalin valmistus kokonaisuudessaan toteuttaa Suomessa? Jos ei, niin missä?

Toistaiseksi loncell-F:n valmistuksessa käytettävä selluloosa tehdään Suomessa suomalaisesta puusta, Rissanen kertoo. Hänen mukaansa kuitutehtaan sijainti riippuu tuotantokustannuksista. Hän ei kuitenkaan sulje pois mahdollisuutta tuottaa kuitua Suomessa. Rissanen arvelee, että pilottilaitos tulee todennäköisesti sijaitsemaan Suomessa. Kääriäinen selvittää, että kuidun valmistus voisi periaatteessa tapahtua Suomessa, mutta lähimmät lankakehräämöt ovat toistaiseksi Etelä-Euroopassa.

8. Minkälainen tulevaisuuden visio teillä on materiaalin suhteen?

Rissanen näkee loncell-F:n potentiaalin ja uskoo positiiviseen tulevaisuudenkuvaan. Hänen mukaansa loncell-F voisi tulevaisuudessa toimia korvaajana niin puuvillalle, viskoosille kuin synteettisille tekokuiduille sekä vaatetus- että sisustuskäytössä. Kääriäinen kertoo kuidun lähitulevaisuudesta sen verran, että tällä hetkellä on meneillään kaksi vuotta kestävä Tekesin rahoittama TUTLI (tutkimuksesta liiketoimintaa) -hanke, jonka päämääränä on saada rahoitus ja suunnitelma pilotointilaitokselle.

9. Muuta (Onko jotain muuta esimerkiksi materiaalin tuotantoon tai ominaisuuksiin liittyen, jonka haluaisit tuoda esille?)

Kääriäinen haluaa kiinnittää huomion loncell-F:n raaka-aineeksi soveltuvien materiaali-vaihtoehtojen laajuuteen. Prosessiin soveltuu nimittäin uuden selluloosan lisäksi myös käytetty puuvilla tai lyocell, kuten myös pahvi ja paperi. Osa väreistä voidaan myös säilyttää kierrätyksessä, Kääriäinen lisää. Rissanen taas korostaa rahoittajien merkitystä loncell-F:n tulevaisuuden kannalta. Matka kuidunvalmistuksen teolliseen mittakaavaan on vielä pitkä, hän toteaa.

9 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää olemassa olevia mahdollisuuksia ja etsiä niistä Arelalle sopivin vaihtoehto. Kuten jo työn alussa todettiin, on tekstiilikuitujen ympäristömyötävyyden vertailu haastavaa, eikä yksi kuitu ole välttämättä kaikin puolin parempi kuin toinen. Kun huomioon on otettava useampi seikka, on selvää, että on tehtävä kompromisseja, eikä tutkimusongelmalle näin ollen löydy yhtä oikeaa vastausta. Kokonaiskuvan katsominen on kuitenkin tärkeää, sillä tarkastelemalla vain tiettyjä elinkaarren osia ja jättämällä toisia huomiotta saatetaan päätyä tekemään kestävämpiä ratkaisuja. Materiaalien ympäristökuormitus kun koostuu monesta osasta. Vertailulle lisää haastetta tuo se, että eri tahojen toteuttamien tutkimusten tuloksissa on usein eroavaisuuksia, eivätkä ne aina ole keskenään vertailukelpoisia.

Toteuttamani vertailun tulosten valossa voidaan kuitenkin todeta, että useimmat selluloosamuuntokuidut ovat puuvillaa ympäristömyötävämpiä vaihtoehtoja. Arelalle asetetut kriteerit ja tavoitteet huomioon ottaen sopivimmiksi vaihtoehdoksi puuvillalle osoittautuivat lyocell, erityisesti Lenzingin valmistama Tencel sekä Lenzingin valmistama modaali. Niiden ympäristöhaitat ovat pienimmät muihin vertailtaviin materiaaleihin nähden. Lisäksi ne vastaavat ominaisuuksiltaan parhaiten Arelan asettamia kriteerejä: ne ovat ympäristömyötävämpiä kuin puuvilla, pehmeitä ja käytössä kestäviä.

Uudet kuidunvalmistusteknologiat, Ioncell-F, BioCelSol, selluloosakarbamaatti sekä Spinnovan menetelmällä valmistettu kuitu tuovat oman lisänsä ympäristömyötävien tekstiilimateriaalien tarjontaan. Näiden kuitujen kehittämis- ja tutkimustyö on kuitenkin vielä kesken, joten luotettavaa vertailua ei vielä tässä vaiheessa voida toteuttaa. Tulevaisuutta ajatellen edellä mainittujen uusien materiaalien joukosta voisi hyvin todennäköisesti löytyä Arelan tilanteeseen sopiva ratkaisu. Mikäli Arelalla puuvillasta ei vielä haluttaisi luopua, on kierrätetty puuvilla uutta puuvillaa kestävämpi vaihtoehto.

10 Pohdinta

Osa selluloosamuuntokuiduista on siis ympäristömyötäviä, ja korvaamalla niillä ympäristöä rasittavampia kuituja voitaisiin vähentää vaatetusmateriaalien tuotannosta aiheutuvaa ympäristön kuormittumista. Materiaali täytyy kuitenkin markkinoida kuluttajille oikein, jotta sitä ostettaisiin. Ylen kolumnissa kerrotaan, etteivät ekologisesta muodista

kiinnostuneet kuluttajatkaan oikein ole tietoisia vieraalta ja teolliselta kuulostavien materiaalien nimien takana piilevästä ympäristömyötäisyydestä. Esimerkiksi lyocell ei pieneistä ympäristökuormituksestaan huolimatta useinkaan päädy tiedostavien asiakkaiden ostoskoriin. Sen sijaan ympäristömyötäisimmiksi materiaaleiksi mielletään luomupuuvilla, hamppu sekä puhdas villa. (Puukka 2017.)

Syyksi arvellaan, että kuitujen nimet eivät kerro kuluttajalle mitään tai ne herättävät vääränlaisia mielikuvia. Ratkaisuksi ehdotetaan uusia, kuidun ympäristömyötäisyydestä kertovia nimiä, kuten Ekocell (Puukka 2017). Ajatus on perusteltu, sillä kuidun nimellä on osoitetusti rooli mielikuvien luojana ja näin ollen viesti ympäristömyötäisyydestä kannattaa sisällyttää jo kuidun nimeen. Teolliselta kuulostavan loncell-F:n on vaikea voittaa kuluttajia puolelleen, kun taas tuotteessa riippuva Organic Cotton -merkki luovälittömästi mielikuvan ympäristömyötäisyydestä.

Materiaalien ympäristövaikutusten vertailussa on omat haasteensa, mutta tästä huolimatta opinnäytetyön tavoite saavutettiin ja puuvillalle löydettiin Arelalle sopivia ympäristömyötäisempiä vaihtoehtoja. Toki tämä on vain yksi mahdollisuus, sillä työn rajauksen takia keskityttiin tutkimaan puupohjaisia selluloosamuuntokuituja. Rajauksen tekeminen oli kuitenkin välttämätöntä, jotta työ pysyisi hallittavana kokonaisuutena ja jotta sen laajuus vastaisi opinnäytetyötä.

Selluloosamuuntokuidut eivät toisin sanoen ole ainut vaihtoehto ympäristömyötäisten materiaalien kentällä. Muun muassa proteiinimuuntokuiduista voisi yhtä lailla löytyä ratkaisu ympäristömyötäisten tekstiilien tarpeeseen. Esimerkiksi vuonna 2017 Milanon muotiviikoilla nähtiin mehuteollisuuden hedelmälihajätteesta valmistettua nahkajäljitelmää sekä lankaa, jonka raaka-aineena oli käytetty sitrushedelmien kuoria (Nurmilaakso 2017). Californialainen Bolt Threads puolestaan on kehittänyt ympäristömyötäisen proteiinimuuntokuidun, joka jäljittelee silkkiä (Bolt Threads n.d.). Proteiinimuuntokuidut olisivat oivallinen aihealue jatkotutkimukselle! Mikäli työn laajentamiseen olisi ollut resursseja, olisi myös materiaalien testaaminen käytännössä ollut hyvä lisä. Tämä olisikin luonnollisesti tutkimuksen seuraava askel.

Oman ammattitaitoni kehittämisen ja laajentamisen lisäksi tämä opinnäytetyö tarjoaa Arelalle tietoa materiaaleista ja niiden ympäristövaikutuksista sekä kartoittaa heidän tarpeisiinsa sopivia ympäristömyötäisempiä materiaalivaihtoehtoja. Uskon, että opinnäytetyöstäni on hyötyä myös muille aiheesta kiinnostuneille.

11 Lähteet

Aalto-yliopisto 2016. Palkittu menetelmä tekee puuvillajätteestä tekstiilikuitua. <<http://www.aalto.fi/fi/current/news/2016-02-17-003/>> (luettu 28.8.2017).

Aalto-yliopisto 2017. Aalto-yliopisto ja VTT kehittävät yhdessä uusia tekstiilikuituja. <<http://www.aalto.fi/fi/current/news/2017-04-25/>> (luettu 4.11.2017).

Ander, Gunilla 2011. Puuvillan likainen tarina. Helsinki: Like kustannus oy.

Anteroinen, Sami 2015. Tekstiiliä koivun selluloosasta. Metsään 28.7. <<http://metsaan-lehti.fi/fi/artikkeli/tekstiilia-koivun-selluloosasta>> (luettu 5.9.2017).

Arela n.d. About Us. <<https://www.arelastudio.com/pages/about-us>> (luettu 28.8.2017)

Bergqvist, Paula 2015. Kestävästi lankaa puukuidusta. VTT impulssi 6.5. <<http://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Kestavasti-lankaa-puukuidusta.aspx>> (luettu 28.8.2017).

Bolt Threads n.d. Technology. <<https://boltthreads.com/technology/>> (luettu 25.10.2017).

Boncamper, Irma 2011. Tekstiilioppi: Kuituraaka-aineet. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Budde, Ina 2017. Sustainable Fashion in Circular Economy Seminar. Lecture 11.10. Helsinki.

Cellulose from Finland n.d. a. Cellulose from Finland n.d. a. Design driven value chains in the world of cellulose DWoC. <<http://cellulosefromfinland.fi/design-driven-value-chains-in-the-world-of-cellulose/>> (luettu 28.8.2017).

Cellulose from Finland n.d. b. Why cellulose from finland? <<http://cellulosefromfinland.fi/why-cellulose-from-finland/>> (luettu 5.9.2017).

CIRFS n.d. a. Modal. <<http://www.cirfs.org/manmadefibres/fibrerange/Modal.aspx>> (luettu 31.8.2017).

CIRFS n.d. b. Renewable raw material. <<http://www.cirfs.org/Sustainability/SustainabilityElements/RenewableRawMaterial.aspx>> (luettu 31.8.2017).

CIRFS n.d. c. Lyocell. <<http://www.cirfs.org/manmadefibres/fibrerange/Lyocell.aspx>> (luettu 31.8.2017).

Eurokangas n.d. Tekokuidut. <<https://www.eurokangas.fi/materiaaliopas/tekokuidut>> (luettu 2.11.2017).

Fletcher, Kate 2008. Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys. Lontoo: Earthscan Ltd.

Fletcher, Kate & Grose, Lynda 2012. Fashion & Sustainability: Design for Change. Lontoo: Laurence King Publishing Ltd.

The Food and Environment Research Agency, Textile Engineering and Materials Research Group, De Montfort University & Centre for Technical Textiles, University of Leeds 2010. The role and business case for existing and emerging fibres in sustainable clothing. Final Report. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Gwilt, Alison & Rissanen, Timo 2011. Shaping Sustainable Fashion: Changing the Way We Make and Use Clothes. Lontoo & Washington, (DC): Earthscan Ltd.

Harlin, Ali n.d. Suomesta design-selluloosatuotteiden edelläkävijä. VTT impulssi. <<http://www.vtt.fi/vaikuttavuus/esimerkkej%C3%A4-tutkimustuloksista/suomesta-design-selluloosatuotteiden-edell%C3%A4k%C3%A4vij%C3%A4>> (luettu 5.9.2017).

Herala, Virpi 2009. Vaatteiden valmistuksen ympäristövaikutukset ja kuluttajan suhtautuminen ekologiseen vaatteeseen: Case Icepeak. Opinnäytetyö. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, tekstiili- ja vaateustekniikka. <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200905052408>> (luettu 3.12.2016).

Higg MSI n.d. Higg Materials Sustainability Index. <<http://msi.higg.org/page/msi-home>> (luettu 30.10.2017).

Härkäsalmi, Tiina 2017. Cellulose-led Design Research: Knowledge Production Through Material Exploration and Experimentation. Kääriäinen, Pirjo & Tervinen Liisa (toim.): Lost in the Wood(s). Helsinki: Aalto ARTS Books. 80–84.

Kaakinen, Elina 2016. Tekstiilejä ei saa viedä enää kaatopaikalle – oikeita osoitteita ovat keräykset, kirpputorit ja polttouuni. Yle 29.8. <<https://yle.fi/uutiset/3-9127058>> (luettu 25.10.2017).

Kestavakehitys.fi n.d. Lähestymistapoja. <<http://kestavakehitys.fi/kestavakehitys/lahestymistapoja>> (luettu 5.9.2017).

Kivipelto, Arja 2015. Pukeudumme pian puuhun – vallankumouksellinen ioninen liutin muuttaa koivun, kuusen ja männyn kankaaksi. Helsingin Sanomat 22.12. <<http://www.hs.fi/tiede/art-2000002874216.html>> (luettu 5.7.2017).

Kokkonen, Yrjö 2014. Ympäristökatastrofi saavutti huippunsa: Araljärven pääallas kuivui kokonaan. Yle 29.9. <<https://yle.fi/uutiset/3-7498333>> (luettu 13.9.2017).

Koljonen, Katja 2013. Suomalaisten halpatuontivaattet kertyvät kaatopaikoille. Maaseudun Tulevaisuus 26.1. <<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/ymp%C3%A4rist%C3%B6/suomalaisten-halpatuontivaatteet-kertyv%C3%A4t-kaatopaikoille-1.32324>> (luettu 22.11.2016).

Koskenlaakso, Leena 2017. Uudenlaista liiketoimintaa selluloosasta. VTT impulssi 24.5. <<http://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Uudenlaista-liiketoimintaa-selluloosasta.aspx>> (4.10.2017).

Kääriäinen, Pirjo 2017. Designer in Residence. Aalto-yliopisto. Haastattelu: 24.10.

Kääriäinen, Pirjo & Tervinen, Liisa 2017. Lost in the Wood(s). Helsinki: Aalto ARTS Books.

Lappalainen, Elina 2015. Tekstiilikuidun tuotannon mullistava Spinnova käyntiin 2 miljoonan rahoituksella. Talouselämä 13.3. <<http://www.talouselama.fi/kasvuyritykset/tekstiilikuidun-tuotannon-mullistava-spinnova-kayntiin-2-miljoonan-rahoituksella-3472974>> (luettu 29.8.2017).

Laukkanen, Tuuli 2015. Uusi myrkytön menetelmä muuntaa selluloosan tekstiilikuiduksi. Tampereen teknillinen yliopisto. <<http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/uutiset-ja-tapahtumat/vaitostiedotteet/uusi-myrkyton-menetelma-muuntaa-selluloosan-tekstiilikuiduksi-x089264c2>> (luettu 6.9.2017).

Lenzing 2008. Focus Sustainability: Sustainability in the Lenzing Group 2008. <http://www.lenzing.com/fileadmin/template/pdf/konzern/nachhaltigkeit/Sustainability_Brochure_2008_EN.pdf> (luettu 26.10.2017).

Lenzing n.d. a. Eucalyptus. Ecological through and trough. <<http://www.lenzing.com/sites/botanicprinciples/website/sustainability03.htm>> (luettu 29.8.2017).

Lenzing n.d. b. TENCEL®. <<http://www.lenzing-fibers.com/en/tencel/the-fiber/>> (luettu 26.10.2017).

Lenzing n.d. c. TENCEL®: The new age fiber. <http://www.lenzing.com/fileadmin/template/pdf/responsibility/sustainability-snapshots/sustainability-snapshots-lenzing_tencel-textile.pdf> (luettu 29.10.2017).

Lenzing n.d. d. Lenzing Modal®: Softness by Edelweiss® fiber technology. <http://www.lenzing.com/fileadmin/template/pdf/responsibility/sustainability-snapshots/sustainability-snapshots-lenzing_modal.pdf> (luettu 29.10.2017).

Luotola, Janne 2013. VTT visioi: Suomalainen selluloosa korvaa puuvillan ja polyesterin. Tekniikka & Talous 2.10. <<http://www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/2013-10-02/VTT-visioi-Suomalainen-selluloosa-korvaa-puuvillan-ja-polyesterin-3315479.html>> (luettu 29.8.2017).

Malaska 1994. Kestävä kehitys: Raportti määritelmää pohtineen työryhmän keskusteluista 18. huhtikuuta 1994.
 <<http://kestavakehitys.fi/documents/2167391/2186383/Professori+Pentti+Malaskan+johdettavan+ty%C3%B6ryhm%C3%A4n+laatima+muistio+kest%C3%A4v%C3%A4n+kehityksen+m%C3%A4%C3%A4ritelm%C3%A4st%C3%A4/28316bb9-f140-4560-bdf0-e6053e5bec16>> (luettu 4.9.2017).

Manninen, Olli 2013. Sellu on Suomen samppanjaa. Paperi ja puu 18.10.
 <<http://www.paperijapuu.fi/sellu-on-suomen-samppanjaa/>> (luettu 5.9.2017).

Meriläinen, Ulla 2016. Puu taipuu Tampereella pipaksi – sellusta voi tehdä paljon muutakin kuin paperia. Yle. 18.10. <<https://yle.fi/uutiset/3-9227540>> (luettu 31.10.2017).

Moilala, Outi 2009. Puuvillan ympäristövaikutukset. <<http://www.eetti.fi/node/740>> (luettu 5.9.2017).

MTV Katsomo 2017. Stora Ensolta miljoonainvestoinnit liukoselluun. 25.10.
 <<https://www.katsomo.fi/#!/jakso/33001022/uutisjutut/830591/stora-ensolta-miljoonainvestoinnit-liukoselluun>> (katsottu 27.10.2017).

Mäki-Petäjä, Päivi 2016. Tästäkö Suomelle uusi vientihitti? Huonokuntoisinkin tekstiilijäte saadaan hyötykäyttöön. MTV 11.9.
 <<https://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/tastako-suomelle-uusi-vientihitti-huonokuntoisinkin-tekstiilijate-saadaan-hyotykykaytoon/6064974#gs.g5JQ3p0>> (luettu 25.10.2017).

Mäntyranta, Hannes 2017. Puukuitutekstiilejä kehitetään useissa hankkeissa – luvassa on valtavat markkinat. Metsäyhdistys 3.5.
 <<https://www.smy.fi/artikkeli/puukuitutekstiileja-kehitetaan-useissa-hankkeissa-luvassa-on-valtavat-markkinat/>> (luettu 4.10.2017).

Niinimäki, Kirsi 2017. Sustainable Fashion in Circular Economy Seminar. Lecture 11.10. Helsinki.

Niinimäki, Kirsi, Smirnova Eugenia & Tanttu, Marjaana 2017. Designing for the Circular Economy. Kääriäinen, Pirjo & Tervinen Liisa (toim.): Lost in the Wood(s). Helsinki: Aalto ARTS Books. 92–101.

Nurmilaakso, Tiia 2017. Ratkaisu tekstiilijätevuoriin: näin T-paitasi syntyy uudelleen. Yle 13.10. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2017/10/13/ratkaisu-tekstiilijatevuoriin-nain-t-paitasi-syntyy-uudelleen>> (luettu 13.10.2017).

Nykänen, Timo n.d. Maailmanluokan supermateriaali. Metsä Fibre.
 <<http://www.metsafibre.com/fi/echo/Pages/Maailmanluokan-materiaali.aspx>> (luettu 5.9.2017).

Pure Waste Textiles n.d. The Challenge. <<http://purewastetextiles.com/the-problem-page/>> (luettu 18.4.2017).

Puukka, Päivi 2017. Toimittajalta: kuka haluaa pukeutua selluloosakarbamaattiin?. Yle 13.10. <<https://yle.fi/uutiset/3-9877280>> (luettu 16.10.2017).

Pölkki, Minna 2016. Miten tunnistaa laadukkaan vaatteen? Lähdimme ostoksille asiantuntijan kanssa: ”Tästä mekkokankaasta olisi pitänyt tehdä vain verhot”. Helsingin Sanomat 28.11. <<http://www.hs.fi/kotimaa/art-2000004884217.html>> (luettu 28.11.2016).

Rissanen, Marja 2017. Research Fellow. Aalto-yliopisto. Haastattelu: 24.10.

Rummukainen, Anu 2017. Stora Enso tekee 94 miljoonan euron investoinnit Uimaharjun ja Imatran tehtaille. Yle 25.10. <<https://yle.fi/uutiset/3-9899343>> (luettu 30.10.2017).

Runnel, Ann 2017. Sustainable Fashion in Circular Economy Seminar. Lecture 11.10. Helsinki.

Räisänen, Riikka, Rissanen, Marja, Parviainen, Erja & Suonsilta, Helena 2017. Tekstiilien materiaalit. Helsinki: Oy Finn Lectura Ab.

Sandell, Markku 2016. Metsästä saadaan vaatteita suomalaistekniikoilla – vanhat farkutkin kelpaavat kiertoon. Yle 14.12. <<https://yle.fi/uutiset/3-9320919>> (luettu 4.10.2017).

SoCo 2009. Suolaantumisen ja natriumin lisääntyminen. <<http://agrillife.jrc.ec.europa.eu/documents/FIFactSheet-04.pdf>> (luettu 13.9.2017).

Suojanen, Ulla 1995. Vihreät Tekstiilit: Tekstiilien ympäristövaikutuksista. Helsinki: Yliopistopaino.

Suomen tekstiili ja muoti n.d. Orgaaniset kuidut. <<https://www.stjm.fi/toiminta-alueemme/tekstiilimateriaalit/tekokuidut/orgaaniset-kuidut/>> (luettu 10.9.2017).

The Editors of encyclopaedia Britannica n.d. Guano. Encyclopaedia Britannica. <<https://www.britannica.com/topic/guano>> (luettu 19.9.2017).

Vastamäki, Kati 2016. Puusta pipaksi ja paidaksi. Rajapinta Tiedelehti. 4. <<http://www.tut.fi/rajapinta/artikkelit/2016/4/puusta-pipaksi-ja-paidaksi>> (luettu 31.10.2017).

Vehviläinen, Marianna 2015. Wet Spinning of Cellulosic Fibres from Water-Based Solution Prepared from Enzyme-Treated Pulp. Väitöskirja. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. <https://tutcris.tut.fi/portal/files/3087489/vehvilainen_1312.pdf> (luettu 6.9.2017).

Virtanen, Sofia 2015. Uusi asetus voimaan Suomessa – Muun muassa vaatteiden vienti kaatopaikalle kielletään. Tekniikka & Talous 30.11.
<http://www.tekniikkatalous.fi/tiede/kestava_kehitys/uusi-asetus-voimaan-suomessa-2016-muun-muassa-vaatteiden-vienti-kaatopaikalle-kielletaan-6092629> (luettu 25.10.2017).

VAU 2017. Lumpusta syntyy priimaa muotivaatetta – lahtelainen keksintö näyttää mainetta ja kunniaa. Vastuullisuus uutiset 10.11.
<http://www.vastuullisuus uutiset.fi/index.php?page_id=34795> (luettu 14.11.2017)

Yle 2012. Vaatteiden kerskakulutus uhkaa ympäristöä. Yle 22.3.
<<http://yle.fi/aihe/artikkeli/2012/03/22/vaatteiden-kerskakulutus-uhkaa-ymparistoa>> (luettu 22.11.2016).

Haastattelukysymykset

Haastattelu

1. Soveltuuko materiaali samoihin käyttötarkoituksiin kuin puuvilla?
2. Soveltuuko materiaali hyvin trikootuotteisiin, kuten t-paitoihin?
3. Minkälaisia ominaisuuksia materiaalilla on? Onko joitain huonoja ominaisuuksia?
 - 3.2 Entä puuvillaan verrattuna (Onko yhtä kestävä? Minkä tuntuinen? Nyppyntytykö helpommin?)
4. Minkälaisia ympäristövaikutuksia materiaalilla on?
 - 4.2 Entä puuvillaan verrattuna?
5. Milloin kuluttaja voi ostaa materiaalista valmistettuja vaatteita?
6. Tulisiko uusilla teknologioilla tuotetuista materiaaleista nykyisiä kalliimpia? Jos tulisi, mikä kustannusten nousun aiheuttaisi ja minkä verran hinta nousisi?
7. Voitaisiinko materiaalin valmistus kokonaisuudessaan toteuttaa Suomessa? Jos ei, niin missä?
8. Minkälainen tulevaisuuden visio teillä on materiaalin suhteen?
9. Muuta (Onko jotain muuta esimerkiksi materiaalin tuotantoon tai ominaisuuksiin liittyen, jonka haluaisit tuoda esille?)