

Anneli Auranen

Tekstiilijätteestä mekaanisesti kierrätetty kuitu ja sen soveltuvuus eri prosesseihin

Toimeksiantaja: VTT

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Vestonomi (AMK)

Vaatetusalan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

9.9.2018

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Anneli Auranen Tekstiilijätteestä mekaanisesti kierrätetty kuitu ja sen soveltuvuus eri prosesseihin</p> <p>Toimeksiantaja: VTT</p> <p>47 sivua + 2 liitettä 9.9.2018</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Vestonomi (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Vaatetusalan koulutusohjelma</p>
<p>Ohjaaja(t)</p>	<p>Lehtori Ülle Liesvirta Erikoistutkija Pirjo Heikkilä, VTT Erikoistutkija Taina Kampuri, VTT</p>
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa, miten tekstiilijätettä voidaan kierrättää mekaanisesti ja mitkä ovat niitä ominaisuuksia kierrätetyissä kuiduissa, jotka määrittelevät sen soveltuvuuden erilaisiin jatkoprosesseihin. Lisäksi työssä tutkitaan mihin mekaanisesti kierrätettyä kuitua tänä päivänä voidaan hyödyntää ja millaista potentiaalia sen käytössä on.</p> <p>Työn toimeksiantaja on VTT ja se tehtiin osana Telaketju-hankekokonaisuutta, jonka tavoitteena on edistää tekstiilijätteiden ja poistotekstiilien hyötykäyttöä, sillä vuoteen 2025 mennessä Suomeen tulee jätelain direktiivin muutos, joka edellyttää erillisten tekstiilikeräyspisteiden järjestämistä.</p> <p>Tutkimusmetodina tässä opinnäytetyössä käytettiin kirjallisuusselvitystä sekä teemahaastattelua. Työn teoreettisessa osiossa selvitetään, millaisilla menetelmillä tekstiilejä on mahdollista kierrättää ja mikä on se prosessi, joka tarvitaan, että jätteen hyödyntämisestä saadaan hallittua ja tehokasta.</p> <p>Toiminnallisessa osuudessa tässä työssä haastateltiin asiantuntijoita neljästä Telaketju-hankkeessa mukana olevasta yrityksestä. Näillä yrityksillä, Pure Waste Textilesilla, Finlaysonilla, Suomisella ja Papticilla on kaikilla joko kokemusta tai halukkuutta kokeilla tekstiilikuitujen mekaanista kierrätystä liiketoiminnassaan.</p> <p>Työn johtopäätöksiä voidaan todeta, että tekstiilien mekaaninen kierrätys on vastaus tekstiilijäteongelmaan siihen saakka, kunnes kemiallinen kierrätys saadaan kehitettyä teolliseen mittakaavaan. Tekstiilikuitu lyhenee mekaanisessa kierrätysprosessissa, joten menetelmien hallitseminen on avainasemassa, jotta kuitu saadaan säilytettyä mahdollisimman käyttökelpoisena. Lisäksi tekstiilien lajittelu- ja tunnistusteknologian kehittäminen ovat edellytyksiä kannattavan liiketoiminnan synnyttämiselle.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>mekaaninen kierrätys, pre consumer -tekstiilijäte, post consumer -tekstiilijäte</p>

Author(s) Title Number of Pages Date	Anneli Auranen Reclaimed Fiber and Its Suitability for Different Processes 47 pages + 2 appendices 9 September 2018
Degree	Bachelor of Fashion and Clothing
Degree Programme	Fashion and Clothing
Instructor(s)	Ülle Liesvirta, Lecturer Pirjo Heikkilä, Senior Scientist, VTT Taina Kamppuri, Senior Scientist, VTT
<p>The aim of this thesis, was to describe the mechanical recycling process of textile waste and to examine the fiber properties that determine its suitability for the following processes. In addition, the thesis explores where reclaimed fibers can be used today and what kind of potential there still is in their use. The subscriber of the thesis was VTT Technical Research Center Finland and it is a part of the Telaketju project. The aim of the project is to develop textile recycling in Finland.</p> <p>The research methods used in this thesis were literature searches and interviews. The theoretical part of the thesis, explores the different ways to recycle textiles and how the mechanical textile recycling process should be managed, in order to make it controlled and efficient.</p> <p>The practical part of the thesis included interviews with different specialists. The specialists were selected for their experience or willingness to try mechanical textile recycling in their business. The following companies were interviewed: Pure Waste Textiles, Finlayson, Suominen and Paptic.</p> <p>In conclusion, mechanical recycling can be seen as the answer to a major textile waste problem until the chemical recycle process has been developed and becomes commercially viable. Textile fibers are shortened as a result of the mechanical recycling processes and therefore mastering the technology and methods are crucial for preserving the fiber length. The need for developing textile sorting and identification technology is also essential, in order to develop profitable businesses in textile recycling.</p>	
Keywords	mechanical recycling, pre consumer textile waste, post consumer textile waste

Sisällys

1	Johdanto	2
1.1	Lähtökohdat opinnäytetyölle	3
1.2	Tavoitteet ja rajaus	3
1.3	VTT:n ja Telaketju-hankkeen esittely	4
1.3.1	Pure Waste Textiles	5
1.3.2	Finlayson	6
1.3.3	Paptic Oy	7
1.3.4	Suominen	8
2	Teoreettinen viitekehys	9
2.1	Keskeisten käsitteiden avaaminen	10
2.2	Lainsäädäntö Suomessa	11
2.3	Keräys ja lajittelu	12
2.3.1	Keräys	12
2.3.2	Lajittelu ja tunnistaminen	13
2.4	Kierrätysmenetelmät	15
2.5	Mekaanisesti kierrätetty kuitu neitseellisen puuvillan korvaajana	16
3	Tutkimusmenetelmän valinta ja tutkimuskysymykset	17
3.1	Tutkimuskysymykset	17
3.2	Teemahaastattelu	18
3.3	Tutkittavien yritysten valinta ja aineiston hankinta	18
3.4	Haastatteluaineiston analyysi	19
4	Mekaaninen kierrätys	20
4.1	Lajittelu	21
4.2	Kuiduksi avaaminen	23
4.2.1	Giljotiinileikkaus	23
4.2.2	Revintäprosessi	24
4.2.3	Kuitujen sekoittaminen	25
4.3	Langat	25
4.3.1	Prosessit	26
4.3.2	Kuidun soveltuvuus	27
4.3.3	Langankehruudemo	30
4.4	Kuitukankaat	33
4.4.1	Prosessit	34
4.4.2	Kuidun soveltuvuus	36
4.5	Käyttökohteet	37
4.5.1	Vaatetus	37
4.5.2	Kodintekstiilit	38

4.5.3	Tekniset	38
4.5.4	Palveluliiketoimintakonseptit	39
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	40
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelulomake	
	Liite 2. Asiantuntijahaastattelut (Liite vain työn tilaajan käyttöön)	

Lyhenteet

AP	Acidification potential. Happamoitumisen potentiaali.
CCA	Selluloosakarbamaatti.
CCMS	Tuotteiden reaaliaikainen seurantajärjestelmä.
CO₂	Hiilidioksidi.
EP	Eutrophication potential. Rehevöitymisen potentiaali.
GWP	Global warmth potential. Ilmaston lämpenemis-potentiaali.
NIR	Near infrared. Materiaalien tunnistamis-teknologia.
PO₄³⁻	Fosfaattipäästö.
RFID	Radio frequency identification. Radiotaajuinen etätunnistusmenetelmä.
SO₂	Rikkidioksidi.

1 Johdanto

Muoti- ja vaateteollisuus on maailman toiseksi eniten saastuttava teollisuusmuoto, joka on kasvanut merkittävästi viimeisten kahden vuosikymmenen aikana fast fashion -ilmiön seurauksena. Fast fashion eli suomeksi pikamuoti perustuu muodin nopeaan kiertokulkuun ja edullisiin hintoihin, ja ilmiön myötä vaatteiden kulutus on lisääntynyt huomattavasti. Vaateteollisuuden kasvulle ei nähdä loppua, joten tekstiilialan yritykset ovat havahduneet luonnonvarojen rajallisuuteen ja siihen, että tällä kulutusnopeudella ne tulevat loppumaan. Lisäksi tekstiilijäte jota syntyy maailmanlaajuisesti vuosi vuodelta enemmän, on merkittävä ympäristöongelma. Tekstiilijätteelle ei ole vielä löydetty riittävästi tehokkaita uudelleenkäyttötarkoituksia vaan se päättyy suurelta osin polttojätteeksi. Nykyisen kuluttamiseen ja tuotteen poisheittämiseen perustuvan lineaarisen talousjärjestelmän tilalle halutaan kehittää kiertotalous, joka pohjaa neitseellisen materiaalin sekä energian käytön vähentämiseen ja olemassa olevan tekstiilijätteen hyödyntämiseen raaka-aineena. (Syke 2018.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mekaanisen kierrätyksen mahdollisuuksia poistotekstiilien hyödyntämisessä sekä kartoitetaan millaisia vaatimuksia kierrätysprosessit edellyttävät tekstiilijätteelle. Lisäksi tarkastellaan millaisia laatukriteerejä mahdolliset lopputuotteet asettavat käytettävälle raaka-aineelle eli miten tekstiilijäte tulisi lajitella, jotta sitä voitaisiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti ja monipuolisesti.

Työssä toteutettu tutkimus on kvalitatiivinen, puolistrukturoitu teemahaastattelu, jossa tavoitteena on koota tekstiilialan asiantuntijoiden näkökulmia mekaanisen kierrätyksen mahdollisuuksiin sekä saada arvokasta tietoa jo tehdyistä kokeiluista tämän kierrätysmenetelmän osalta. Vaikka tekstiilien mekaaninen kierrätys ei ole uusi keksintö (Leonas 2017, 60) ja sitä on ennen tekokuitujen yleistymistä tehty suhteellisen paljon, on teknologia viimeisten vuosikymmenien aikana mennyt merkittävästi eteenpäin ja tarkoituksena olisi nyt löytää uusia tehokkaita ja kannattavia liiketoimintamahdollisuuksia tuottavia ratkaisuja. Myös kuluttajien arvojen muuttuminen ekologiseen suuntaan on trendi, joka luo tällä hetkellä hyvät edellytykset kiertotalouden kannattavuudelle tekstiilialalla. (ibid)

Tämä opinnäytetyö koostuu viidestä pääluvusta, joista ensimmäisessä esitellään Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Telaketju-hanke, jotka ovat olleet toimeksiantajana tälle työlle. Lisäksi esitellään teemahaastatteluun valitut asiantuntijayritykset. Työn toisessa pääluvussa muodostetaan teoreettinen viitekehys, jonka tavoite on etsiä syitä tekstiilien kierrätystarpeelle sekä selvittää kierrätyksen haasteita ja menetelmiä. Kolmannessa

pääluvussa esitellään tutkimusmenetelmä ja miten tässä työssä tehty puolistrukturoitu teemahaastattelu toteutettiin. Neljännessä luvussa syvennyttään mekaaniseen kierrätykseen menetelmänä sekä tarkastellaan mihin tällä metodilla kierrätetty tekstiiliaines soveltuu. Lopuksi kerrotaan mihin johtopäätöksiin tutkimuksen perusteella päästiin sekä esitetään jatkotutkimusehdotukset.

1.1 Lähtökohdat opinnäytetyölle

Tämä opinnäytetyö on tehty VTT:n toimeksiantona ja liittyy Telaketju-hankkeeseen, joka etsii ratkaisuja tekstiilien kiertotalouden synnyttämiseksi Suomessa. Telaketju koostuu useasta teemasta ja tämä työ on osa kokonaisuutta, jossa mietitään kierrätyskuidun laatuksia niin prosessien kuin lopputuotteiden kannalta.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Työn tavoite on selittää, miten poistotekstiiliä voidaan kierrättää mekaanisella menetelmällä ja mitkä ovat ne mekaanisesti kierrätetyn kuidun ominaisuudet, jotka määräävät sen hyödynnettävyyden jatkoprosesseissa. Päämääränä on myös selvittää mihin mekaanisesti kierrätettyä kuitua tänä päivänä voidaan käyttää sekä selvittää millaisia potentiaalia sen käytössä on. Työ keskittyy käsittelemään puuvillaa sekä sitä sisältäviä seoksia, sillä mekaaninen kierrätys soveltuu parhaiten puuvilla- ja villatekstiileille. Villatuotteiden kierrättämisestä on jo Metropolia Ammattikorkeakoulun toimesta toteutettu Kiertovillasta kasvuun -hanke, jossa tutkittiin villan kierrätyksen mahdollisuuksia.

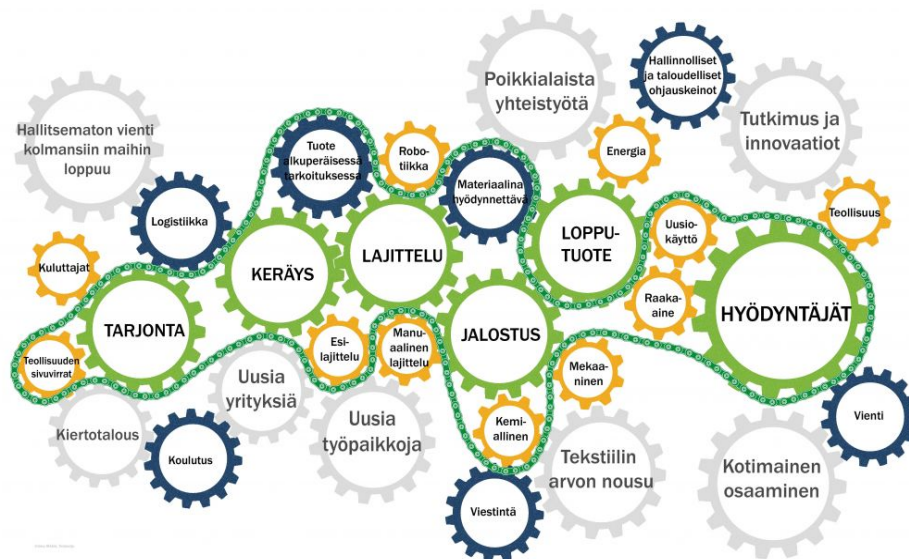
Opinnäytetyön tavoitteena on kuituominaisuuksien kartoittamisen lisäksi myös inspiroida lisää tekstiilialan yrityksiä näkemään mahdollisuuksia kierrätetyn kuidun käytössä. Työstä rajattiin pois kuitujen käyttö muissa kuin tekstiiliprosesseissa. Kierrätetyt kuidut soveltuvat myös esimerkiksi komposiittirakenteisiin, mutta sitä ei tässä työssä käsitelty.

1.3 VTT:n ja Telaketju-hankkeen esittely

Teknologian tutkimuskeskus VTT on Suomen valtion omistama teknologia- ja tutkimusorganisaatio, joka kehittää erilaisia uusia innovaatioita ja ratkaisuja monille teollisuudenaloille julkisella ja yksityisellä sektorilla. VTT:n panos tekstiilialalle tällä hetkellä on merkittävä, sillä se on kehittänyt mm. selluloosakarbamaattiteknologiaa (CCA), joka on yksi ensimmäisistä kemiallisen kierrätyksen innovaatioista, jossa poistopuuvillasta eli kuluttajilta kerätystä lumpusta on onnistuttu tekemään uutta tekstiilikuitua. Menetelmä muistuttaa viskoosiprosessia mutta on sitä ympäristömyötäväisempi, sillä siinä ei käytetä lainkaan rikkihiiltä. Selluloosakarbamaatin lisäksi VTT on kehittänyt biohajoavia kuitukan-kaita, joiden raaka-aineina voidaan käyttää kierrätyskartonkia tai paperia.

VTT on mukana Telaketju-hankekokonaisuudessa, joka on jatkoa vuonna 2016 tehdylle Tekstiili 2.0 pilottihankkeelle ja sen tavoitteena on edistää tekstiilijätteen ja poistotekstiilien hyötykäyttöä Suomessa. VTT:lle tämä on jatkoa TEKI (Tekstiilien suljettu kiertotalous) -hankkeesta, jossa testattiin selluloosakarbamaatin valmistusta sekä tutkittiin suljetun tekstiilikierron mahdollisuuksia. VTT koordinoi Telaketju-hankkeen Tekes-rahoit-teista osuutta. Ympäristöministeriön rahoittamaa osuutta hankkeessa koordinoi Lounais-Suomen Jätehuolto.

Telaketjun päämääränä on perustaa Suomeen toimiva tekstiilien keräys- ja lajitteluverkosto, mutta myös löytää yrityksiä ja tahoja jotka haluavat tehdä kiertotaloudesta kannattavaa liiketoimintaa. On tärkeää kehittää koko ekosysteemiä yhtäaikaaisesti ja koota yhteen monialaista suomalaista osaamista, sillä ei ole järkeä kerätä tekstiilijätettä, jollei sille ole hyödyntäjiä. Telaketjussa on siis mukana tekstiilien keräystä, tunnistamista, jatkojalostamista, tuotekehitystä sekä lopputuotteita kehittäviä ja hyödyntäviä yrityksiä. Hankkeen toivotaan lisäävän tulevaisuudessa poistotekstiileistä saatavaa arvoa, työpaikkoja sekä liiketoimintamahdollisuuksia. (Tekstiili 2.0 Poistotekstiilipilotti 2018b.) Kuvasta 1 ilmenee, miten moninaisesta hankkeesta Telaketjussa on kysymys ja mitä kaikkea sen alla halutaan kehittää.



Kuva 1. Telaketju-hankkeen kehityskohteet.

Telaketju-hankkeessa on mukana monia tekstiilialan yrityksiä sekä muita toimijoita ja yksi sen tavoitteista onkin yritysten keskinäinen verkostoituminen sekä yhteistyön lisääminen alalla. Seuraavissa alaluvuissa esitellään Pure Waste Textiles, Finlayson, Suomenen sekä Paptic. Nämä ovat yrityksiä, joiden asiantuntijoita tähän opinnäytetyöhön on haastateltu. Valituilla yrityksillä on kaikilla joko kokemusta tai halukkuutta kokeilla tekstiilikuitujen mekaanista kierrätystä liiketoiminnassaan.

1.3.1 Pure Waste Textiles

Pure Waste Textiles on vuonna 2013 perustettu yritys, jonka liiketoiminta perustuu tekstiilijätteen uusiokäyttöön. Yritys käyttää raaka-aineenaan tekstiiliteollisuudesta ylijäävää leikkuujätettä, jota syntyy keskimäärin 15 % ompelimoiden leikkuuprosesseissa. Pure Waste on löytänyt oikeat kumppanit ja kehittänyt tuotantoprosessin, jossa leikkuujätteen jäävä materiaali saadaan uudelleen hyötykäyttöön mekaanisella kierrätysprosessilla. Tekstiilijäte kerätään talteen, lajitellaan värin ja laadun mukaan, revitään kuiduksi ja siitä kehrätään uudelleen lankaa ja valmistetaan lopulta kangasta. Tuotantoprosessi on huomattavasti neitseellisten materiaalien käyttöön perustuvaa tuotantoa ekologisempi, sillä tuotteita ei värjätä ja puuvillan viljelyyn kuluva suuri vesimäärä säästetään.

Lisäksi prosessissa käytetystä vedestä 90 % kerätään talteen ja kierrätetään. (Suomen Tekstiili ja Muoti 2015.)

Tähän opinnäytetyöhön on haastateltu Jukka Pesolaa, joka on yksi Pure Waste Textilesin perustajista ja omistajista. Pure Waste Textiles on ansioitunut teollisuudesta saatavan pre consumer -tekstiilikuidun mekaanisessa kierrättämisessä ja yrityksen tahtotila on tulevaisuudessa laajentaa prosessiaan vaateteollisuuden haastavampaan materiaaliin eli kuluttajilta saatavaan, huomattavasti heterogeenisempään, post consumer -tekstiilijätteeseen. Tämän opinnäytetyön fokus on käsitellä mekaanisen kierrätysprosessin sekä lopputuotteiden valmistajien asettamia laatukriteerejä post consumer -tekstiilijätteelle, joten myöhemmin tässä työssä kerrotaan Jukka Pesolan ja Pure Waste Textilesin kokemuksia ja näkemyksiä toimivista ratkaisuista.

1.3.2 Finlayson

Finlayson on skotlantilaisen James Finlaysonin vuonna 1820 perustama yritys, jolla on monivaiheinen ja uraauurtava historia Suomen tekstiiliteollisuudessa. Se on kokenut niin kukoistavan aikakautensa, jolloin Tampereen puuvillatehtaan ympärille kehittyi kokonainen yhteiskunta omine palveluineen (Lindfors 1938, 5–7.), kuin kovan laskusuhdanteen 1980-luvusta eteenpäin. Vuonna 2014 Finlayson on tehnyt uuden, voimakkaan tulevaisuuden uusien omistajiensa myötä ja yritys on saavuttanut viime vuosina merkittävää kasvua; vuonna 2016 yritys kasvoi 53 %. Finlayson on tehnyt vuoteen 2020 ylettyvän vastuullisuuden tavoiteohjelman, jossa se kertoo pyrkivänsä pienentämään hiilijalanjälkeään ja löytämään tuotantoonsa uusia, ekologisempia materiaaleja. (Finlayson 2016, 5–7, 21.) Telaketju-hankkeeseen yritys on lähtenyt mukaan juuri kiinnostuksenkohteenaan löytää poistotekstiileistä saatavia uusia materiaaleja käyttöönsä.

Tähän opinnäytetyöhön on haastateltu Finlaysonilta Elli Ojalaa, joka on yrityksen Corporate Responsibility Manager. Finlaysonilla on tällä hetkellä myynnissä post consumer -jätteestä mekaanisella menetelmällä valmistettuja farkkupyhyhkeitä sekä pre consumer -leikkuujätteestä valmistettuja flanelilakanoita. Ojalan mukaan post consumer -tekstiilijätteen hyödyntäminen on se mihin Finlaysonilla on erityinen mielenkiinto, sillä se on haastavin tekstiilijätteen muoto mutta samalla ratkaisevin, kun puhutaan ympyrän sulkemisesta ja kiertotaloudesta.

Finlayson on ostanut kierrätystuotteidensa tuotannon ulkomaalaisilta yhteistyökumppaneilta, joten sillä ei varsinaisesti ole kokemusta menetelmien vaatimista laatuksiteereistä, mutta myöhemmin tässä työssä kerrotaan Ojalan kommentteja lopputuotteiden asettamista vaatimuksista.

1.3.3 Paptic Oy

Paptic Oy on suomalainen vuonna 2015 perustettu, VTT:ltä alun perin lähtenyt spin off-yritys joka valmistaa patentoimallaan teknologialla kuitutuotteita ja pakkausmateriaaleja. Papticilla on Espoossa laboratorio sekä pilotointilaitte, jolla on pystytty tekemään erilaisia tuotteita ja tällä hetkellä yritys hakee rahoitusta ja kumppaneita, jotta vuonna 2019 tuotantoa voitaisiin laajentaa teolliseen mittakaavaan.

Papticin käyttämä teknologia muistuttaa paperin valmistusta ja yrityksen tavoitteena onkin hyödyntää Suomessa olemassa olevaa, metsäteollisuudelta vapautunutta paperinvalmistuskapasiteettia ja infrastruktuuria. Papticin ensimmäinen tuote on ollut ostokassi, jolla voidaan korvata perinteisiä muovi- ja paperikasseja. Muovikassien kieltäminen on tullut voimaan monissa yrityksissä niin Suomessa kuin maailmalla, joten merkittävät markkinat Papticille ovat jo olemassa. (VTT 2017a.) Papticin ostokasseissa käyttämä materiaali on puusta saatava selluloosa mutta itse tuote on paperia kestävämpää, kevyempää ja pienempään tilaan menevää. (Paptic 2018.)

Tähän opinnäytetyöhön on haastateltu Papticin yhtä perustajajäsentä, Karita Kinnusta, sillä PAPTIC®-teknologialla pystytään valmistamaan erilaisia tuotteita myös tekstiilikuidusta. Mekaanisesti kierrätettyä kuitua voitaisiin Papticin menetelmällä hyödyntää, sillä se ei vaadi kuidulta pituutta, päinvastoin vaahtorainateknologia, jota Paptic käyttää, edellyttää että kuitu on pituudeltaan lyhyempää kuin langankehruumenetelmissä käytetty kuitu. Ostokassien lisäksi Paptic on valmistanut mm. lähetyskuoria sekä sisustuselementtejä, kuten lampunvarjostimia ja sermejä. (Kinnunen 2018.)

Paptic on mukana Telaketju-hankkeessa, sillä yritys näkee käyttämänsä teknologian erittäin käyttökelpoisena post consumer -jätettä jatkojalostettaessa. He ovat jo testanneet Pure Wastelta saatua pre consumer -leikkuujättekuitua erilaisina seoksina muiden kuitujen ja selluloosan kanssa hyvin tuloksin ja tietävät että menetelmä tulee sopimaan myös

post consumer -tekstiilijätteen käsittelyyn. Seuraavaksi yritys haluaakin päästä testaamaan ja katsomaan millaisia tuotteita siitä saadaan aikaiseksi. Lisäksi on löydettävä asiakkaalle markkinat näille tuotteille. (Kinnunen 2018.)

1.3.4 Suominen

Suominen on maailmanlaajuisesti merkittävä kuitukankaiden valmistaja ja sillä on tuotantolaitos Suomessa Nakkilassa, mutta tehtaita on sen lisäksi Yhdysvalloissa, Brasiliassa, Italiassa ja Espanjassa. Suomisella tuotettuja kuitukankaita käytetään esim. vaipoissa, kosteuspyyhkeissä ja leikkaussalituotteissa, joten todella korkea tuoteturvallisuustaso on ehdoton vaatimus. (Rahkola 2018.)

Hygieniatuotteiden kysyntä kasvaa jatkuvasti maailman kasvavan väestömäärän sekä pidentyvän eliniän myötä, joten uusia tapoja niiden tuottamiselle kehitetään koko ajan. Suominen pyrkiikin tuotannon lisäksi kehittämään innovatiivisia ratkaisuja ja kuitukankaiden käyttökohteita ja yrityksellä on valmistuslinjojen lisäksi Nakkilassa pilottilinja tuotekehitystä varten. (Suominen 2018.)

Suominen on mukana Telaketju-hankkeessa, sillä heillä on kiinnostusta kierrätetyn tekstiilikuidun käyttöön tulevaisuudessa. Mari Rahkola (Director Project Portfolio, Care) Suomiselta kertoo, että suurin haaste kierrätyskuidun käytössä heidän kannaltaan tulee olemaan tuoteturvallisuus, sillä etenkin mekaanisesti kierrätetyn kuidun alkuperän ja käyttöhistorian tuntemattomuus asettaa haasteita sen käyttöön ainakin niissä tuotteissa, joita Suominen tällä hetkellä valmistaa asiakkailleen. (Rahkola 2018.)

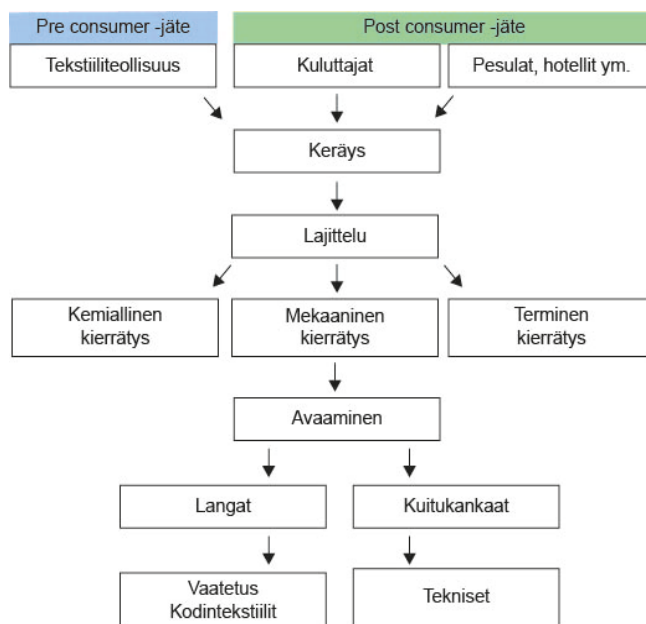
Suomisella on käytössä erilaisia teknologioita, joilla kuitukangasta valmistetaan, mutta Nakkilan tehtaalla on käytössä karstaukseen ja vesineulaustekniikkaan perustuvia kuitukankaan valmistuslinjoja. Myös tuotekehityksessä käytettävä pilottilinja, perustuu vesineulaukseen. Vesineulausteknologialla pystyttäisiin Rahkolan mukaan todennäköisesti käyttämään mekaanisesti kierrätettyä tekstiilikuitua, mikäli kuitupituus saataisiin pysymään riittävän pitkänä ja kuitujen mukana tuleva pöly saataisiin minimoitua hyvin vähäiseksi.

Rahkola pohtii kemiallisen tekstiilikuitujen kierrätyksen sopivan mahdollisesti paremmin heidän toimintaansa mutta mikäli mekaanisesti kierrätettyjen tekstiilikuitujen hygienia-taso saataisiin riittäväksi, ei sekään ole poissuljettu vaihtoehto, mikäli sopivia käyttökoh-teita keksitään. (Rahkola 2018.)

2 Teoreettinen viitekehys

Tätä opinnäytetyötä ohjaavassa teoreettisessa viitekehyksessä avataan tekstiilien me-kaaniseen kierrätykseen liittyvät keskeiset termit ja selvitetään miksi tekstiilien kierrätyk-selle on tarpeellista löytää ratkaisuja. Kerrotaan myös, millaisilla menetelmillä tekstiilejä on mahdollista kierrättää ja mikä on se prosessi, joka tarvitaan, että jätteen hyödyntämi-estä saadaan mahdollisimman hallittua ja tehokasta. Lisäksi selvitetään millaisia haas-teita ja hyötyjä tekstiilien kierrättämiseen liittyy. Kuvasta 2 voidaan nähdä mekaanisen kierrätyksen prosessi yksinkertaistettuna jätteestä uudeksi lopputuotteeksi mikä kehys-tää tämän työn teoriapohjan.

Työssä on käytetty lähteinä Telaketju-hankkeen tietokannasta saatuja raportteja ja artik-keleita, alan kirjallisuutta, kehuulaitteiden valmistajien käyttömanuaaleja sekä internet-lähteitä. Lisäksi mukana on ns. hiljaista tietoa, joka on arvokasta ja vaikeasti saatavilla olevaa informaatiota.



Kuva 2. Teoreettinen viitekehys.

2.1 Keskeisten käsitteiden avaaminen

Seuraavaksi avataan tämän työn kannalta keskeisiä käsitteitä. Telaketju-hankkeen yksi tavoitteista on yhtenäisen terminologian tuottaminen ja osa alla olevista käsitteistä on määritelty hankkeen myötä Suomen Ympäristökeskuksen erikoissuunnittelijan Hanna Salmenperän johdolla.

Elinkaariarviointi (LCA). Elinkaariarviointi on menetelmä, jolla kartoitetaan tuotteen koko elinkaaren ajalta syntyviä, ympäristöä kuormittavia, vaikutuksia. Elinkaariarviointi alkaa raaka-aineiden hankinnasta luonnosta ja loppuu tuotteen hylkäämiseen. Tähän välille mahtuu raaka-aineiden prosessointi, tuotteen valmistus, kuljetus, käyttö ja mahdollinen uudelleenkäyttö sekä huolto ja kierrätys. (Ympäristö.fi 2013.)

Poistotekstiili. Poistotekstiili on omistajalleen tarpeetonta tekstiiliä, joka sisältää sekä uudelleenkäyttöön sopivia, että tekstiilijätteeksi luokiteltavia tekstiilejä (Salmenperä 2017).

Post consumer -tekstiilijäte. Post consumer -tekstiilijäte on kuluttajilta kerättyä, sekalaista ja entuudestaan tuntematonta tekstiilijätettä. Post consumer -termille ollaan etsimässä suomenkielistä vastinetta ja sille ollaan Telaketju-hankkeen palaverissa pohdittu nimeksi esimerkiksi termiä ”kuluttajapoisto”.

Pre consumer -tekstiilijäte. Pre consumer -tekstiilijätteellä tarkoitetaan teollisuudesta saatavaa, esimerkiksi leikkuujätteen muodossa tulevaa tekstiilijätettä, josta yleensä tiedetään tarkasti sen kuitusisältö ja siinä käytetyt kemikaalit. Myös pre consumer -termille on Telaketjussa mietitty suomenkielistä nimeä ja se voisi olla esimerkiksi ”teollisuuden sivuvirta”.

Tekstiilijäte. Tekstiilijätteellä, jota puhekielessä voidaan kutsua myös lumpuksi, tarkoitetaan sellaisia tekstiilituotteita, jotka ovat likaisia, rikkinäisiä tai molempia. Tekstiilijätettä voidaan käyttää raaka-aineena tekstiilien kierrätyksessä mekaanisesti, termisesti tai kemiallisesti. (Salmenperä 2017.)

Uudelleenkäyttö. Uudelleenkäyttö tarkoittaa tekstiilien käyttöä uudelleen sen alkuperäisessä käyttötarkoituksimuodossa. Uudelleenkäyttöä on myös tekstiilin käyttöä kaana uusien tuotteiden materiaalina, esimerkiksi lakanoiden käyttöä kangaskassien materiaalina. (Salmenperä 2017.)

Uudelleenkäyttöön valmisteleminen. Uudelleenkäyttöön valmistelemisella tarkoitetaan jätteen tai sen osan tarkistamista, korjaamista tai puhdistamista niin että sitä voidaan käyttää uudelleen. (Salmenperä 2017.)

2.2 Lainsäädäntö Suomessa

Tässä luvussa kerrotaan Suomen jätelainsäädännöstä ja siitä, miten se tulee muuttumaan. Vuonna 2016 Suomessa tuli voimaan laki, jonka mukaan orgaanisen jätteen vieminen kaatopaikalle on kiellettyä. Tämä asetus tarkoittaa, että myös tekstiilien heittäminen sekajätteeseen on kiellettyä niissä kunnissa, joissa sekajätettä ei polteta vaan se viedään kaatopaikalle. Asetus on aiheuttanut kuluttajissa hämmennystä, sillä harva tietää mihin oman taloyhtiön sekajäte päättyy. Periaate on kuitenkin se, että tekstiilijätteen voi toistaiseksi edelleen hävittää sekajätteen mukana, ellei toisin ole ohjeistettu. Lainsäädännön tarkoituksena on ollut tekstiilijätteen laajempi hyödyntäminen energiana, mutta tavoitteena on myös ollut sen hyödyntäminen materiaalina. Asetuksen toteuttaminen on kuitenkin ollut pääasiassa jätehuollon, ei kuluttajan vastuulla. (Jurkko 2015.)

Vuoteen 2025 mennessä tekstiilien kierrätykseen on tulossa muutos, sillä EU:ssa on päätetty alustavasti jätelain direktiivien muuttamisesta. Tämä tarkoittaa erillisten tekstiilikeräyspisteiden järjestämistä. Muutoksen tavoitteena on edesauttaa kiertotalouden kehittämistä ja vähentää kaatopaikoille sekä polttoon päätyvän jätteen määrää. Tavoitteena on vähentää yhteiskuntajätteen määrää niin että 55 % tästä jätteestä pystyttäisiin kierrättämään vuonna 2025, 60 % vuonna 2030 ja 65 % vuonna 2035. (Mäki, 2017.) TEXJÄTE-tutkimushankkeen mukaan, vuonna 2015 tehdyssä tutkimuksessa poistotekstiileistä 30 % päättyi uusiokäyttöön, 14 % kierrätykseen ja loput 56 % päättyi sekajätteen mukaan (Syke 2015).

EU-direktiivien mukaisen tekstiilikeräyksen järjestäminen ei ole ongelma, sillä Suomessa on toimiva jätehuolto. Haasteita, joita tekstiilikeräykseen kuitenkin liittyy, on toimivan lajittelusysteemin rakentaminen ja se, että tällä hetkellä ei ole konkreettista tietoa millaista olemassa oleva tekstiilijäte on ja mihin se soveltuu. Lisäksi vielä ei ole olemassa riittävän suuria toimijoita jotka pystyisivät hyödyntämään kerättävän tekstiilijätteen.

2.3 Keräys ja lajittelu

Poistotekstiilien keräykseen ja lajitteluun ollaan juuri nyt ottamassa ensimmäisiä askelia, sillä Lounais-Suomen Jätehuolto (LSJH), joka on myös vahvasti mukana Telaketju-hankkeessa, on huhtikuussa 2018 ilmoittanut suunnittelevansa ensimmäisen poistotekstiilien jalostuslaitoksen perustamista Suomeen. Laitoksen tavoitteena on kerätä ja lajitella uudelleenkäyttöön sekä erilaisiin kierrätysmenetelmiin soveltuvat tekstiilit omiin jakeisiinsa, jotta niitä voitaisiin hyödyntää uudelleen raaka-aineena. LSJH:n yli kaksi vuotta käynnissä olleesta tekstiilien keräyskokeilusta on saatu selville että 30 prosenttia kerätystä poistotekstiilistä olisi mahdollista kierrättää mekaanisella, kemiallisella tai termisellä kierrätysprosessilla. (Mäki 2018.)

Suomessa syntyy poistotekstiiliä Suomen Ympäristökeskuksen vuosien 2013–2015 tekemän TEXJÄTE-tutkimushankkeen mukaan yli 70 miljoonaa kiloa vuodessa (Syke 2015). Luku on suuri, mutta välttämättä Suomesta saatu poistotekstiili ei riitä kaikkiin kierrätysmenetelmiin kuten esimerkiksi puuvillan kemialliseen kierrätysprosessiin (Heikkilä 2018b). Tarkoituksena olisi saada prosessi toimimaan niin hyvin, että olisi mahdollista ratkaista tekstiilijäteongelma myös Suomen lähimaiden osalta. Tämä käsittää niin prosessien, tekstiilijätteen keräämisen ja lajittelun, kuin materiaalien tunnistamisteknologian kehittämistä. Lisäksi investointeja tarvittaisiin kuidun ja langanvalmistustekniikoihin.

2.3.1 Keräys

Tekstiilien keräys tullaan jätelain direktiivin muuttumisen myötä järjestämään uudelleen. Tällä hetkellä uudelleenkäyttöön kelpaamattoman tekstiilijätteen keräystä ei ole valtion puolelta järjestetty vaan tekstiilijätettä ottavat vastaan vaatebrändit kuten esimerkiksi H&M, KappAhl ja Lindex sekä Recci, jotka myyvät keräämänsä hyväkuntoiset tekstiilit ja lähettää myyntikelvottomat vaatteet ja kengät EU-alueella sijaitseviin kierrätyskuitujen käsittelyyn erikoistuneisiin yrityksiin. Useimmat näistä vaatebrändeistä, jotka ottavat vastaan myyntikelvotonta tekstiilijätettä, tekevät yhteistyötä saksalaisen I:CO (I:Collect) -yrityksen kanssa, joka on erikoistunut tekstiilien lajitteluun sekä kierrätykseen. Suurin osa I:CO:lle päätyvästä post consumer -jätteestä käytetään tällä hetkellä auto- ja rakennusteollisuuden eristeiksi. (I:CO no date.) Muita vaihtoehtoja vanhojen, myyntikelvottomien tekstiilien kierrätykseen ovat Texvex-poistotekstiilipankit sekä Marttojen ja eläinsuojeluyhdistysten keräykset (Siippainen 2016).

Vielä ei ole päätetty, miten poistotekstiilin kerääminen tullaan Suomessa tulevaisuudessa suorittamaan. Tiukimmillaan uusi jätelain direktiivi voisi merkitä erillistä roskalaitikkomääräystä tekstiileille jokaisessa kotitaloudessa mutta toisessa, löyhemmässä ääripäässä, se voi tarkoittaa muutamaa keräyspistettä eri puolilla maata. (Nieminen 2018.) Mikäli tekstiilien jalostuslaitos saadaan toimimaan kunnolla, olisi tulevaisuudessa ehkä mahdollista käsitellä myös ulkomailta kerättyä poistotekstiiliä (Heikkilä 2018a).

Saksassa ja Hollannissa, joissa tekstiilien keräys ja kierrätys ovat jo käynnissä ja Suomea edellä, tekstiilit kerätään yhtenä jakeena, jossa on mukana niin käyttökelpoiset kuin -kelvottomat vaatteet, kengät, tyynyt ja peitot. Ohjeistuksena on kuitenkin, että kierrätykseen tulevien tuotteiden tulisi olla puhtaita. (Amgwerd ym. 2017, 10–11.)

2.3.2 Lajittelu ja tunnistaminen

Poistotekstiilien lajittelussa tullaan todennäköisesti käyttämään sekä manuaalista että koneellista lajittelua. Tekstiilien lajittelussa tulee noudattaa jätelain asettamaa etusijaisjärjestystä, jonka mukaan tulee ensisijaisesti pyrkiä välttämään jätteen syntymistä ja toisena mikäli jätettä tulee, se pitää käyttää uudelleen tai valmistella uudelleenkäytettäväksi. (Ympäristöministeriö 2015.) Uudelleenkäytettävien, korkeamman myyntiarvon tuotteiden erottamiseen tarvitaan koulutettua työvoimaa. Lisäksi manuaalista lajittelua tullaan tarvitsemaan pilaantuneiden tekstiilien ja keräykseen kuulumattomien tuotteiden poistoon. (Cura, Heikkilä, Hinkka, Kamppuri, Knuutila, Lehtinen, Pitkänen & Zitting 2018.) Jätelain etusijaisjärjestyksen mukaan (Ympäristöministeriö 2015) sellaiset tuotteet joita ei voida uudelleen käyttää, tulee ensisijaisesti hyödyntää aineena eli tekstiilien tapauksessa ne tulisi kierrättää mekaanisesti, kemiallisesti tai termisesti. Viimeinen vaihtoehto etusijaisjärjestyksen mukaan on jätteen hyödyntäminen energiana eli polttaminen, joka vielä toistaiseksi on ollut yleisin tapa hävittää tekstiilijäte Suomessa sekä maailmalla, mutta johon Telaketju-hanke hakee ratkaisua.

Tekstiilien tunnistamiseen ja lajitteluun kehitetään koneellisia, teknologiaa hyödyntäviä ratkaisuja niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Suomessa tekstiilijätteen tunnistusteknologiaa on kehittänyt mm. ZenRobotics sekä Lahden Ammattikorkeakoulu (LAMK), joka on ostanut NIR (*near infrared*) -analysointilaitteen ja kehittänyt sen ympärille tekstiilien tunnis-

tus- ja lajittelulaitteistoa. NIR-teknologiaa käytetään mm. elintarviketeollisuudessa laaduntarkkailussa sekä tullin toimesta huumausaineiden tunnistamisen yhteydessä. (Cura ym. 2018.)

LAMKin kehittämä tunnistus- ja lajittelulaitteisto pyrkii olemaan kustannustehokas tutkimus- ja kehitystyöhön soveltuva järjestelmä, joka tunnistaa luotettavasti eri tekstiililajituja. Laitteisto voitaisiin myöhemmin skaalata Suomessa pk-yritysten käyttöön esimerkiksi kierrätyskeskuksille, mikäli se saadaan toimimaan toivotulla tavalla. (Cura, 2017.) Haasteita tunnistukseen tällä hetkellä aiheuttaa monimutkaisia kuituseoksia sisältävät tuotteet, joiden kierrättäminen on myös vaikeampaa kuin yhtä kuitutyyppiä sisältävän tekstiilijätteen (Zitting 2018).

Euroopassa on myös kehitetty IR-teknologiaa hyödyntävä Fibersort-järjestelmä Interegg-hankkeen toimesta. Hanketta koordinoi hollantilainen Circle Economy ja järjestelmää kehittää mm. belgialainen Valvan Baling Systems. Järjestelmä pystyy tunnistamaan 14 eri tekstiilikuitutyyppiä, joihin kuuluu sekä puhtaita kuitulaatuja että seoksia. Lisäksi Fibersort-järjestelmään voidaan asentaa muun muassa konenäkösensoreita, jotka mahdollistavat värien mukaisen lajittelun. (Zitting 2018.)

Tekstiilijätteen lajittelun helpottamiseksi ollaan tunnistuslaitteiden lisäksi kehittämässä erilaisia seurantajärjestelmiä, joilla pystyttäisiin koodaamaan tuotteen sisältämät kuidut, kemikaalit, prosessit ja muut tuotteen kannalta oleelliset tiedot. Tällainen seurantajärjestelmä on esimerkiksi CCMS-seurantajärjestelmä, jossa tuote saa tuotantoketjun alussa viiva- tai QR-koodin, johon tallennetaan tietoa kaikista tuotantovaiheista reaaliajassa. (CCMS 2018.) Toinen mahdollinen seurantajärjestelmä on RFID (*radio frequency identification*) -tagit tai siru, joka voidaan liimata tuotteeseen tai sisällyttää siihen sen valmistusvaiheessa. RFID-tunnisteita on jo olemassa monissa uusissa vaatteissa, mutta ne on sijoitettu useimmiten tuotteen pesu- tai riippulappuun, josta ne ovat helposti poistettavissa. RFID-tagisiin voidaan tallentaa tuotteesta tietoa sen tuotantoprosessin ajalta samoin kuin CCMS-koodiin. (Cura ym. 2018.)

Seurantakoodien kehittämisessä nähdään hyötyä niin kuluttajien kuin tekstiilikierrätystahojen puolelta mutta ongelmana nähdään sama epäluotettavuus, mikä on ilmennyt pesulapuissa, eli niihin saatetaan tallentaa epäluotettavaa tietoa. Lisäksi tekstiiliteollisuus on niin laaja-alainen teollisuudenala, että tagien tai sirujen käyttöönotto vaatisi paljon ohjeistusta ja valvomista. (Zitting 2018.)

Tämän työn haastatteluissa tuli ilmi, että tekstiilialan asiantuntijat näkevät seurantajärjestelmien kehittämisessä jonkin verran hyötyä, mutta heilläkin oli epäilyksiä tagien luotettavuudesta. Pesulapuissa on tällä hetkellä paljon virheitä, joten samat heitot päätyvät helposti myös etäluettaviin siruihin. Etuna pesulappuihin olisi kuitenkin se, että niitä ei voisi poistaa vaatteista yhtä helposti. Lähes kaikki haastatellut henkilöt olivat sitä mieltä, että tekstiilien tunnistaminen koneellisesti analysointilaitteilla on ratkaisevassa roolissa tehokkaan lajittelun kannalta ja siihen pitäisi panostaa tässä asiassa eniten.

2.4 Kierrätysmenetelmät

Tekstiilikierrätys voidaan jakaa mekaaniseen, kemialliseen ja termiseen kierrätykseen. Mekaanisen ja kemiallisen kierrätyksen suurin ero on, että mekaanisessa tekstiilikuidun kierrätyksessä kuitua revitään ja prosessissa menetetään aina osa sen pituudesta. Mekaaninen kierrätys, toimii parhaiten villalle sekä puuvillalle, mutta koska prosessi heikentää kuidun laatua täytyy se useimmiten sekoittaa neitseelliseen kuituun, jolloin kehätystä langasta saadaan tasalaatuisempaa. (Gould 2015.) Mekaanisesta kierrätyksestä kerrotaan lisää luvussa 4.

Kemiallisessa kierrätysprosessissa on mahdollista saada aikaan neitseellisen kuidun veroista tekstiilikuitua. Kemiallisia tekstiilikuidun kierrätysmenetelmiä kehitetään tällä hetkellä kovaa vauhtia ja ne tulevat todennäköisesti mullistamaan tekstiilien tuotannon tulevaisuudessa, mutta tällä hetkellä ainoastaan polyesteria ja polyamidia pystytään kierrättämään kemiallisesti kaupallisessa mittakaavassa. (Gould 2015.)

Kehitteillä olevia kemiallisia selluloosakuitujen kierrätysprosesseja ovat esimerkiksi VTT:n selluloosakarbamaatti, ruotsalaisen Re:newcellin, hollantilaisen Saxionin (University of Applied Sciences) sekä itävaltalaisen Lenzingin prosessit. Kaikki nämä ovat kuitenkin vielä kehitysasteella, mutta joista Lenzingin arvellaan olevan lähimpänä kaupalliseen mittakaavaan skaalautumista. (Cura ym. 2018.)

Termisellä kierrättämisellä tarkoitetaan kuitujen sulattamista ja se sopii ainoastaan termoplastisille tekokuiduille. Sulattaminen kuitenkin heikentää tekstiilikuitujen tiettyjä ominaisuuksia, kuten elastisuutta, joten termisellä kierrätyksellä ei yleensä tehdä tekstiilikuitua. (Tekstiili 2.0 Poistotekstiilipilotti 2018a.) Poikkeuksena kuitenkin hollantilaisen Dutch Awearnessin ”Infinity”-polyesterikangas joka on suunniteltu kierrätettäväksi termisin menetelmin ja voidaan sulattaa ja kuiduttaa uudelleen kahdeksan kertaa. Dutch Awearness

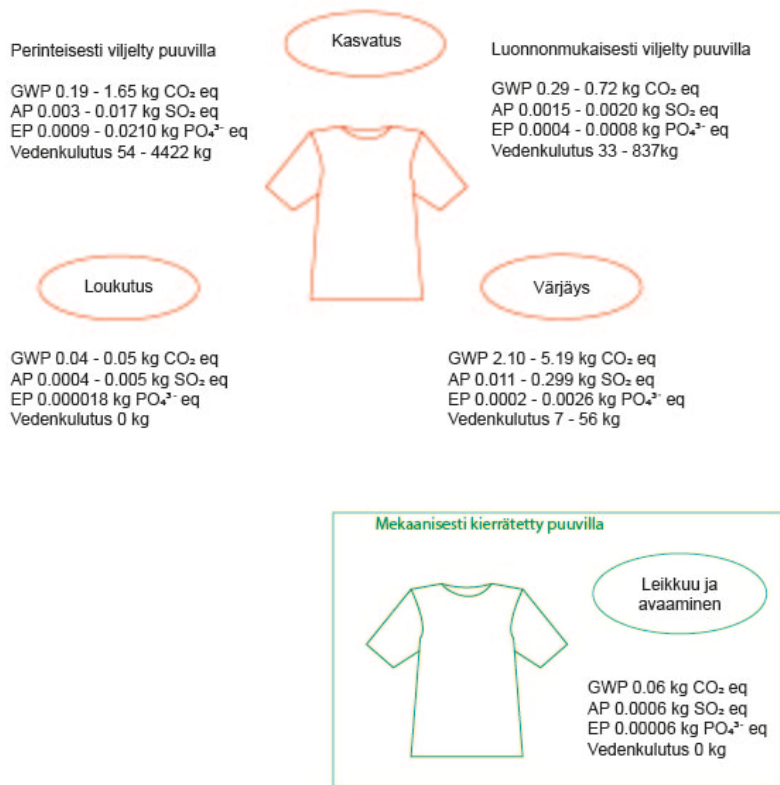
on kehittänyt myös edellisessä luvussa kerrotun CCMS-seurantajärjestelmän, jonka avulla yritys pystyy tuntemaan tuotteidensa elinkaaren ja siten hallitsemaan kierrätysprosessiaan. (Dutch Awearness 2018.) Termisellä kierrätyksellä voidaan myös tuottaa raaka-aineita muoviteollisuudelle ja sen menetelmillä voidaan valmistaa esimerkiksi muovilautasia ja pakkausmateriaaleja (Nousiainen 2015).

2.5 Mekaanisesti kierrätetty kuitu neitseellisen puuvillan korvaajana

Käytettäessä kierrätettyä tekstiilikuitua vältetään puuvillan kasvatukseen liittyviltä ympäristöhaitoilta, mikä tarkoittaa säästöä vedenkulutuksessa, torjunta-aineissa, energiassa sekä maaperässä, sillä puuvillan viljely aiheuttaa eroosiota. Lisäksi mekaanisessa kierrätyksessä säästetään ympäristöä kuormittavalta värjäysprosessilta, mikäli käytettävä tekstiilijäte lajitellaan vastaamaan valmistettävien lopputuotteiden väriä. Tekstiilien värjäys on yksi ympäristöä saastuttavimmista vaiheista tekstiilien valmistuksessa, sillä siihen kuluu paljon energiaa, vettä ja kemikaaleja. Mekaanisessa kierrätyksessä energiaa kuluttavia valmistusvaiheita ovat puuvillan viljelyn ja loukutuksen sijaan tekstiilijätteen lajittelu, leikkuu ja tekstiilisilpun avaaminen kuitutasolle ennen kehräystä. (Esteve-Turillas ym. 2016, 107–108.)

Puuvillan viljelyä koskevia elinkaariarviointeja (LCA) on tehty paljon, mutta haasteita niiden tekemiseen asettaa alueiden erilaiset ympäristöolosuhteet sekä vuotuiset vaihtelut sadossa. Alustavia elinkaariarviointeja on nyt myös tehty mekaanisesti kierrätetystä puuvillakuidusta tehdyistä tuotteista. Esteve-Turillaksen sekä Miguel de la Guardiainin tekemässä elinkaariarviovertailussa tarkasteltiin yhden, 300 grammaa painavan, T-paidan valmistuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia käytettäessä perinteisesti ja luonnonmukaisesti viljeltyä sekä mekaanisesti kierrätettyä puuvillaa. (Esteve-Turillas ym. 2016, 114–115.) Kuvassa 3 nähdään näiden eri raaka-aineiden aiheuttamat hiilidioksidi- (CO_2), rikkioksidi- (SO_2) sekä fosfaattipäästöt (PO^{3-}_4) sekä veden kulutus. Hiilidioksidipäästöt vaikuttavat ilmaston lämpenemispotentiaaliin (GWP), rikkioksidipäästöt happamoitumisen potentiaaliin (AP) ja fosfaattipäästöt rehevöitymisen potentiaaliin (EP). Tuloksissa ei ole otettu huomioon kuljetuksesta tulevia eikä langan- ja kankaan valmistuksesta aiheutuvia päästöjä ja se on monilta osin vasta suuntaa antava. Voidaan kuitenkin nähdä, että pelkästään puuvillan kasvatusta aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä sekä kuluttaa vettä niin paljon, että kierrätyskuidun käyttö olisi huomattavasti ympäristömyötäisempi vaihtoehto. Lisäksi mikäli voidaan välttää värjäysvaihe, ympäristön kuormitusta voidaan vähentää

entisestään. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista edes kierrätettyä puuvillaa käytettäessä.



Kuva 3. T-paidan raaka-aineiden valmistuksen ympäristövaikutukset (mukaillen Esteve-Turillas ym. 2016, 114).

3 Tutkimusmenetelmän valinta ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusselvitystä ja teema-haastattelua. Tässä luvussa esitellään teemahaastattelu tutkimusmetodinä sekä kerrotaan, miten tutkimus suoritettiin ja miten haastateltavat tahot siihen valikoituivat. Lisäksi kerrotaan, miten tutkimus toteutettiin.

3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksiä, joihin tässä työssä haettiin vastauksia ovat seuraavat: Miten mekaaninen kierrätys tapahtuu? Millaiset kuidun ominaisuudet määräävät sen soveltuvuu-

den jatkoprosesseihin? Miten tekstiilit tulisi lajitella, jotta niitä voidaan hyödyntää mekaanisessa kierrätyksessä? Millaisia laatukriteerejä lopputuotteet asettavat kierrätetylle kuitulle?

3.2 Teemahaastattelu

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valikoitui teemahaastattelu, joka voidaan luokitella myös puolistrukturoiduksi haastatteluksi. Puolistrukturoitu haastattelu on lomakehaastattelun ja strukturoimattoman haastattelun välimuoto, jossa jokin haastattelunosa on ennalta määrätty mutta ei kaikki. (Hirsijärvi & Hurme 2004, 47.) Tutkimusongelma määräsi tutkimusmenetelmän valinnan, sillä haluttiin saada selville tekstiilialan yritysten asiantuntijoiden arvokkaita näkökulmia ja kokemuksia siitä, millaisia laadullisia kriteerejä heidän käyttämänsä prosessit sekä lopputuotteet edellyttävät kierrätetylle tekstiilikuidulle. Teema jota tutkittiin, on siis kaikille sama mutta koska yritykset, joissa haastatellut asiantuntija työskentelevät, ovat monella tapaa erilaisia, olivat avoimet vastaukset paras tapa tutkia aihetta.

Haastattelun onnistumisen ja informaation saamisen yksi tärkeä edellytys on luottamuksen rakentaminen haastattelijan ja haastateltavan välillä. Haastateltavan tulee saada tietää mihin tarkoitukseen saatuja tietoja käytetään, mutta haastattelutilanteesta on myös pyrittävä saamaan aikaan miellyttävä. (Ruusuvuori & Tiittula 2005, 37.) Haastattelijan rooli on monimuotoinen siinä mielessä, että hän on sekä osallistuva että tutkiva persoona. Haastattelijan tulee pyrkiä olemaan neutraali ja olla osoittamatta omia mielipiteitään, mutta kuitenkin osoittaa kiinnostusta haastateltavaa kohtaan. Tärkeintä teemahaastattelussa on kuitenkin kommunikoinnin luontevuus eikä sen kaavamaisuus. (Hirsijärvi & Hurme 2004, 97.)

3.3 Tutkittavien yritysten valinta ja aineiston hankinta

Tässä opinnäytetyössä haastatellut asiantuntijat työskentelevät kaikki Telaketju-hankkeessa mukana olevissa yrityksissä. Heillä on jo valmiiksi kokemusta ja näkemystä mekaanisesta tekstiilikuidun kierrätyksestä tai käytössään sellaista teknologiaa, jolla näiden kuitujen käytön uskotaan olevan mahdollista. Tutkittavien yritysten valintaan vaikutti oletus siitä, että niillä on olemassa hyödyllistä näkökulmaa tekstiilikuitujen kierrätyksestä

sekä toimeksiantajan eli VTT:n kiinnostus näiden yritysten prosessien ja lopputuotteiden asettamiin laatukriteereihin.

Tekstiilikuitu lyhenee aina mekaanisen kierrätyksen prosesseissa. Haastateltavista yrityksistä Pure Waste Textiles ja Finlayson, joiden lopputuotteet ovat kudotuista kankaista ja neuloksista valmistettuja tuotteita, vaativat kuiduilta eri ominaisuuksia kuin Suominen joka valmistaa kuitukankaita ja Paptic joka tekee vaahtorainausmenetelmällä ympäristöystävällisiä kuitutuotteita. Näin erilaisten yritysten haastatteleminen antaa näkökulmaa mekaanisesti kierrätetyn tekstiilikuidun laaja-alaiselle potentiaalille.

Tässä työssä tehdyssä teemahaastattelussa on käytetty apuna haastattelulomaketta, joka löytyy työn liitteistä. Kysymykset olivat ennalta määritellyjä ja kaikille haastateltaville samat mutta vastausvaihtoehdot ei ollut annettu vaan haastateltavat saivat vastata kysymyksiin omin sanoin. Lisäksi kysymysten järjestys saattoi vaihdella ja paikoin haastateltaville esitettiin lisäkysymyksiä. Kysymyslomakkeen kysymykset on laadittu Telaketju-hankkeen palaverissa esille nousseiden teemojen ympärille ja niillä pyrittiin saamaan selville niin valmistusmenetelmien kuin lopputuotteiden asettamia laatukriteerejä mekaanisesti kierrätettävälle tekstiilikuidulle. Lisäksi haluttiin kuulla tekstiilien kierrättämiseen liittyviä havaintoja ja suunnitelmia tulevaisuudessa. Haastattelulomake lähetettiin haastateltaville henkilöille etukäteen, jotta he pystyivät halutessaan perehtyä käsiteltäviin teemoihin etukäteen. Haastattelut toteutettiin joko Skypen välityksellä tai kasvokkain tapaamisen merkeissä ja ne nauhoitettiin.

3.4 Haastatteluaineiston analyysi

Teemahaastattelua tehtäessä, vaikka haastateltavien määrä olisi pieni, saatava aineiston määrä on yleensä suuri. Kaikkea materiaalia ei ole tarpeellista eikä mahdollista analysoida vaan tutkija tekee aineistosta jäsennetyn ja tiivistetyn version, jossa pyrkimyksenä on saada mukaan tutkimuksen kannalta olennainen tieto. Analysointi alkaa usein jo haastattelun aikana, jolloin tutkija voi esittää lisää kysymyksiä havaitessaan tietyn teeman toistuvuuden tai jakautuvuuden. (Hirsjärvi & Hurme 2004, 136.) Tämän työn teemahaastattelussa on toimittu juuri näin. Haastattelun jälkeen tulokset litteroitiin sekä tarkastutettiin ja hyväksytettiin haastatelluilla henkilöillä. Litteroitu haastatteluaineisto löytyy tämän työn liitteestä (luottamuksellinen). Tulokset luokiteltiin eri teemoihin ja niistä on etsitty yleistyksiä, joita on kerrottu tämän työn kyseisiä teemoja käsittelevissä kappaleissa

yhdessä kirjallisuusselvityksessä kerätyn tiedon kanssa. Tämän työn ensimmäisessä luvussa on esitely haastatellut asiantuntijat mutta anonymiteetin vuoksi teemahaastattelussa ei haastatteluaineistoon enää uudelleen viitata.

4 Mekaaninen kierrätys

Tekstiilikuidun mekaaninen kierrätys ei ole uusi keksintö vaan vuosisatojen ajan historiassa, kankaita on revitty kuitutasolle ja niistä on kehrätty lankaa uusia tuotteita varten. Tämä oli suhteellisen yleistä aina 1950-luvulle saakka mutta tekokuitujen kehityksen myötä kuitujen ja lankojen kierrätys väheni merkittävästi. Muita syitä tekstiilikuitujen mekaanisen kierrätyksen häviämiseen olivat raaka-aineiden lisääntynyt määrä ja saatavuus sekä kuitusekoitusten lisääntyminen tekstiileissä, joka vaikeuttaa kuitujen kierrätysprosessia. Tietämättömyys tekstiilijätteen ongelmallisuudesta johti myös siihen, että ihmiset heittivät mieluummin vaatteita pois kierrättämisen sijaan. (Leonas 2017, 60.)

Syy, miksi tekstiilikuitujen uusiokäytön mahdollisuuksia halutaan kartoittaa niin Tela-
ketju-hankkeen tiimoilta kuin maailmalla tällä hetkellä muutenkin, on ympäristöön kohdistuvan paineen vähentämisen lisäksi kierrätyksessä piilevät liiketoimintamahdollisuudet. Tekstiilijäte on vasta viime vuosina alettu nähdä uudessa valossa ja mahdollisesti arvokkaana raaka-aineena, josta voidaan hyötyä materiaalina polttamisesta saadun energian sijaan. Mekaanisessa tekstiilien kierrätyksessä kuituaines on neitseellistä kuitua heikkolaatuisempaa, mutta silti käyttökelpoista monessa eri käyttötarkoituksessa ja sillä voidaan korvata ainakin osa neitseellisestä materiaalista ilman lopputuotteiden laadun kärsimistä. Korvaamalla osa neitseellisen materiaalien käytöstä kierrätetyllä kuidulla voitaisiin vähentää tekstiiliyritysten hiilijalanjälkeä sekä mahdollisesti materiaalikustannuksia, mikäli kierrätyskuidun hinta saadaan edullisemmaksi kuin uusi kuitu. Tämän työn haastatteluista kävi ilmi, että lähtökohtaisesti mekaanisesti kierrätetyn kuidun odotetaan olevan neitseellistä edullisempaa, mikä toimisi motivaatioina sen käyttöön yrityksissä. Kuitenkin esille nousi myös näkökulma, että usein ympäristömyötäisemmät materiaalit ovat kalliimpia, joten joissakin tapauksissa korkeampi hinta olisi ymmärrettävissä, mikäli löydetään sopiva tuoteryhmä, jonka ostajat olisivat valmiita maksamaan ekologisemmista tuotteista hiukan enemmän. Tällainen trendi maailmalla on esimerkiksi ekovai-
poissa. Tärkeäksi huomioksi nousi kuitenkin, että kierrätyskuituja sisältävien tuotteiden tulee olla yhtä laadukkaita ja esteettisesti viehättäviä kuin uusista materiaaleista valmistetut; pelkästään tuotteen ekologisuudella ei tuotteita haluta eikä pystytä myymään.

Mekaanisesti kierrätetyn tekstiilikuidun käytöstä ollaan kiinnostuneita, vaikka kemiallisesti kierrätettyjä tekstiilejä odotetaan markkinoille kuumeisesti niiden paremman laadun vuoksi. Mekaanisessa kierrätyksessä nähdään kuitenkin myös potentiaalia ja siinä ollaan saatu hyviä tuloksia pre consumer -tekstiilijätteen kanssa. Kuitenkin myös post consumer tekstiilikuidun katsotaan olevan erityisen kiinnostavaa kaikessa haastavuudessaan. Elli Ojala toteaa post consumer -jätteen olevan Finlaysonin ensisijainen kiinnostuksen kohde, sillä sen käyttö ”olisi ympyrän sulkemista kunnolla, kun tuotteet ovat oikeasti olleet käytössä”.

Seuraavissa alaluvuissa tullaan käsittelemään mekaaniseen kierrätykseen soveltuvan tekstiilijätteen lajittelua, sillä se vaikuttaa suoraan lopputuotteiden ominaisuuksiin sekä kuituaineksen laatuun ja täten jatkoprosessien onnistumiseen. Lisäksi selvitetään, miten mekaaninen tekstiilikuidun kierrätys tapahtuu ja mitä kuitujen ominaisuuksista tulee tietää, jotta siitä voidaan lopulta valmistaa lankaa, kankaita ja kuitutuotteita.

4.1 Lajittelu

Tässä luvussa pohditaan, miten mekaaniseen kierrätykseen kelpaava tekstiilijäte tulisi lajitella, jotta sitä voitaisiin hyödyntää eri tarkoituksiin mahdollisimman tehokkaasti. Pre consumer -tekstiilijätteen käyttö on huomattavasti helpompaa kuin post consumer -tekstiilien sillä se saadaan tehtailta yleensä valmiiksi lajiteltuna, yhtenäisenä raaka-aineena, josta tiedetään hyvin tekstiilin kuitusisältö sekä käsittelyprosessit ja -kemikaalit. Post consumer -jätteen kanssa tilanne on toinen, sillä se on yleensä entuudestaan tuntematonta ja sekalaista. Poikkeuksena kuitenkin esimerkiksi pesuloilta, hotelleilta ja työvaatefirmoilta saatu post consumer -tekstiilijäte, joka on koostumukseltaan tyypillisesti huomattavasti homogeenisempaa kuin kuluttajilta kerätty. Tällaisen teollisuudesta saatavan post consumer -jätteen arveltiin tämän työn haastatteluissa olevan seuraava, astetta helpompi askel post consumer -tekstiilijätteen hyödyntämiseen. Kuluttajilta kerätty post consumer -tekstiilijäte vaatii tarkan lajittelun, jotta sitä voidaan hyödyntää uudelleen samaan käyttötarkoitukseen kuin mistä se on tullut eli vaatteiksi tai kodintekstiileiksi. Tällä hetkellä kuluttajilta kerättyä post consumer -tekstiilijätettä hyödynnetään melko paljon erilaisina eristeinä esimerkiksi auto- ja kodinkoneiteollisuudessa, jolloin tunnistusta ja lajittelua ei tarvitse tehdä niin tarkasti.

Telaketju-hankkeen palavereissa post consumer -jätteen lajittelua ollaan pohdittu eri kannoilta; ollaan mietitty olisiko järkevää lajitella tekstiilit ensin tuoteryhmittäin (housut, paidat, takit jne.) vai suoraan tekstiilien kuitusisällön mukaan. Kuitusisällön selvittäminen

on mekaanisessa kierrätyksessä olennaista paitsi menetelmien kannalta, myös sen vuoksi, että lopputuotteisiin pitää pystyä määrittelemään, mitä ne sisältävät. Tämä on erittäin tärkeää, sillä tekstiilien kierrättämisen pitää olla hallittua, jotta siitä voitaisiin tehdä kannattavaa liiketoimintaa. (Heikkilä 2018a.) Tekstiilien tunnistamista ja siihen kehitettävää teknologiaa ollaan käsitelty aiemmin luvussa 2.3.2.

Mekaanisessa kierrätyksessä pystytään parhaiten hyödyntämään tekstiilejä, jotka ovat 100 % tiettyä kuitua, joten erilaiset seokset, jotka ovat nykyisin erittäin yleisiä, ovat kierrätyksessä haastavampia. Vaikeuksia mekaaniseen kierrätykseen aiheuttavat pesulapujen virheelliset merkinnät, sillä suuret heitot materiaalitiedoissa voivat olla prosessien kannalta hankalia. Pinnoitetut tekstiilit eivät sovi mekaaniseen kierrätykseen ja elastaanin ongelmallisuudesta tekstiilien kierrätyksessä on ollut myös mediassa paljon puhetta. Pure Wasten Jukka Pesola toteaa elastaanin toimivan mekaanisessa kierrätyksessä ”kuin purukumi tai liima, joka voi pahimmassa tapauksessa hajottaa koko koneen”. Pienet määrät elastaania eivät haittaa menetelmiä mutta suuremmat määrät, etenkin jos niistä ei olla tietoisia, ovat ongelma. Myös polyesteri, mikäli se jätetään mainitsematta puuvillatuotteissa, voi aiheuttaa hankaluuksia avausprosessissa. Jos polyesterin olemassaolosta ei olla tietoisia, avauskoneita voidaan ajaa sellaisilla säädöillä, joilla polyesteri aiheuttaa liikaa lämpöä ja kitkaa ja saattaa pahimmassa tapauksessa sytyttää herkästi syttyvän puuvillan palamaan. Vaikka mekaanisessa kierrätyksessä on helpointa käyttää sata prosenttia tiettyä kuitua olevaa tekstiilijätettä ja se tulisi näin lajitella, voidaan eri kuituja myöhemmin sekoittaa keskenään.

Sen lisäksi että tekstiilit tulee mekaanista kierrätystä varten lajitella kuitutyypeittäin, tuli tämän työn haastatteluissa ilmi, että myös värien mukainen lajittelu on useissa tapauksissa hyödyllistä. Mikäli tekstiilikuituja ei valkaista tai värjätä, tulee kankaiden ja lopputuotteiden väri suoraan niihin käytetyn tekstiilijätteen väristä ja säästytään ympäristöä kuormittavilta värjäysprosesseilta. Finlaysonilla tällaisia post consumer -tekstiilikuitua sisältäviä tuotteita ovat farkkupyhkeet, jotka on tehty kuluttajilta kerätyistä vanhoista farkuista ja saavat sinisen värinsä niihin käytetyistä denim-kankaista. Pure Wastella taas on lajiteltu viisi erilaista mustaa syvästä mustasta eri harmaiden tekemiseen. Tekstiilikuidut on kuitenkin mahdollista myös valkaista ja tämä voi olla monissa tapauksissa ratkaisu kuitujen laajempaan käyttöön teollisessa mittakaavassa. Valkaisun ansiosta tekstiileihin pystytään painamaan kuoseja tai ne voidaan värjätä uudelleen. Myös erilaisissa hygieniakuitukangastuotteissa valkaisu on usein edellytys, mikäli kuitujen tuoteturvallisuus on saatu riittävälle tasolle niin että kierrätyskuidun käyttö on mahdollista.

Viimeinen tämän työn haastatteluissa esille noussut lajittelukriteeri mekaanisesti kierrätettävälle tekstiilijätteelle, oli kudottujen ja neulottujen tekstiilien lajittelu erikseen. Tämä olisi hyödyllistä, sillä kudotuista tuotteista saatava kuitu sopii paremmin kudottuihin tuotteisiin ja neulotuista tuotteista saatava kuitu neulostuotteisiin. Mikäli kudottuja ja neulottuja tekstiilejä ei erotella, voidaan kierrätettyjä kuituja käyttää mutta laatu tulee todennäköisesti tässä tapauksessa kärsimään ja lankaan tulee enemmän epätasaisuutta.

Mekaaniseen kierrätykseen soveltuvan tekstiilijätteen lajittelu voidaan siis tehdä tuoteryhmän, kuidun, värin sekä kangasrakenteen mukaan. Tämän työn haastatteluissa nousi kuitenkin vahvasti myös esiin se, että lopputuotteiden valmistajilla on tuotekohtaisesti erilaisia vaatimuksia käytettävälle kuituainekselle. Mikäli kierrätys sopii yrityksen brändiin ja sitä halutaan korostaa, saa tuotteen alkuperä tulla ilmi ja siinä voi näkyä esimerkiksi erivärisiä kuituja ja struktuureja. Tällöin tekstiilijätteen lajittelua ei tarvitse tehdä yhtä tarkasti kuin jos halutaan tehdä tasalaatuisia tuotteita, joissa kierrätyskuidun käytön ei haluta näkyvän.

4.2 Kuiduksi avaaminen

Tekstiilijätteen lajittelun jälkeen mekaaninen kierrättäminen koostuu kahdesta vaiheesta. Ensimmäinen vaihe on tekstiilien leikkaaminen, joka käsittää myös kovien osien kuten nappien ja vetoketjujen poiston ja tämän jälkeen tapahtuu varsinainen kuiduksi repiminen. (Albrecht, Fuchs & Kittelmann 2003, 78.) Seuraavissa alaluvuissa kuvataan nämä mekaaniset vaiheet sekä kuitujen sekoitus avaamisprosessin jälkeen.

4.2.1 Giljotiinileikkaus

Giljotiinileikkaus on yleisin mekaanisessa kierrätyksessä käytetty leikkuumenetelmä, jolla tekstiilit voidaan silputa. Leikkuri leikkaa tekstiilit ensin yhteen suuntaan suikaleiksi ja tämän jälkeen suunta vaihtuu 90 astetta, jolloin saadaan aikaiseksi tekstiililippua.

Tekstiilipalojen koko leikkuun jälkeen vaihtelee 40 mm:n ja 150 mm:n välillä, riippuen koneeseen syötetystä materiaalista. (Albrecht ym. 2003, 79.) Tekstiilimateriaalista poistetaan giljotiinileikkuun jälkeen magneettien avulla metalliosia sisältävät kangaspalat. Muovisia osia sisältävät tekstiilit saadaan eroteltua kangassilpusta muilla keinoin kuten esimerkiksi ravistelemalla. Giljotiinileikkaus on edellytys tekstiilien mekaaniselle kierrätykselle teollisessa mittakaavassa, sillä se on tehokas tapa saada napit ja vetoketjut pois

tekstiilijätteestä. (Heikkilä 2018b.) Mikäli kovat osat poistetaan manuaalisesti käsin, voidaan ainakin villaneuleille giljotiinileikkurin sijaan käyttää repijäkonetta, joka pystyy repimään tekstiilit kokonaisina ja tällöin saadaan säilytettyä kuitupituutta, mikä parantaa kuituaineksen jatkokäyttömahdollisuuksia. (Amgwerd, Koivumaa, Parviainen & Viluksela 2017, 34.) Nappien ja vetoketjujen käsin poisto on kuitenkin aikaa vievää, joten suuressa teollisessa mittakaavassa giljotiinileikkuu nähdään tehokkaimpana vaihtoehtona. (Heikkilä, 2018b.)

4.2.2 Revintäprosessi

Giljotiinileikkurilla silppuamisen jälkeen tekstiilijäte ajetaan avaajien läpi, jossa sylinterit repivät sen kuitutasolle. Prosessissa poistuu lisäksi mm. kuitukietoutumia, roskia ja avaamattomia tekstiilipaloja niiden suuremman painon vuoksi. Tämä toimenpide voidaan tehdä monta kertaa tai käyttämällä useita sylintereitä. Määrä riippuu siitä, miten helposti tekstiili saadaan avattua kuiduksi. Jokainen avauskerta lyhentää kuidun pituutta, joten turhia avauskertoja tulee välttää. Toisaalta liian vähän avattu kuitumassa ei sovellu kaikkiin jatkoprosesseihin, joten sopiva määrä avauskertoja saadaan kokeilemalla. Esilankamuodossa oleva pre consumer -puuvilla, jonka kuitupituus on alun perin ollut 30–32 mm, tulee avausprosessin jälkeen lyhenemään noin 22–25 mm:n pituiseksi. Avauskertoja ei tällaisessa materiaalissa tarvita yhtä useita kuin post consumer -tekstiilijätteen kanssa, jossa materiaali on jo tehty langaksi ja kankaaksi. Post consumer -tekstiilijäte vaatii siis pidemmän avauslinjan, jossa kuituaines tulee lyhenemään jokaisen vaiheen aikana ja sen voidaan arvioida laskevan vielä 12 mm – 15 mm. Lisäksi kuituaines on kulunut ja kärsinyt vaateen käytössä sekä pesujen myötä ja on senkin vuoksi heikompa ja lyhyempää kuin pre consumer -tekstiilikuitu. Myös pölyä syntyy enemmän, mitä pidempää avauslinjaa joudutaan käyttämään. Pre consumer -tekstiilijätteen käsittelyssä pölyä syntyy vain noin 2 % kun taas post consumer -tekstiilien kanssa sitä muodostuu 4–5 % tai erittäin tiheän, kudotun tekstiilirakenteen kanssa jopa lähes 10 %. (Kamppuri 2018.)

Avaamisen jälkeen tekstiili on kuitumuodossa, mutta usein mukana on myös lanka- ja jopa kangasjäämiä. Kuituaineksen laatuun vaikuttaa käytetty tekstiilijäte ja se, miten hyvin se on lajiteltu, sekä miten leikkuu ja kuiduiksi repiminen on toteutettu. Mekaanisesti kierrätetty kuituaines voi siis olla laadultaan hyvin vaihtelevaa, mutta yleisesti ottaen se sisältää paljon eri mittaisia kuituja, joista iso osa on lyhyitä. (Albrecht ym. 2003, 80–81.)

Keskimääräinen kuitupituus voidaan selvittää olemassa olevalla standardoidulla mittausmenetelmällä (SFS5017).

4.2.3 Kuitujen sekoittaminen

Mekaanisessa kierrätyksessä menetetään, kuten todettu kuitupituutta, mutta sekoittamalla kierrätyskuitua neitseelliseen kuituun, voidaan sen käytön mahdollisuuksia lisätä merkittävästi. Kuitujen sekoittaminen tapahtuu giljotiinileikkuun ja avaamisen jälkeen. Kuituaineksen joukkoon voidaan tässä kohtaa lisätä katkokuiduiksi leikattuja tekokuituja tai neitseellisiä luonnonkuituja. Tekokuidut voidaan myös lisätä langan venytysvaiheessa hahtuvanauhana. (Räisänen, Rissanen, Parviainen & Suonsilta 2017, 112.)

Jotta neitseellisen kuidun korvaaminen mekaanisesti kierrätetyllä kuidulla olisi järkevää ja kannattaisi siitä aiheutuvasta ylimääräisestä vaivasta huolimatta, tulisi kierrätyskuidun määrän tämän työn haastattelujen mukaan olla vähintään 15 %. Hyviä tuloksia on saatu myös sekoittamalla post consumer -tekstiilijätettä pre consumer -jätteeseen. Melko varma, toimiva suhde on ollut 30 % pre consumer- ja 30 % post consumer -puuvillakuita sekoitettuna 40 % kierrätyspolyesteriin. Sekoitukset antavat varmuutta prosessin toimivuuteen. Luvussa 4.3.3 kerrotaan, millaisilla sekoitussuhteilla VTT:n langankehruudemossa onnistuttiin kehräämään lankaa post consumer -jätteestä.

4.3 Langat

Lankojen valmistus eri hienokehruumenetelmillä on viimeisten vuosikymmenien aikana kehittynyt merkittävästi mitä tulee niin taloudelliseen tehokkuuteen kuin lankojen laadun suhteen. Lankojen valmistus on prosessi, jossa on tärkeää tuntea sekä raaka-aine että käytettävät valmistusmenetelmät. Prosessien syvällinen ymmärtäminen on edellytys tuotannon tehokkuuden optimoinnille, mikä on hyvin oleellista, sillä ala on maailmalla erittäin kilpailtu. (Klein 2016, 7.) Mekaanisesti kierrätetystä kuidusta voidaan tehdä lankaa samoilla menetelmillä kuin neitseellisestä kuidusta, mikäli kuidun ominaisuudet on saatu säilytettyä niin että ne vastaavat prosessin asettamia laatukriteerejä. Tässä alaluvussa käydään läpi yleisimmät langankehruumenetelmät ja kuidun tärkeimmät ominaisuudet, jotka vaikuttavat sen kehräytyvyyteen.

4.3.1 Prosessit

Hienokehruumenetelmät voidaan jakaa kahteen eri ryhmään sen mukaan, miten kuidut asettuvat ja sitoutuvat suhteessa toisiinsa. Ensimmäiseen ryhmään, jossa kuidut sijoituvat yhdensuuntaisesti rinnakkain ja lomittain sekä sitoutuvat kierteen avulla, kuuluvat rengaskehruu ja open end -kehruu. Nämä ovat yleisimmät katkokuitujen kehruumenetelmät, joista rengaskehruu on kaikkein yleisin. Toiseen ryhmään, jossa kuiduilla päällystetään yhdensuuntaisesta kuitukimpusta muodostuva ydin, kuuluu esimerkiksi ilma-suihku- eli air jet -kehruu. (Räisänen ym. 2017, 112–113.) Tämä menetelmä on huomattavasti vähemmän käytetty kuin rengas- ja open end -kehruu, mutta joka nähdään merkittävimpana uutena kehruuteknologiana, jolle odotetaan kasvua markkinoilla tulevina vuosina (Stadler 2016, 7).

Rengaskehruumenetelmällä valmistetaan 80 % maailman katkokuiduista tehdyistä langoista ja sillä voidaan tyypillisesti valmistaa hyvin erilaisia, korkealaatuisia lankoja. Lankojen hyvinä ominaisuuksina pidetään yleensä mm. tasaisuutta, lujuutta ja hienoutta ja rengaskehruulla valmistettuja lankoja pidetään yleisesti vertailupohjana kehitettäessä uusia kehruumenetelmiä. Rengaskehruun huonoja puolia ovat menetelmän hitaus ja kalteus. (Klein & Stadler 2016, 7.)

Open end -kehruu on yläkäsite joka pitää sisällään roottorikehruun, kitkakehruun sekä ilmapvirran avulla tapahtuvan vortex-kehruun (Räisänen ym. 2017, 115). Kaikkein merkittävin ja eniten käytetty näistä menetelmistä on roottorikehruu, joten ainoastaan sitä käsitellään tässä työssä hieman laajemmin. Roottorikehruumenetelmä on kehittynyt viime vuosina merkittävästi ja vihdoin nykypäivän teknologialla sillä on pystytty valmistamaan yhtä korkealaatuisia lankoja kuin rengaskehruulla. Aikaisemmin open end-kehruulla on saatu tehtyä vain heikompia, karkeampia ja pörröisempiä lankoja. Tämä on merkittävä edistysaskel, sillä roottorikehruun etuja ovat menetelmän nopeus, edullisuus sekä laitteen säätöjen helpompi muunneltavuus. (Heinz 2016, 7.)

Kuten aikaisemmin kerrottu, tekstiilijäte voidaan kierrättää leikkaamalla, repimällä ja avaamalla tekstiilit niin että ne ovat tasaisessa ja kuitumaisessa muodossa. Mekaanisesti kierrätetyn kuituaineksen tulee olla hyvin avattua, jotta siitä on mahdollista kehrätä lankaa. Kuitujen avaamisen ja sekoittamisen jälkeen tapahtuu rainan muodostaminen, joka tapahtuu karstaamalla. Karstauksessa kuidut kulkevat karstauskoneen läpi, jossa sylinterit kuljettavat kuituja eteenpäin, erottelee ja yhdensuuntaistaa ne. Lisäksi kuidut aukeavat lisää ja kuituaineksesta poistuu lyhyitä kuituja. Karstauksessa saadaan aikaan

karstahahtuvaa, jota voidaan kerrostaa ja venyttää useita kertoja, jolloin kuidut yhden-suuntaistuvat ja kuituaines tasoittuu entisestään. Lisäksi karstahahtuvaa voidaan halutessa kammata laappikoneella, mikä saa aikaan entistä tasaisempaa ja korkeampilaa-tuista hahtuvanauhaa. (Räisänen ym. 2017, 112.)

Karstaus on esikäsitteilyvaihe, joka tehdään riippumatta siitä, mitä hienokehruumenetelmää käytetään ja siitä saatu hahtuvanauha voidaan käyttää roottorikehruussa sellaisenaan. Rengaskehruussa hahtuvanauhasta on valmistettava esilanka ennen varsinaista langankehruuta. Tämä rengaskehruun vaatima lisävaihe tekee menetelmästä hitaamman ja kalliimman kuin roottorikehruu. Esilanka kehrätään käämikoneella, jossa sille annetaan vähäistä kierrettä. Tämän vaiheen jälkeen se kuljetetaan rengaskehruukoneessa venytyskentän läpi, josta lanka ohjataan noukan kautta pyörivän puolan ympärillä olevalle, ylös alas liikkuvalla renkaalle. Langan kierre saadaan aikaan pyörivän puolan ja sen ympärillä liikkuvan renkaan avulla. Kehruun jälkeen täytyy vielä tehdä erikseen rullaus, sillä rengaskehruussa lanka valmistuu kudepuolille. (Räisänen ym. 2017, 112–114.)

Roottorikehruu on toiseksi yleisin kehruumenetelmä ja sen käyttö on kasvanut voimakkaasti sen tuotantotehokkuuden ansiosta. Roottorikehruun automaatio on lisäksi vähentänyt työvoiman tarvetta, mikä laskee tuotantokustannuksia edelleen. Roottorikehruun prosessi on rengaskehruuprosessia lyhyempi, sillä siitä puuttuu esilangankehruu- sekä puolausvaiheet. (Heinz 2016, 7.) Roottorikehruun toimintaperiaate on, että kuituhahtuvaa syötetään nopeasti pyörivään roottoriin, jossa ne ensin erottuvat yksittäisiksi kuituiksi mutta tarttuvat sitten roottorissa jo oleviin kuituihin. Roottorin pyörimisestä aiheutuvan keskipakoisvoiman vuoksi kuidut kietoutuvat toisiinsa ja muodostavat lankaa jota imetään roottorin keskellä olevasta putkesta ja puolataan. (Räisänen ym. 2017, 115.)

4.3.2 Kuidun soveltuvuus

Kuituaineksen ominaisuuksien tunteminen on olennaista langan valmistuksessa, sillä niillä on merkittävä vaikutus langan kehrättävyyteen ja kankaan laatuun. Kuiduilla on Kleinin (2016, 14) mukaan kolme tärkeintä ominaisuutta, jotka vaikuttavat niiden soveltuvuuteen langan kehruussa. Nämä ominaisuudet ovat kuituhienous, -vetolujuus ja -pituus. Se mikä näistä ominaisuuksista on tärkein, riippuu käytettävästä kehruumenetelmästä. Taulukossa 1. on koottu yhteen kuitujen tärkeimmät ominaisuudet rengas-, open end- sekä air jet -kehruumenetelmissä.

Taulukko 1. Kuidun tärkeimmät ominaisuudet eri kehrumenetelmissä (mukaillen Heinz 2016, 63).

100 % Puuvillalangat			
Tärkeysjärjestys	Open end- kehruu	Rengaskehruu	Air Jet-kehruu
1	Hienous	Pituus	Pituus
2	Lujuus	Lujuus	Puhtaus
3	Pituus	Hienous	Hienous
4	Puhtaus	-	Lujuus

Mekaanisesti kierrätetyn kuidun käyttö on neitseellisen kuidun käyttöä haasteellisempaa, sillä kuitupituutta menetetään kuidun esikäsittelyvaiheissa. Post consumer -tekstiilijätettä käsiteltäessä puuvillan kuitulujuus on usein lisäksi heikentynyt tekstiilien käytössä ja pesujen vaikutuksesta. Lisäksi puuvillakuidut muuttuvat pesuista aiheutuvan kastumisen ja kuivumisen johdosta jäykemmiksi. (Kontturi & Vuorinen 2009, Palmeen 2017, 14 mukaan.) Seuraavaksi kerrotaan miten kuituhienous, -pituus ja vetolujuus vaikuttavat langan kehruuseen.

Kuituhienous on langan valmistuksessa tärkeä ominaisuus, sillä se määrää kuinka monta kuitua langassa on poikkipinta-alaa kohden vierekkäin ja täten vaikuttaa suoraan langan lujuuteen ja tasaisuuteen. Minimimäärä, mikä kuituja tulee olla langassa vierekkäin poikkipinta-alaa kohden, on 30, mutta yleensä luku on yli 100 ja uusimmissa kehruprosesseissa tämä onkin minimivaatimus. Kuituhienous vaikuttaa langan lujuuden ja tasaisuuden lisäksi myöhemmin kankaassa sen kiiltoon ja laskeutuvuuteen. Se myös vaikuttaa kehruu- ja tuotantonopeuteen. (Klein 2016, 13.) Kuituhienous ilmoitetaan joko halkaisijalla tai tex-arvolla (Räisänen ym. 2017, 11).

Kuidun vetolujuus, jonka mittayksikkö on cN/dtex, on toinen tärkeistä kuidun ominaisuuksista langankehruuprosessin kannalta. Kuidut sitoutuvat toisiinsa pääosin kierteen avulla, joka pystyy hyödyntämään vain 30–70 % kuidun lujuudesta. Kuitulujuuteen vaikuttaa lisäksi kosteus, joka vahvistaa puuvillaa sekä pellavaa mutta heikentää viskoosi- ja polyamidikuituja sekä villaa. Polyesteriin ja polypropeeniin kosteudella ei ole vaikutusta. Kuitulujuuden merkitys kehruprosesseissa tulee olemaan tulevaisuudessa entistä tärkeämpi ominaisuus, sillä uudet kehrumenetelmät eivät pysty hyödyntämään kui-

dun lujuutta yhtä hyvin kuin vanhemmat menetelmät. (Klein 2016, 17.) Tämän työn haastatteluissa kävi ilmi, että kuitulujuus on merkittävä asia mekaanisesti kierrätetyn kuidun käytössä ja mitä lujempaa kuitu on, sen parempi. Kudottu kangas vaatii langoilta ja sitä myöden myös kuiduilta korkeampaa lujuutta kuin neulotut tekstiilit.

Kolmas, ja usein tärkein kuidun ominaisuus, joka vaikuttaa langan kehrättävyyteen, on sen pituus. Kuitupituutta menetetään mekaanisessa kuitujen kierrätyksessä tekstiilien leikkuussa ja kuitujen avauksessa sekä karstauksessa. Kierrätetty kuitu täytyykin usein sekoittaa neitseelliseen kuituun, jotta langan kehruu on mahdollista. Tämä on totta etenkin post consumer -tekstiilikuitua käytettäessä. Pre consumer -tekstiilikuidusta voidaan valmistaa lankaa ja kangasta 100 % mekaanisesti kierrätetystä kuidusta, mutta siihenkin lisätään tämän työn haastattelujen mukaan usein polyesteriä hienompien ja lujempien laatujen aikaansaamiseksi. Kuitupituus vaikuttaa langan kehrättävyyteen ja sitä myöden tuotannon tehokkuuteen. Lisäksi se vaikuttaa kehrättävän langan ominaisuuksiin kuten lujuuteen, tasaisuuteen, kiiltoon ja paksuuteen. Taulukosta 2 ilmenee, minkä paksuisia lankoja mistäkin kuitupituudesta pystytään valmistamaan.

Taulukko 2. Puuvillakuidun pituuden vaikutus langan paksuuteen (mukaillen Heinz 2016, 66).

Puuvillaluokka	Kuidun pituus (mm)	Lankanumero(tex)
Lyhyt	23,0–23,8	>59
	24,6	>49
	25,40	≥37
Keskipitkä	26,2–27,9	≥14,8
	28,3–29,4	>10
Pitkä	>30	Ei sovellu open end-kehruuseen
Kierrätetty kuitu	≤22,2	200–59

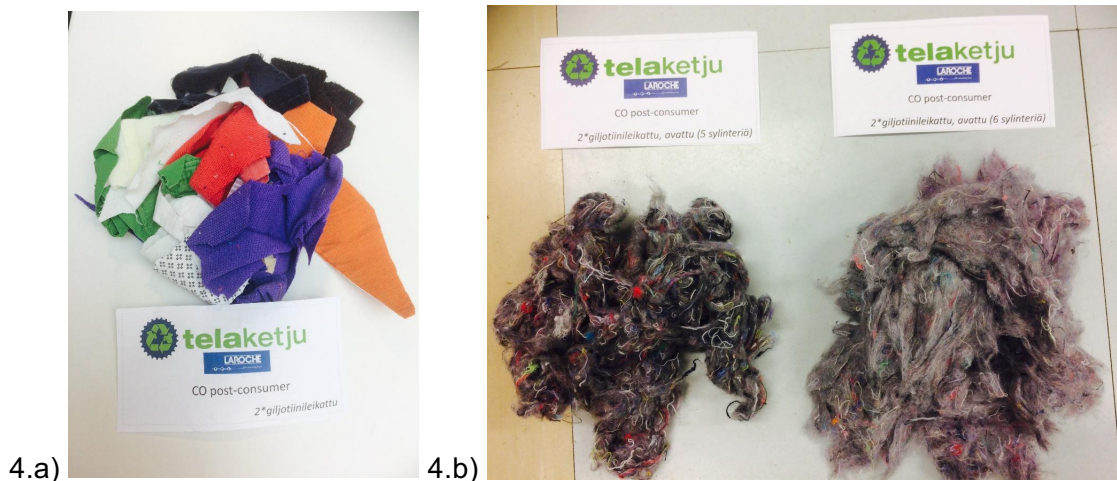
Langankehruussa voidaan katsoa, että lyhyet, alle 4–5 mm, kuidut menetetään prosessin aikana. Kuidut pituudeltaan 12–15 mm eivät puolestaan anna langalle mainittavaa lujuutta vaan ainoastaan paksuutta ja karvaisuutta. Vain kuidut jotka ovat pituudeltaan yli 15 mm tuovat langalle yleisesti toivottuja ominaisuuksia kuten lujuutta, tasaisuutta sekä hyvää kehrätyvyyttä. (Klein 2016, 14.)

Eri kehrumenetelmät vaativat kuiduilta eri pituuksia. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että open end -kehrussa kuitupituus voi olla rengaskehrussa käytettävää kuitua lyhyempää. Kuitupituuden merkitys tuli esille myös tässä työssä tehdyissä asiantuntijahaastatteluissa. Rengas- ja open end -kehrussa on osoittautunut, että kuitupituuden tulee olla avauksen jälkeen vähintään 17 mm mutta mielellään yli 20 mm. Erittäin hyvä kuitupituus on 25–26 mm.

Rengaskehrukoneet voidaan säätää tietyille kuitupituuksille, joita ovat esimerkiksi rengaskehrukoneissa lyhyet kuidut 20 mm–45 mm, keskipitkät 40 mm–55 mm sekä pitkät kuidut 50 mm–65 mm. (Mesdan 2018.) Asetukset säädetään halutulle pituusluokalle, jota harvoin muutetaan sen aikaa vievän ja hankalan prosessin vuoksi, joten tasalaatuinen kuituaines on tuotannon kannalta tärkeä asia. (Kamppuri 2018.)

4.3.3 Langankehrudemo

Tässä alaluvussa käydään läpi Telaketju-hankkeessa, maaliskuussa 2018, toteutetun langankehrudemon tuloksia ja siinä tehtyjä havaintoja. Demo toteutettiin VTT:n toimesta Tampereen Teknillisessä Yliopistossa, josta oli vuokrattu käyttöön rengaskehrulinja. Tarkoituksena oli testata mekaanisesti kierrätetyn tekstiilikuidun kehräämistä langaksi. Demossa käytettiin Ranskassa Laroche'n tehtaalla silputtua ja avattua post consumer -tekstiilijätettä, joka oli lajiteltu kuitulaadun mukaan. Kuten kuvasta 4.a näkee, tekstiilit sisälsivät kaiken värisiä vaatteita. Niissä oli myös sekaisin neulotut ja kudotut kankaat.



Kuva 4.a) Giljotiinileikattu tekstiilisilppu ja b) Avattu kuituaines, viisi ja kuusi sylinteriä.

Langankehruudemossa käytettiin viiden ja kuuden avaussylinterin läpimennyttä kuituainesta, joiden koostumuksissa oli jo huomattavia eroja, kuten ohessa olevasta kuvasta 4.b voi nähdä. Vasemmalla oleva kuituaines on viiden sylinterin läpimennyttä puuvillatekstiilijätettä ja oikealla oleva samaa materiaalia, kuuden sylinterin kanssa avattuna. Vähemmän avattu kuitumassa sisälsi vielä paljon lankoja, useampien sylintereiden läpimennyt kuituaines oli jo kehräykseen paremmin soveltuvaa ja laadultaan tasaisempaa. Toisaalta kuitenkin huomattiin, että karstattuun kuituainekseen jääneet langat eivät haitanneet langankehruuta ja yllättävää oli, että langanpätkät jopa hiukan edesauttoivat langan kehrättävyyttä, sillä ne olivat riittävän pitkiä ja niille pystyi antamaan kierrettä, mikä auttoi kantamaan lyhyempää kuitua kehruuprosessissa. Viiden avaussylinterin läpi meneestä kuituaineksesta ei kuitenkaan saatu koheesioltaan yhtä tasaista karstahahtuvaa kuin kuuden sylinterin läpi meneestä kuituaineksesta ja hahtuvanauhan yhtenäisyys ja tasaisuus ovat olennaisia langan kehräytyvydessä.

Kuitujen avaamisen jälkeen, ennen karstausta, on mahdollista valmistaa erilaisia seoksia yhdistämällä eri kuitulaatuja halutussa suhteessa. Telaketjun demokehruussa sekoitettiin 100 % kierrätettyyn polyesteri- ja puuvillakuituainekseen neitseellistä puuvillaa ja viskoosia eri suhteissa ja saatiin aikaan toimivia yhdistelmiä. Huomattiin kuitenkin myös millaiset yhdistelmät eivät saa aikaan tasalaatuista lankaa tai missä yhdistelmissä kehrättävyys on niin huonoa, ettei lankaa ole edes mahdollista tehdä. Huomionarvoista testauksessa oli, että sata prosenttisesta mekaanisesti kierrätetystä post consumer -kuidusta ei pystytty kehräämään lankaa vaan kierrätyskuitu on sekoitettava aina neitseelliseen kuituun. Lisäksi neitseellisen kuidun suurempi prosentuaalinen määrä paransi langan laatua ja kehrättävyyttä. Seuraavassa taulukossa 3 näkyy Telaketju-hankkeen langankehruudemon tuloksia.

Taulukko 3. Langankehruudemon tuloksia.

Kuituaines	Huomioita
50 % RPET + 50 % CO	Langankehruu onnistui ja lanka hyvälaatuista.
50 % RCO + 50 % VI	Yhdistelmä toimii, neitseellisen viskoosin kuitupituus suurempi kuin neitseellisen puuvillan, joka ei toimi.
70 % VI + 30 %RCO	Langankehruu onnistui ja lanka hyvälaatuista.
100 % RPET	Langan teko ei onnistunut.
100 % RCO	Langan teko ei onnistunut.
80 % RPET + 20 %CO	Langan teko onnistui mutta lopputulos epätasainen ja heikko.
50 % RCO + 50 %CO	Langan teko onnistui mutta lopputulos epätasainen ja heikko.
40 % RCO, 40 % RPET + 20 % VI	Langan teko ei onnistunut, jo esilanka liian heikkoa ja hajosi.

Kuvassa 5 näkyvistä lankademoista ainoastaan 50 % kierrätyspolyesterista ja 50 % neitseellisestä puuvillasta saatiin hyvää lankaa, jossa kehruu onnistui ongelmitta. 50 % kierrätyspuuvilla ei toiminut 50 % neitseellisen puuvillan kanssa koska kierrätyspuuvillan kuitupituus on lyhyempi kuin kierrätyspolyesterin.



Kuva 5. Lankoja kehruudemosta.

RPET = kierrätyspolyesteri, keskimääräinen kuitupituus 20–40 mm

RCO = kierrätyspuuvilla, keskimääräinen kuitupituus 12–15 mm

VI = viskoosi (neitseellinen), kuitupituus 40 mm

CO = puuvilla (neitseellinen), kuitupituus 32 mm

4.4 Kuitukankaat

Mekaanisesti revitystä ja avatusta tekstiilikuidusta voidaan valmistaa lankojen lisäksi erilaisia kuitukankaita. Erityisesti post consumer -tekstiilijätteestä valmistetaan maailmalla monenlaisia eristeitä ja tiivisteitä, joissa käytetään kuitukangasteknologioita. Kuitukangas on joko luonnonkuiduista tai öljypohjaisista tekokuiduista valmistettu tekstiili, jossa kuidut on sidottu toisiinsa mekaanisesti, kemiallisesti tai lämmön avulla tai näitä menetelmiä yhdistämällä. (Nurmi & Tuomisto 1993, 14.) Tässä opinnäytetyössä käsitellään

mekaanisesti avattujen tekstiilijättekuitujen kierrätystä ja keskitytään puuvillaan ja sitä sisältävien seoksien käyttöön, joten seuraavaksi kerrotaan menetelmistä, joissa voidaan käyttää tällaista materiaalia kuitukankaiden valmistukseen.

4.4.1 Prosessit

Kuitukankaan valmistuksessa on kolme vaihetta; rainan muodostus, sidonta ja viimeistys, jotka jokainen voidaan tehdä eri menetelmillä ja jotka vaikuttavat lopputuotteen ominaisuuksiin (Nurmi & Tuomisto 1993, 14). Kuitukankaan valmistaminen mekaanisesti kierrätetystä tekstiilikuidusta alkaa samoilla esikäsittelymenetelmillä kuin aiemmin kuvattu langankehruu. Tekstiilit silputaan giljotiinileikkurilla ja ajetaan avauskoneen läpi. Langan kehruussa on tärkeää, että kuituaines on hyvin avattua mutta mikäli ollaan valmistamassa esimerkiksi eristeitä autoteollisuuteen, tehdään avausprosessi paljon karkeammin. Tekstiilijätettä ei myöskään tarvitse tällaisissa tapauksissa lajitella yhtä tarkasti. (Kamppuri 2018.)

Tekstiilikuitujen avaamisen jälkeen seuraa rainan muodostaminen, mikä voidaan tehdä useilla eri menetelmillä. Karstaus ja airlaying-menetelmä ovat ns. kuivarainausmenetelmiä. Airlaying-menetelmässä raina muodostetaan ilmavirran avulla ja se on yleinen valmistettaessa karkeampia eristekuitukankaita auto- ja kodinkoneteollisuuteen. (Kamppuri 2018.) Karstauksessa käytetään karstauskonetta joka avaa, yhdensuuntaistaa ja erottelee kuidut. Kuiturainan muodostaminen voidaan myös tehdä paperin valmistusta muistuttavalla märkärainauksella, jossa kuidut sekoitetaan vesidispersioon ja suodatetaan viiralle, johon kuituraina muodostuu. (Räisänen ym. 2017, 176.) Märkärainauksesta on myös kehitetty vaahtorainausmenetelmä, jossa suuren vesimäärän sijasta käytetään vaahtoa eli vettä, ilmaa ja pinta-aktiivista ainetta (VTT 2017b). Näiden edellä mainittujen rainanmuodostustapojen lisäksi on olemassa ns. suorat menetelmät (directlaying), joita käytetään tekokuituisten kuitukankaiden valmistukseen. Suorissa menetelmissä raina muodostetaan sulasta polymeerimassasta kehrätyistä kuiduista eri tavoin. (Nurmi & Tuomisto 1993, 9, 16.) Näitä menetelmiä ei voida käyttää sellaisien kuitukankaiden valmistuksessa, joissa halutaan käyttää mekaanisesti kierrätettyä puuvillakuitua tai sitä sisältäviä seoksia.

Rainan muodostamisen jälkeen kuitukankaiden seuraava valmistusvaihe on sidonta, joka voidaan tehdä mekaanisesti ilman sideaineita, kemiallisesti käyttämällä erilaisia liima-aineita tai termisesti yhdistämällä kuidut toisiinsa lämmön avulla. Neulaus on

vanhin mekaaninen sidontatapa, jossa neulakoukut lävistävät kuiturainan ja sitovat sen samalla yhteen. Neulauksen rinnalle on myöhemmin tullut vesineulausteknologia, jossa voimakkaat vesisuihkut korvaavat neulat ja toimivat niiden tavoin sitoen kuidut kankaaksi. (Nurmi & Tuomisto 1993, 9, 14.)

Lämpösidonnassa kuidut voidaan sulattaa yhteen, mikäli kuituaines sisältää termoplastisia kuituja kuten esimerkiksi polyesteria tai muita tekokuituja. Toinen vaihtoehto on lisätä kuituaineksen sekaan sulavaa sideainetta, joka toimii sitovana elementtinä. Kuituraina viedään tällöin kuuman ilmapirran tai sylinterien läpi, jolloin kuitujen kiinnittymien toisiinsa tapahtuu. Myös ultraäänellä tapahtuva sidonta tapahtuu lämmön nousun seurauksesta, sillä ultraääni saa kuidut värähtelemään, lämpenemään ja kun kuiturainassa on mukana termoplastisia kuituja, kiinnittää niiden pehmeneminen ja sulaminen kuidut toisiinsa. (Räisänen ym. 2017, 177–178.)

Kemiallinen sidonta tehdään käyttämällä liima-aineita tai liuottimia jotka saavat kuidut kiinnittymään toisiinsa. Näistä aineista liima-aineiden käyttö on liuottimia yleisempää. Liima-aineesta tehdään dispersio, jolla kuituraina käsitellään joko ruiskuttamalla, kankaanpainomenetelmin tai kastamalla kuitumatto dispersioon ja lopulta kuivattamalla se. (Räisänen ym. 2017, 178.)

Kuitukankaiden valmistuksen viimeinen vaihe on viimeistys, joka voidaan tehdä mekaanisesti tai kemiallisesti ja sillä voidaan vaikuttaa merkittävästi kuitukankaan ominaisuuksiin. Kuitukankaille tehtäviä viimeistyksiä ovat esimerkiksi kalanterointi, joka litistää kuidut ja tekee siitä sileää ja kiiltävää. Muita viimeistysmenetelmiä ovat mm. kreppaus, lämpökutistus- ja rypytyksäsittelyt. Lisäksi kuitukankaita voidaan nukata, rei'ittää, harjata ja niille voidaan tehdä polttoviimeistys. Vettähylyvä pinta saadaan aikaan kemiallisesti päällystämällä kuitukangas polymeerikalvolla. (Räisänen ym. 2017, 178.)

Tämän työn asiantuntijahaastatteluissa kävi ilmi, että kuitukankaiden valmistuksessa viimeistyksillä on tärkeä rooli lopputuotteiden kannalta. Hygienia tuotteissa, kuten pikkuhousunsuojissa ja vaipoissa nesteen kulkeutuminen ja kosteuden läpäisy aika sekä imu-kyky ja ovat tärkeitä asioita, joita voidaan parantaa erilaisilla pintakäsittelyaineilla, vaikka eri kuiduilla on toki jo itsessään erilaiset kosteudenimukykyominaisuudet. Toisaalta tuotteet joilta ei vaadita kosteudenimukykyä käsitellään usein hydrofobisiksi eli vettä hylkiviksi. Sähköistyvyys on myös asia, johon voidaan vaikuttaa pintakäsittelyaineilla.

4.4.2 Kuidun soveltuvuus

Kuitukankaita voidaan valmistaa hyvin erilaisista tekstiilikuiduista, sillä kuitukankaita on olemassa monenlaisia aina hienoista hygieniakuitukankaista karkeisiin teollisuudessa käytettäviin eristekuitumattoihin. Rainanmuodostustapa määrittelee, millaista kuitua voidaan käyttää. Märkä- ja vaahtorainausmenetelmillä pystytään käyttämään lyhyttä, yleensä alle 10 mm mittaisia kuituja, jotka voivat olla selluloosa- tai tekokuituja. Kuivairainausmenetelmät vaativat kuiduilta enemmän pituutta.

Taulukosta 4. näkyvät mekaanisesti kierrätetyn kuituaineksen vähimmäisvaatimukset eri rainanmuodostusmenetelmissä. Lisäksi taulukosta ilmenee, miten hyvin tekstiili tulee olla avattu, jotta sitä voidaan onnistuneesti rainata eri menetelmillä.

Taulukko 4. Rainanmuodostusmenetelmien asettamat minimikriteerit kierrätyskuidulle (mukaillen Albrecht 2003, 83).

Rainan muodostustapa	Kuidun keskipituus (mm)	Lyhyiden kuitujen määrä	Kuitujen avaustaso
Ilmarainaus	5–30	Pienestä keskinertaiseen	Keskitaso
Karstaus	15–50	Pieni	Hyvin avattu
Märkärainaus	1–5	Pelkkiä lyhyitä kuituja	Hyvin avattu

Tämän työn asiantuntijahaastatteluissa tuli esille muutamia näkökulmia kierrätyskuidun käytöstä kuitukankaiden valmistuksessa. Tekstiilien leikkuussa ja avauksessa muodostuu pölyä, joka voi vaikeuttaa kuitukankaiden valmistusprosesseja. Lisäksi kuitupituuden menetys rajoittaa rainanmuodostusmenetelmien käyttöä, sillä kuten taulukosta 4. nähdään, karstauksen minimivaatimus kuitupituudelle on 15 mm mutta haastatteluissa saatiin selville, että minimivaatimus on karstasta riippuen jopa 40 mm tai enemmän. Toisaalta haastatteluissa kävi ilmi, että myös hyvin lyhyelle ja tomumaiselle kuituainekselle on käyttöä ja siihen soveltuu märkärainaus muistuttava vaahtorainaus, jolla voidaan valmistaa paperin ja kuitukankaan väliin sijoituvia tuotteita ja rakenteita. Vaahtorainauksessa kuidun jäykkyydellä on kuidun pituuden lisäksi merkitystä, sillä mikäli kuitu on pehmeää ja joustavaa, sillä on taipumus mennä kiharalle ja aiheuttaa kuitukasaumia, mutta jäykempi kuitu pysyy suorana ja tällöin voidaan käyttää pidempää kuitua.

4.5 Käyttökohteet

Mekaanisesti kierrätettyä kuitua on jo tällä hetkellä markkinoilla erilaisissa lopputuotteissa vaatteista kodintekstiileihin ja teknisiin tuotteisiin. Suurin osa kierrätyskuitua sisältävistä vaate- ja kodintekstiileistä sisältää pre consumer -tekstiilijätettä, mikä onkin ollut ensimmäinen ja helpompi askel tekstiilijätteen hyödyntämisessä. Post consumer -jätteen hyötykäyttö muuta kuin teknisissä käyttötarkoituksissa on haaste, johon ollaan Telaketju-hankkeessa tarttumassa ja josta toivotaan Suomeen uutta liiketoimintaa. Kuten jo aiemmin todettu, tekstiilikuidut kärsivät mekaanisessa kierrätyksessä. Post consumer -tekstiilikuidut ovat lyhentyneet lisäksi käytön aikana jo ennen kierrätystä. Haaste post consumer -kuidun käytössä on myös sen turvallisuus ja hygieenisuus, sillä tekstiilien käyttöhistoriaa ei tunneta. Ongelmia post consumer -jätteen kanssa aiheuttavat esimerkiksi paljonsuoja-aineet, mikäli niitä sisältävät tuotteet päätyvät lähellä ihoa oleviin tekstiileihin. Tämä asettaa rajoituksia post consumer -tekstiilikuidun käytölle tietyissä lopputuotteissa, sillä esimerkiksi korkean hygienian tuotteisiin tällaista kuitua ei voida käyttää.

Seuraavassa luvussa tarkastellaan, millaisiin tuotteisiin mekaanisesti kierrätettyä tekstiilikuitua voitaisiin käyttää ja mitä markkinoilta tällä hetkellä jo löytyy. Lisäksi lopuksi tarkastellaan erilaisia tekstiilien kierrätyksen ympärille jo kehitettyjä tai suunnitteilla olevia palveluliiketoimintamalleja.

4.5.1 Vaatetus

Vaatetuksessa yleisimmin on käytössä pre consumer -tekstiilijäte, josta on onnistuttu tekemään niin kudottuja kuin neulottuja tuotteita. Pure Wasten koko yritystoiminta perustuu tällä hetkellä teollisuudesta saatavan leikkuujätteen hyödyntämiseen mutta yritys on testannut myös tarkasti lajitellun post consumer -tekstiilijätteen käyttöä hyvin tuloksin. Pure Wasten tuotteet ovat pääosin trikootuotteita, kuten esimerkiksi T-paitoja sekä collegepaitoja ja -housuja mutta valikoimasta löytyy lisäksi mm. kangaskasseja, jotka on valmistettu kudotuista kankaista. Myös amerikkalainen Baggu myy reppuja ja laukkuja, jotka sisältävät 65 % pre consumer -kierrätyspuuvillaa (Baggu 2018).

Belgialainen yritys HNST on tehnyt denim-malliston, jonka raaka-aineena on käytetty kuluttajilta kerättyjä vanhoja farkkuja. Kerätystä farkuista ainoastaan noin 50 % oli kierrätykseen soveltuvaa ja niistä saatu post consumer -tekstiilijättekuitu sekoitettiin 21 %

Tenceliin ja 23 % neitseelliseen puuvillakuituun. Kierrätyskuidun osuus oli siis 56 %. (Business Europe 2018a.)

Myös Espanjassa toimii edistyksellinen kierrätyskuidun ja langan valmistaja Hilaturas Ferre, jonka erityisosaamisalaa on etenkin tarkkojen värisävyjen sekoitus. Hilaturas Ferre tekee yhteistyötä mm. toisen espanjalaisen yrityksen, Tejidos Royon kanssa, joka puolestaan tekee langoista vaatetuskangasta eri suunnittelijoille. (Business Europe 2018.b.)

4.5.2 Kodintekstiilit

Mekaanisesti kierrätettyä kuitua on onnistuneesti käytetty yhdessä neitseellisen kuidun kanssa kodintekstiilien valmistuksessa. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi pyyhkeet ja pussilakanat. Myös kodintekstiilien valmistuksessa pre consumer -tekstiilijätteen hyödyntäminen on yleisempää ja helpompaa kuin post consumer -jätteen mutta Finlaysonilla on jo myynnissä Euroopassa valmistetut Old Jeans -kylpypyyhkeet, jotka sisältävät 40 % post consumer -tekstiilijätettä. Finlaysonin farkkupyhkeet ovat saaneet Öko-Tex-sertifioinnin eli ne on kemikaalitestattu. Farkkupyhkeiden valmistuksessa ei ole tehty mitään lisäpuhdistustoimenpiteitä, mutta lajittelun rooli oli erittäin tärkeä ja pyyhkeenvalmistusprosessissa on aina mukana pesuvaiheita, joilla saatiin aikaan riittävä puhtaus lopputuotteissa.

4.5.3 Tekniset

Mekaanisesti kierrätettyä pre- ja post consumer -tekstiilikuitua löytyy erilaisista teknisistä käyttötarkoituksista markkinoilla. Suomessa markkinajohtajan asemaa post consumer -tekstiilijätteen hyödyntämisessä pitää mm. öljynimeytysmattoja ja kasvualustoja valmistava Dafecor, joka saa materiaalinsa suomalaisilta tekstiiliyrityksiltä sekä tavallisista kotitalouksista. (Moilanen 2014.) Dafecorin liikevaihto oli vuonna 2017 yli miljoona euroa, mutta Euroopasta löytyy jo paljon suurempia vastaavan alan toimijoita, sillä mekaanista kierrätyskuitua käytetään melko paljon mm. kodinkoneiden ja autoteollisuuden eristeinä.

Tämän työn asiantuntijahaastattelussa nousi esille, että mekaanisesti kierrätetyn kuidun käyttö hygieenisissä kuitukangastuotteissa nähdään melko suurena haasteena ainakin

post consumer -jätteen osalta. Hygieenisten kuitukankaiden valmistus on maailman kasvavan väestön myötä jatkuvassa kasvussa, joten mikäli tähän löydettäisiin ratkaisu, olisi kysyntää tuotteille varmasti. Uusien tuotesegmenttien kehittäminen, joissa tuoteturvallisuusvaatimukset eivät olisi yhtä korkealla, on kuitenkin mahdollista. Tällaisia voisivat olla vaikkapa teollisuudessa käytettävät rätinomaiset tuotteet. Korkean hygienian tuotteita ei kuitenkaan voida valmistaa samoilla laitteilla, sillä ei voida riskeerata, että tuoteturvallisuustaso laskee, jos mukaan jää vääränlaisia tekstiilikuituja.

Kierrätetystä tekstiilikuidusta voidaan myös valmistaa tuotteita, jotka ovat ikään kuin paperin ja kuitukankaan välimuotoa. Tällaisia vaahtorainauksella tehtyjä tuotteita on tehty pilotointiasteella, ja mahdollisuuksia nähdään esimerkiksi kertakäyttökassien sekä erilaisten sisustustuotteiden saralla, mm. lampunvarjostimissa ja sermeissä. Tällaisiin käyttökohteisiin sopii sekä pre- että post consumer -tekstiilijäte.

4.5.4 Palveluliiketoimintakonseptit

Tekstiilien kierrättämisen ympärille kehitetään tänä päivänä jatkuvasti erilaisia palveluliiketoimintakonsepteja, joita myös tämän työn haastattelututkimuksessa tuli esille. Asiantuntijayritykset kertoivat, että voitaisiin esimerkiksi kerätä brändeiltä niiden leikkuu- ja mahdollisesti myös post consumer -jäte talteen ja tehdä siitä uudelleen samalle yritykselle lankaa ja kangasta mekaanisella kierrätysmenetelmällä. Toinen suunnitteilla oleva yhteistyökuvio oli pre consumer -jätteestä valmistettujen kankaiden myynti työvaatefirmalle, jotka elinkaarensa päähän tullessaan kerättäisiin ja käytettäisiin komposiittituotantoon. Nämä ovat lähinnä B2B-liiketoimintakonsepteja mutta myös B2C-puolella oli kehitetty ideoita. Esimerkiksi kodintekstiilipuolella on toteutettu tuotteiden liisaukseen perustuva liiketoimintamalli, jossa asiakas maksaa tuotteista kuukausimaksua tietyltä ajalta ja lopulta päättää haluaako pitää ne vai palauttaa takaisin. Ideana on ollut, ettei kaikkea tarvitsisi omistaa ja tuotteille olisi olemassa valmis kierrätyskanava niiden palaututtua takaisin myymälään. Tämä palvelumalli vaatinee kuitenkin vielä kehittämistä, sillä asiakkaat eivät ole täysin lähteneet mukaan kokeiluun.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä poistotekstiilien mekaanisen kierrätyksen prosesseihin sekä siihen, miten tekstiilijätettä tulisi käsitellä, jotta sitä voitaisiin hyödyntää eri tavoin raaka-aineena uusissa tuotteissa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää mitkä ovat niitä kierrätetyn kuidun ominaisuuksia, jota määräävät sen jatkokäsittelymahdollisuudet. Tekstiilien mekaanisesta kierrätyksestä ja siihen olennaisesti liittyvästä lajittelusta ja tunnistamisesta on olemassa melko vähän ajantasaista kirjallisuutta, joten teemahaastattelusta, joka tämän työn yhteydessä tehtiin, saatiin paljon arvokasta näkökulmaa. Lisäksi VTT:n erikoistutkijat Pirjo Heikkilä ja Taina Kamppuri antoivat tähän työhön kokemuksesta saatuja tärkeitä havaintoja tekstiilien kierrätyksestä.

Suomessa tekstiilien mekaaninen kierrätys on toistaiseksi melko vähäistä mutta Euroopassa ja muualla maailmassa alan toimijoita löytyy enemmän. Telaketju-hankkeen päämääränä on kehittää koko tekstiilijätteen jatkojalostusprosessia niin että Suomi voisi tulevaisuudessa olla yksi maailman johtavista maista alalla. Mekaanisen kierrätyksen lisäksi halutaan kehittää erityisesti tekstiilien kemiallista kierrätystä sekä koneellista tunnistusta ja lajittelua. Suomi on korkean teknologian maa ja sen avulla tekstiilien kierrätys halutaan viedä uudelle tasolle, ei vain jäljitellä Euroopassa jo olevia toimijoita.

Kemiallinen tekstiilien kierrätys tulee mitä luultavimmin olemaan käänteentekevä innovaatio koko tekstiilialalla, kun se saadaan kehitettyä teolliseen mittakaavaan mutta mekaaninen kierrätys on ratkaisu tekstiilijäteongelmaan siihen saakka. Mikäli poistotekstiilien kierrättämistä saataisiin tehostettua, vähentäisi se jäteongelman lisäksi luonnonvarojen ylikäyttöön kohdistuvaa painetta, kun tekstiilien raaka-aineita saataisiin jo olemassa olevasta materiaalista.

Pre consumer- tekstiilijätettä ollaan jo pystytty menestyksekkäästi hyödyntämään erilaisissa tekstiileissä mutta sen käyttöä voitaisiin vielä lisätä huomattavasti. Suuri kiinnostus post consumer -jätettä kohtaan on myös olemassa, sillä sen valtava materiaalivirta nähdään ongelmana, johon halutaan löytää ratkaisu. Post consumer -jätteen hyödyntäminen on huomattavasti pre consumer -jätettä haasteellisempaa, sillä se vaatii tarkan lajittelun, mikä puolestaan edellyttää luotettavaa tunnistusta. Haasteita aiheuttavat myös tekstiileissä yleiset kuitusekoitukset, joita ei pystytä kierrättämään yhtä tehokkaasti kuin yhtä kuitua sisältävät tuotteet. Lisäksi elastaani, joka on erittäin yleinen nykypäivän vaatteissa, aiheuttaa ongelmia mekaanisessa kierrätysprosessissa.

Tekstiilijätteen mekaaninen kierrätys ja jatkokäsittely uudeksi tuotteeksi vaatii monen eri prosessin hallitsemista. Mekaaninen tekstiilien kierrätys tarkoittaa yksinkertaistettuna tekstiilien repimistä ja avaamista kuitutasolle sen jälkeen, kun siitä on poistettu kovat osat. Prosessi tulee hallita, jotta kuituaines saadaan säilymään mahdollisimman käyttökelpoisena. Tämän jälkeen kierrätetty kuituaines voidaan jatkokäsitellä langoiksi tai kuitukankaiksi. Myös nämä prosessit vaativat vankkaa ammattitaitoa ja laitteistoa, joka vaatisi Suomessa investointeja. Tässä työssä on koottu yleisiä, eri kehruu- ja kuitukankaiden valmistusmenetelmien asettamia kriteerejä, jotka toimivat suuntaa antavina, kun mietitään, millaisilla menetelmillä kierrätyskuitua voidaan alkaa käyttää.

Tämän työn tavoite oli prosessien asettamien laatukriteerien lisäksi selvittää lopputuotteiden asettamia laatukriteerejä. Tekstiilien lajittelu kannattaisi tämän työn tutkimustuloksien mukaan tehdä kuitutyypin, kangasrakenteen ja värin mukaan, jolloin tekstiilijätettä pystyttäisiin käyttämään mahdollisimman monipuolisesti. Tällainen lajittelu on kuitenkin huolellista ja kaikki käyttökohteet eivät edellytä näin tarkkaa käsittelyä, mikäli ollaan tekemässä esimerkiksi eristykseen käytettäviä kuitumattoja. Edellä mainittu lajittelutapa toimisi kuitenkin todennäköisesti, mikäli tarkoituksena olisi valmistaa uusia vaatetus- tai kodintekstiilejä.

Tärkeä huomio oli, että laatu ei ole hyvä tai huono, vaan laatukriteereihin joko päästään tai ei päästä. Kuidun säilyttäminen mahdollisimman pitkänä on yleensä mekaanisen kierrätyksen päätavoite mutta kuten tässä työssä kävi ilmi, pitkä kuitu ei sovellu kaikkiin käyttötarkoituksiin, sillä esim. vaahtorainauksessa pystytään hyödyntämään lyhyttä, jopa pölymäistä kuitua. Käyttökohde ja sen valmistuksessa käytetty prosessi siis ratkaisevat milloisessa muodossa kuituaineksen tulisi olla, jotta se voitaisiin parhaiten hyödyntää. Tämä havainto tuli voimakkaasti esille asiantuntijahaastatteluissa. Lopputuotteiden asettamien laatukriteerien selvittäminen oli yksi tämän opinnäytetyön tavoitteista, mutta tutkimuksen myötä kävi ilmi, että se on aihealueena niin laaja, että aiheesta kannattaisi tehdä oma jatkotutkimuksena, kun ollaan päätetty, mitä varsinaisesti ollaan lähdössä tekemään. Yrityksillä on yleensä paljon erilaisia tuotteita, joista jokaisella on omat valmistusapansa ja kriteerit raaka-aineille, joten asiantuntijat eivät pystyneet antamaan yleispäteviä laatuvaatimuksia.

Seuraava askel voisikin olla niiden toimijoiden kartoittaminen, jotka olisivat halukkaita lähtemään viemään tekstiilien kierrätystä käytännön tasolle. Kun olisi tiedossa tuotteet, joita lähdetään tekemään, voitaisiin tekstiilijätteen lajittelu optimoida sopivan tehokkaaksi

sekä keskittyä kehittämään niitä prosesseja, joita näiden tuotteiden valmistuksessa vaaditaan.

Lähteet

Albrecht Wilhelm, Hilmar Fuchs & Walter Kittelmann 2013. Nonwoven Fabrics: Raw Materials, Manufacture, Applications, Characteristics, Testing Processes. Weinheim: Wiley_VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Amgwerd Marja, Veikko Koivumaa, Erja Parviainen & Viluksela Pentti 2017. Kiertovillasta kasvuun. Villan kierrätyksen ja kierrätysvillatuotteiden toimitusketju ja liiketoimintamahdollisuudet. Metropolia Ammattikorkeakoulun julkaisusarja.

Baggu 2018. Eco ethics. <<https://baggu.com/pages/eco-ethics>> (luettu 27.4.2018)

Business Europe 2018a. Jeans to Jeans. <<http://www.circular.eu/project/jeans-to-jeans/>> (luettu 31.5.2018)

Business Europe 2018b. Tejidos Royo - Fabrics with values. <<http://www.circular.eu/project/tejidos-royo-fabrics-values/>> (luettu 31.5.2018)

CCMS 2018. Circular track and trace. <www.circularchainsystem.com> (luettu 1.4.2018)

Cura, Kirsti 2017. Lahden Ammattikorkeakoulu.
<<http://www.lamk.fi/tki-toiminta/projektit/Sivut/default.aspx?RepoProject=23015>> (luettu 1.4.2018)

Cura Kirsti, Pirjo Heikkilä, Ville Hinkka, Taina Kamppuri, Henna Knuutila, Liisa Lehtinen, Marja Pitkänen & Jaakko Zitting 2018. Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä. Raportti. (luettu 10.5.2018)

Dutch Awearness 20178. Chain Management. <<http://dutchawearness.com/chain-management/>> (luettu 28.5.2018)

Esteve-Turillas, Fransesc A. & Miguel de la Guardia 2016. Resources, Conservation and Recycling. Environmental impact of recover cotton in textile industry. Elsevier

Finlayson 2016. Meillä ei ole salaisuuksia. Finlaysonin vastuullisuuskatsaus 2016. <http://issuu.com/finlaysonoy/docs/finlayson_20vastuullisuusraportti_2?e=23911372/55103697> (luettu 19.3.2018)

Gould, Hannah 2015. Waste is so last season: recycling clothes in the fashion industry. The Guardian 2015. <<https://www.theguardian.com/sustainable-business/sustainable-fashion-blog/2015/feb/26/waste-recycling-textiles-fashion-industry>> (luettu 25.3.2018)

Heikkilä, Jukka 2018a. Telaketju seminaari 10.4.2018.

Heikkilä, Pirjo 2018b. Erikoistutkija. VTT. Henkilökohtainen keskustelu 24.4.2018.

Heinz, Ernst, 2016. Rieter Manual of Spinning. Volume 5 - Rotor Spinning. Rieter Machine Works Ltd.

Hirsjärvi, Sirkka & Helena Hurme 2004. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Yliopistopaino.

I:CO, Taking on Product Responsibility. <<https://www.ico-spirit.com/en/services/>> (luettu 27.4.2018)

Jurkko, Kati 2015. Uusi asetus hämmentää – mitä tapahtuu kymmenille miljoonille kiloille tekstiilijätettä? Yle 2015. <<https://yle.fi/uutiset/3-7761014>> (luettu 1.3.2018)

Kamppuri, Taina 2018. Erikoistutkija. VTT. Henkilökohtainen keskustelu. 1.5.2018.

Kinnunen, Karita 2018. Co-Founder, Chief Research Officer. Paptic Oy. Haastattelu 5.3.2018.

Klein, Werner, 2016. The Rieter Manual of Spinning. Volume 1- Technology of Short-staple Spinning. Rieter Machine Works Ltd.

Klein Werner & Herbert Stadler 2016. The Rieter Manual of Spinning. Volume 4 - Ring Spinning. Rieter Machine Works Ltd.

Leonas, Karen K. 2017. The Use of Recycled Fibers in Fashion and Home Products. Singapore: Springer.

- Lindfors, Gustav 1938. Finlaysonin tehtaat Tampereella. Helsinki: Oy.P.Tilgmann Ab.
- Mesdan 2018. Ring Lab Code 3108A. <www.saviotechnologies.com> (luettu 15.4.2018)
- Moilanen, Mikko 2014. Suomalaisten käytetyt takit ja housut päätyvät öljynimeytysma-toiksi. <<https://yle.fi/uutiset/3-7147502>> (luettu 29.4.2018).
- Mäki, Satumaija, 2017. Tekstiilijätteelle tulossa erilliskeräys vuoteen 2025 mennessä. Suomen Tekstiili & Muoti 2017. <<https://www.stjm.fi/uutisia-jasenille/tekstiilijatteelle-jar-jestettava-erilliskerays-vuoteen-2025-menessa/>> (luettu 20.2.2018).
- Mäki, Satumaija 2018. Suomen Tekstiili & Muoti ry. Länsi-Suomeen suunnitteilla poisto-tekstiilien jalostuslaitos – hyödyntäjiä tarvitaan edelleen. <<https://www.stjm.fi/uuti-set/lansi-suomeen-suunnitteilla-poistotekstiilien-jalostuslaitos-hyodyntajia-tarvitaan-edelleen/>> (luettu 27.4.2018)
- Nieminen, Rami 2018. Vaatteiden kierrätys levällään. Turun Sanomat, 19.5.2018.
- Nousiainen, Pertti 2015. The future of textile recycling and the differentiation between recycled fibres/textiles. <<http://www.tekstiililehti.fi/binary/file/-/id/3/fid/409/>> (luettu 2.4.2018)
- Nurmi, Salme & Marja-Terttu Tuomisto 1993. Kuitukankaat. Helsinki: Punamusta
- Ojala, Elli 2018. Corporate Responsibility Manager. Finlayson. Haastattelu 12.3.2018.
- Palme, Anna 2017. Recycling of cotton textiles: Characterization, pretreatment, and pu-rification. Thesis for the degree of doctor of philosophy. <<http://publica-tions.lib.chalmers.se/records/fulltext/246506/246506.pdf>> (luettu 1.4.)
- Paptic 2018. <<https://paptic.com>> (luettu 6.4.2018)
- Pesola, Jukka 2018. Board Member. Pure Waste Textiles. Haastattelu 2.3.2018.

- Rahkola, Mari 2018. Director Project Portfolio, Care. Suominen. Haastattelu 22.2.2018.
- Ruusuvuori, Johanna & Liisa Tiittula (toim.) 2005. Haastattelu. Tutkimus, tilanteet ja vuorovaikutus. Tampere: Vastapaino
- Räisänen, Riikka, Marja Rissanen, Erja Parviainen & Helena Suonsilta 2017. Tekstiilien materiaalit. Helsinki: Oy Finn Lectura Ab
- Salmenperä, Hanna 2017. Poistotekstiileihin kytkeytyvät juridiset ja hallinnolliset tulkin-
nat ja menettelyt. Telaketju-raportti. (luettu 15.5.2018)
- Stadler, Herbert 2016. The Rieter Manual of Spinning. Volume 6 - Alternative Spinning
Systems. Rieter Machine Works Ltd.
- Suomen Tekstiili & Muoti 2015. Pure Waste Textiles – jätteestä vaatteeksi
<<https://www.stjm.fi/uutiset/pure-waste-textiles-jatteesta-vaatteeksi/>> (luettu 1.4.2018)
- Suominen, 2018. <<https://www.suominen.fi/en/about-us/>> (luettu 6.4.2018)
- Siippainen, Meri 2016. Jäteasetukset muuttuivat: Ei tekstiilejä kaatopaikkajätteeseen.
Kotitalo-lehti 2016. <<https://www.kotitalolehti.fi/2016/02/jateasetukset-muuttuivat-ei-tekstiileja-kaatopaikkajatteeseen/>> (luettu 3.3.2018)
- Syke 2018. Kohti kiertotaloutta. <http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kiertotalous> (luettu 1.2.2018)
- Syke 2015. Tekstiilijätteen kierrätyksen mahdollisuudet ja esteet.
<<http://www.syke.fi/hankkeet/texjate>> (luettu 1.3.2018)
- Tekstiili 2.0 Poistotekstiilipilotti 2018a. Hyödyntäminen. <<http://poistotekstiili.turkuamk.fi/hyodyntaminen/>> (luettu 1.4.2018)
- Tekstiili 2.0 Poistotekstiilipilotti 2018b. Telaketju. <<http://poistotekstiili.turkuamk.fi/telaketju/>> (luettu 30.3.2018)
- Vadicherla Thilak & Dhandapani Saravanan 2014. Textiles and Apparel Development
Using Recycled and Reclaimed Fibers. Singapore: Springer.

VTT 2017a. Paptic suunnittelee paperikoneinvestointia tuodakseen muovin haastavan pakkausmateriaalin markkinoille. <<http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/paptic-suunnittelee-paperikoneinvestointia-tuodakseen-muovin-haastavan-pakkausmateriaalin-markkinoille1>> (luettu 6.4.2018)

VTT 2017b. Voiko vaahto olla ystävällinen paperinvalmistuksessa. <<https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/voiko-vahto-olla-ystavallinen-paperinvalmistuksessa>> (luettu 29.5.2018)

Ympäristöministeriö 2015. Jätteet. <<http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Jatteet>> (luettu 1.4.2018)

Zitting, Jaakko 2018. Tekstiilien tunnistusteknologiaa teollisessa mittakaavassa. <<https://telaketju.turkuamk.fi/blogi/tekstiilien-tunnistusteknologiaa-teollisessa-mittakaavassa/>> (luettu 1.4.2018)

Liitteet

Liite 1. Haastattelulomake

1. Kerro lyhyesti millä menetelmällä yrityksenne olisi halukas kokeilemaan mekaanisesti kierrätetyn tekstiilikuidun käyttöä ja oletteko kiinnostuneita teollisuudesta saatavasta (pre consumer) vai kuluttajilta saadusta (post consumer) tekstiilikuidusta?
2. Missä langan, kankaan tai kuitukankaan tuotanto tapahtuu?
3. Onko yrityksellänne aikaisempaa kokemusta kierrätyskuidun käytöstä ja jos on, millaisia tuloksia olette saaneet? Onko käyttämänne kuitu ollut peräisin pre- vai post consumer tekstiileistä?
4. Vaikuttaako tuotteiden alkuperän ja käyttöhistorian tunteminen kuidun käytettävyyteen yrityksessänne? Onko esimerkiksi pesulan poistojäte teille kiinnostavampaa kuin kuluttajilta saatu tekstiilijäte?
5. Onko yrityksellänne toiminnassa tällä hetkellä kierrätykseen liittyviä palveluliiketoimintamalleja (esim. vanhojen tekstiilien keräystä tms.)?
6. Näettekö tekstiilien tunnistus- ja seurantarjestelmien kehittämisessä ja vaatteiden merkitsemisessä tulevaisuudessa hyötyä?
7. Millaisessa muodossa kuidun tulee olla, jotta pystytte sitä hyödyntämään?
 - Kuitupituus
 - Kuitulujuus
 - Väri
 - Puhtaus
 - Saako kuituaines pitää sisällään seoksia vai pitääkö olla 100 prosenttisesti tiettyä kuitua? Mikäli voitte hyödyntää seoksia, millaisia?
 - Hinta (saako olla kalliimpaa kuin uusi kuitu?)
8. Onko väliä, onko tekstiilijäte lajiteltu kudottuihin ja neulottuihin tekstiileihin ennen kuitujen avaamista? (Mitä jos avatun kuidun sekaan jää lankoja?)

9. Pystyttekö käyttämään kierrätettyä kuitua sellaisenaan vai sekoitatteko sen neutraaliseen kuituun? Jos sekoitatte uuteen kuituun, millaisen suhteen kuvittelette olevan ihanteellisin?

10. Millaisia laatukriteerejä teillä on lopputuotteelle?

- Ulkonäkö
- Kestävyys (hankauslujuus, vetolujuus, murtolujuus)
- Mukavuus (esim. tuntu, sähköistyvyys, hengittävyys)
- Hygieenisuus
- Kosteudenimukyky

11. Onko yrityksellänne suunnitelmia lisätä kierrätetyn tekstiilikuidun hyödyntämistä tulevaisuudessa? Millaisia toimenpiteitä olette ajatelleet?

