



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# UUDET SELLULOOSAPOHJAISET TEKSTIILI- MATERIAALIT

Eemeli Lallukka

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka  
Kemiantekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka  
Kemiantekniikka

LALLUKKA, EEMELI

Uudet selluloosapohjaiset tekstiilimateriaalit

Opinnäytetyö 34 sivua  
Toukokuu 2016

---

Tämä opinnäytetyö kertoo uusista selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista. Työ tehtiin kirjallisuusselvityksenä ja siinä selvitettiin, mihin uusia tekstiilimateriaaleja tarvitaan sekä millaisia uusia selluloosaan perustuvia tekstiilimateriaaleja on kehitteillä. Tarkemmin tässä työssä kerrotaan Ioncell-F- ja Biocelsol-menetelmistä. Työssä käydään läpi myös selluloosapohjaisten tekstiilien historiaa ja tulevaisuuden näkymiä.

Maailman väkiluku kasvaa, tämä ja monet muut syyt tekevät sen, että tekstiilejä tarvitsee tulevaisuudessa tuottaa huomattavasti nykyistä enemmän. Tällä hetkellä eniten tekstiileistä tuotetaan polyesteriä, joka on öljypohjainen materiaali. Öljyn käyttöä vähennetään tulevaisuudessa, öljyvarantojen vähenemisen vuoksi. Puuvillaa tuotetaan tekstiileistä toiseksi eniten. Puuvillan tuotanto kuluttaa paljon vettä sekä viljelyskelpoista maata. Puuvillapelloilta kulkeutuu luontoon myös viljelyssä käytettyjä ravinteita ja kemikaaleja.

Ioncell-F on kehitetty Aalto-yliopiston ja Helsingin yliopiston yhteistyönä. Ioncell-F-menetelmässä sellu liuotetaan ionisen liuottimen avulla. Biocelsol-menetelmää on kehitetty Tampereen teknillisen yliopiston materiaalitekniikan laitoksella. Biocelsol-menetelmässä sellu käsitellään entsyymeillä, jonka jälkeen sellu saadaan liukenemaan emäksiseen liuottimeen. Suomessa myös kehitetään Spinnova Oy:n toimesta myös suoraan puukuidusta tapahtuvaa kehruuta.

Uudet selluloosapohjaiset tekstiilimateriaalit ovat vielä kehitysasteella, joten niiden tulevaisuudessa on paljon epävarmuutta. Suomessa selluloosalle etsitään uusia käyttökohteita, ja tekstiilimateriaalit voivat hyvinkin olla yksi niistä. Uusien menetelmien menestyminen riippuu paljon siitä, kuinka taloudellisesti kannattavaksi ne saadaan. Tekstiilien kierrätys tulee lainsäädännön takia tulevaisuudessa lisääntymään. Selluloosapohjaisia tekstiilejä pystytään kierrättämään uudelleen alkuperäiseen käyttötarkoitukseen, tämä lisää niiden mahdollisuuksia tekstiilimarkkinoilla.

---

Asiasanat: selluloosamuuntokuidut, ioncell-f, biocelsol, spinnova, tekstiilimateriaalit

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering  
Option of Chemical Engineering

LALLUKKA, EEMELI:  
New Cellulose Based Textile Materials

Bachelor's thesis 34 pages  
May 2016

---

This thesis deals with new cellulose based textile materials. The aim of the thesis was to find out why new textile materials are needed and what kind of new cellulose based textile materials are developed. More closely, this thesis deals with Ioncell-F and biocelsol methods.

The world's population is growing, therefore more food and water is needed in the future. Cotton is the second most produced textile material in the world. The main problems with cotton is that cotton production needs a great deal of water and farmland. The most produced textile material is oil based polyester. Oil is a nonrenewable resource, therefore it is going to run out in the future or at least the price is going to rise a lot.

Ioncell-F is manufactured with a new method where the cellulose dissolved to the ionic solvent. Ioncell method was developed in cooperation by Aalto University and the University of Helsinki. In a Biocelsol process cellulose is treated with enzymes so it can dissolve to the weak base. Biocelsol method was developed by the Tampere University of Technology. Ioncell-F and Biocelsol is still in the stage of development. The success of these new textile materials depends a lot on how economically efficient the materials are. Textile recycling is an important issue in the future of textile industry. New methods allows better recycling of cellulose based textile materials.

---

Key words: ioncell-F, biocelsol, textile materials

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MIHIN UUSIA TEKSTIILIMATERIAALEJA TARVITAAN .....	7
	2.1 Tekstiilien käytön kasvu .....	7
	2.2 Ympäristötekijät.....	7
	2.2.1 Vedenkulutus.....	8
	2.2.2 Viljelysmaan käyttö .....	9
	2.2.3 Haitallisten aineiden käyttö.....	9
	2.3 Mahdollisuudet .....	10
3	SELLULOOSAPOHJAISTEN TEKSTIILIEN HISTORIA.....	11
	3.1 Yleistä .....	11
	3.2 Viskoosi .....	11
	3.2.1 Valmistus.....	12
	3.2.2 Laatu.....	13
	3.2.3 Ympäristövaikutukset .....	14
	3.3 Modaali .....	14
	3.4 Kupro .....	14
4	LYOCELL.....	16
	4.1 Yleistä .....	16
	4.2 Valmistus .....	16
	4.3 Raaka-aineet.....	18
	4.4 Laatu .....	18
	4.5 Ympäristövaikutus .....	18
	4.6 Käyttö.....	19
5	IONCELL-F .....	20
	5.1 Yleistä .....	20
	5.2 Valmistus .....	20
	5.3 Raaka-aine.....	21
	5.4 Laatu .....	21
	5.5 Ympäristövaikutus .....	21
	5.6 Kaupalliset mahdollisuudet.....	22
	5.7 Haasteet.....	22
6	BIOCELSOL .....	23
	6.1 Yleistä .....	23
	6.2 Valmistus .....	23
	6.3 Raaka-aine.....	23
	6.4 Laatu .....	24
	6.5 Ympäristövaikutus .....	24

6.6	Kaupalliset mahdollisuudet ja haasteet .....	24
7	SPINNOVA .....	25
7.1	Yritys.....	25
7.2	Langan valmistus .....	25
7.3	Tulevaisuus .....	25
8	TEKSTIILIEN KIERRÄTYS .....	26
8.1	Yleistä .....	26
8.2	Selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien kemiallinen kierrätys .....	26
9	TULEVAISUUS.....	28
9.1	Lähitulevaisuus .....	28
9.2	Metsä Fibre biotuotetehdas .....	28
9.3	Mahdollisuudet ja visiot.....	29
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	30
	LÄHTEET.....	32

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kertoa uusista selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista. Työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle kirjallisuusselvityksenä. Uusista selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista puhutaan, mutta niistä ei ole kovinkaan paljon tietoa esillä, joten on hyvä kerätä niistä olevaa tietoa yhteen paikkaan.

Työssä kerrotaan miksi uusia tekstiilimateriaaleja tarvitaan, nykyisien hallitsevien polyesterin ja puuvillan rinnalle. Selluloosasta on tehty tekstiilejä kauan, työssä kerrotaan selluloosamuuntokuitujen historiasta, sekä tarkemmin keskitytään niistä muutamaa yleisimpään.

Uusista selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista keskitytään kahteen eniten esillä olevaan, jotka ovat Ioncell-F ja Biocelsol. On kuitenkin olemassa myös muita menetelmiä ja visioita, joilla selluloosasta voitaisiin tulevaisuudessa tehdä tekstiilimateriaaleja, näistä Spinnova-menetelmästä kerrotaan hieman. Selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien yksi hyvä puoli on niiden mahdollinen kierrätettävyys, joten työssä kerrotaan missä vaiheessa kierrätysmenetelmät tällä hetkellä ovat.

## 2 MIHIN UUSIA TEKSTIILIMATERIAALEJA TARVITAAN

### 2.1 Tekstiilien käytön kasvu

Maailmassa tuotettiin vuonna 2014 polyesteriä ja puuvillaa yhteensä noin 65 miljoonaa tonnia. Vuoteen 2020 mennessä polyesterin ja puuvillan tuotantomäärien uskotaan nousevan noin 90 miljoonaan tonniin. Tekstiilien käytön kasvuun vaikuttaa esimerkiksi yhtä käyttökertaa varten hankitut vaatteet, muodin nopeat muutokset ja edullisten vaatteiden saatavuus. (Dahlbo ym. 2015, 8-9.)

Puuvillan tuotantomääriin vaikuttaa sääolot, joten puuvillan tuotanto ei ole tasaista. Puuvillan tuotannon ailahtelevuutta on pystytty kompensoimaan synteettisillä kuiduilla. Synteettisiin kuituihin käytetään kuitenkin petrokemian tuotteita. Öljyvarannot hupenevat koko ajan, tästä johtuen tulevaisuudessa öljystä jää tekstiiliteollisuuden käyttöön aina vain pienempi osa. Samalla kun maailman ihmismäärä kasvaa huimaa vauhtia ja tekstiilien tarve kasvaa, tarvitaan myös enemmän ruokaa. Ruuan tarpeen kasvu valjastaa viljelysmaita käyttöön, joten puuvillan viljelylle on vaikea saada uusia viljelysmaita. Uusia tekstiilimateriaaleja tarvitaan jo aivan siitäkkin syystä, että tekstiilien tarve kasvaa ja nykyisten tekstiilimateriaalien tuotantoa ei voi loputtomasti lisätä. (Vehviläinen 2015)

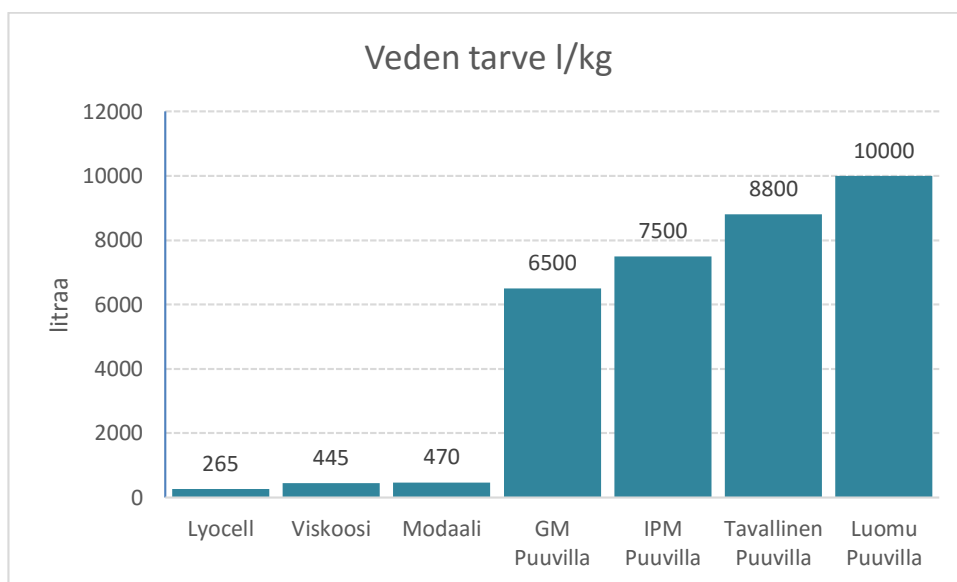
### 2.2 Ympäristötekijät

Monilla nykyisin paljon käytetyillä tekstiileillä on ympäristön kannalta haitallisia vaikutuksia, jossakin vaiheessa tekstiilin elinkaarta. Uudet selluloosapohjaiset tekstiilimateriaalit ovat ympäristöä vähemmän kuluttavia, koska niiden suunnittelussa on otettu huomioon kehittynyt ympäristötietoisuus. Tekstiilien ympäristövaikutuksia voi vertailla usealla eri tavalla. Yksi näistä tavoista on elinkaariajattelu, jossa tekstiilien ympäristövaikutukset arvioidaan tekstiilin elinkaaren jokaisessa vaiheessa erikseen. Tekstiilituotteiden elinkaaren vaiheet voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti: materiaalit, tekstiili- ja vaate-tuotanto, jakelu ja vähittäismyynti, käyttö ja hävittäminen. Toinen hyvä tapa verrata tekstiilimateriaalien ympäristöystävällisyyttä on hiilijalanjälki, eli kuinka paljon kasvihuonekaasuja jonkin tekstiili tuotteen valmistuksessa on syntynyt. (Nikunen, Suomela & Temmes 2014)

### 2.2.1 Vedenkulutus

Tekstiilien valmistuksessa kuluu paljon vettä. Vettä kuluu runsaasti sekä joidenkin materiaalien viljelyssä, että tekstiilien värjämisessä. Vuonna 2013 Nanso Groupin värjäysprosessissa kului keskimäärin 230 litraa vettä yhtä neuloskiloa kohden. Valmistus- ja värjäysprosessien vedenkulutusta pystytään kuitenkin laskemaan kehittämällä prosesseja. (Nanso, a.)

Puuvillan tuotannossa kuluu todella paljon vettä. Keskimääräinen vedenkulutus yhtä ki-  
loa valmista puuvillakangasta on jopa 10 000 litraa. Vedenkulutus kuitenkin vaihtelee paljon sen mukaan missä puuvilla on tuotettu. Esimerkiksi Kiinassa vettä kuluu 6000 litraa per kilo kangasta, kun taas Intiassa vastaava luku on jopa 22500 litraa per kilo. Näistä luvuista näkee selvästi, kuinka suhteellinen vedenkulutus puuvillan tuotannossa kasvaa, jos puuvillan kasvavaa tarvetta paikataan alueilla missä sen kasvattamiseen kuluu paljon vettä. Kuviosta 1 voi nähdä kuinka paljon puuvillan tuotanto tarvitsee vettä, kun sitä verrataan selluloosamuuntokuituihin. (Waterfootprint product gallery)



KUVIO 1. Veden tarve eri kuiduilla (Hämmerle 2011, 19.)

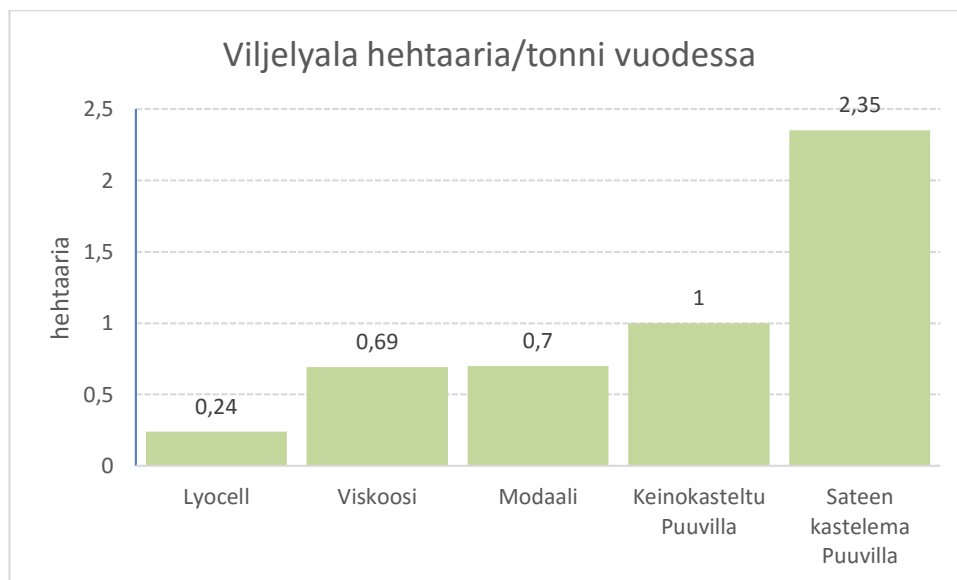
Puuvillan tuotannon vedenkulutus on jo nyt suuri ongelma, mutta tulevaisuudessa vieläkin suurempi. Puuvillan keinokastelu on yksi suurimmista syistä, miksi Araljärvi on osittain kuivunut. Veden puutteesta kärsii jo nyt suuri osa maailman ihmisistä. Tulevaisuudessa veden puutteesta kärsii vielä suurempi joukko ihmisistä, tämä johtaa siihen että vettä



ei voida käyttää kuitujen tuotantoon enää entisiä määriä. Selluloosamuuntokuitujen raaka-aineet saadaan metsästä, jota ei tarvitse kastella tai lannoittaa. (Hämmerle 2011, 18-19.)

### 2.2.2 Viljelysmaan käyttö

Puuvillan viljely tarvitsee myös suuria aloja viljelysmaata. Tätä ongelmaa ei synteettisillä kuiduilla ole. Synteettisten kuitujen ongelma on kuitenkin niiden öljyn tarve. Viljelysmaita tarvitsee tulevaisuudessa aina vain enemmän ruuan viljelyyn. Metsä kasvaa myös laadultaan huonommassa maassa, missä ruokaa ei edes voida viljellä. Puuvillan viljelysmaailta kulkeutuu luontoon myös viljelyssä käytettyjä kemikaaleja. Kuviosta 2 voi nähdä kuinka paljon maata tarvitaan yhden tonnin vuosituotantoon, kun puhutaan puuvillasta ja selluloosamuuntokuiduista. (Hämmerle 2011, 18.)



KUVIO 2. Viljelyalan tarve eri kuiduilla (Hämmerle 2011, 18.)

### 2.2.3 Haitallisten aineiden käyttö

Monien synteettisten kuitujen valmistuksessa käytetään ympäristölle tai ihmiselle haitallisia aineita. Synteettisten kuitujen valmistuksen yleisimmät lähtöaineet ovat öljy, kivihiili, vesi ja ilma. Öljy ja kivihiili ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, joten niiden varaan ei voi tulevaisuutta rakentaa. Jotkin synteettisistä kuiduista ovat vaikeita värjätä,

tästä syystä kuiturakennetta saatetaan käsitellä värjäyksen helpottamiseksi turvotainneilla, jotka ovat aineiden käsittelijälle haitallisia. Synteettisten kuitujen valmistuksessa käytetään myös haihtuvia liuottimia, mutta näiden käyttöä on vähennetty ympäristömerkien vaatimusten takia. (Boncamper 2011, 275, 312.)

Puuvillan viljelyssä käytetään lannoitteita ja muita kemikaaleja, jotka voivat kulkeutua pelloilta muualle ekosysteemiin. Puuvillan viljelyn johdosta juomavesiin voi kulkeutua esimerkiksi ravinteita, suoloja tai tuholaismyrkkyjä. Luomupuuvillalla ei ole ongelmia kemikaalien kanssa ja sen kasteluun käytetty vesi pääseeikin valumaan pelloilta pois puhtaana. (Soth, J. 1999, 5.)

### **2.3 Mahdollisuudet**

Uusien selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien valmistusmenetelmien kehittäminen avaa paljon uusia mahdollisuuksia. Prosessit voidaan jo kehittäessä suunnitella ympäristöystävällisemmiksi, myös niiden raaka-aineet voidaan kasvattaa niille luontaisilla alueilla. Suomessa on paljon metsää, tästä johtuen selluloosapohjaisten materiaalien valmistus ja kehittäminen on luonnollista täällä. Selluloosan uudet käyttökohteet nostavat suomalaisen metsän arvoa ja lisäävät mahdollisuuksia käyttää sitä paremmin hyödyksi. Uudet menetelmät myös mahdollistavat tekstiilien kierrätyksen vanhoja menetelmiä paremmin. (VTT 2015, c.)

### 3 SELLULOOSAPOHJAISTEN TEKSTIILIEN HISTORIA

#### 3.1 Yleistä

Lähes kokonaan selluloosaa olevia puuvillaa ja pellavaa on käytetty tekstiileissä tuhansia vuosia. Pellava onkin vanhin tunnettu tekstiilikuitu, josta aiemmin tehtiin lähes kaikki vaatteet. Sittemmin pellavakuidun käyttö tekstiilinä on rajoittunut pitkälti sisustustuotteisiin. Nykyisin pellava on jälleen alettu käyttämään jonkun verran myös vaatteissa. Pellavan korvasi puuvilla, mikä onkin maailman tunnetuin tekstiilikuitu. Pellavan suosio hiipui esimerkiksi siitä syystä että pellavasta tehtyihin vaatteisiin tulee helposti ryppyjä, joita ei aina saa suoraksi. Nykyisin ryppyjen muodostumista sekä pellavalla, että puuvillalla voidaan ehkäistä käsittelyillä ja kuitujen sekoituksilla. (Vanhatalo 2009)

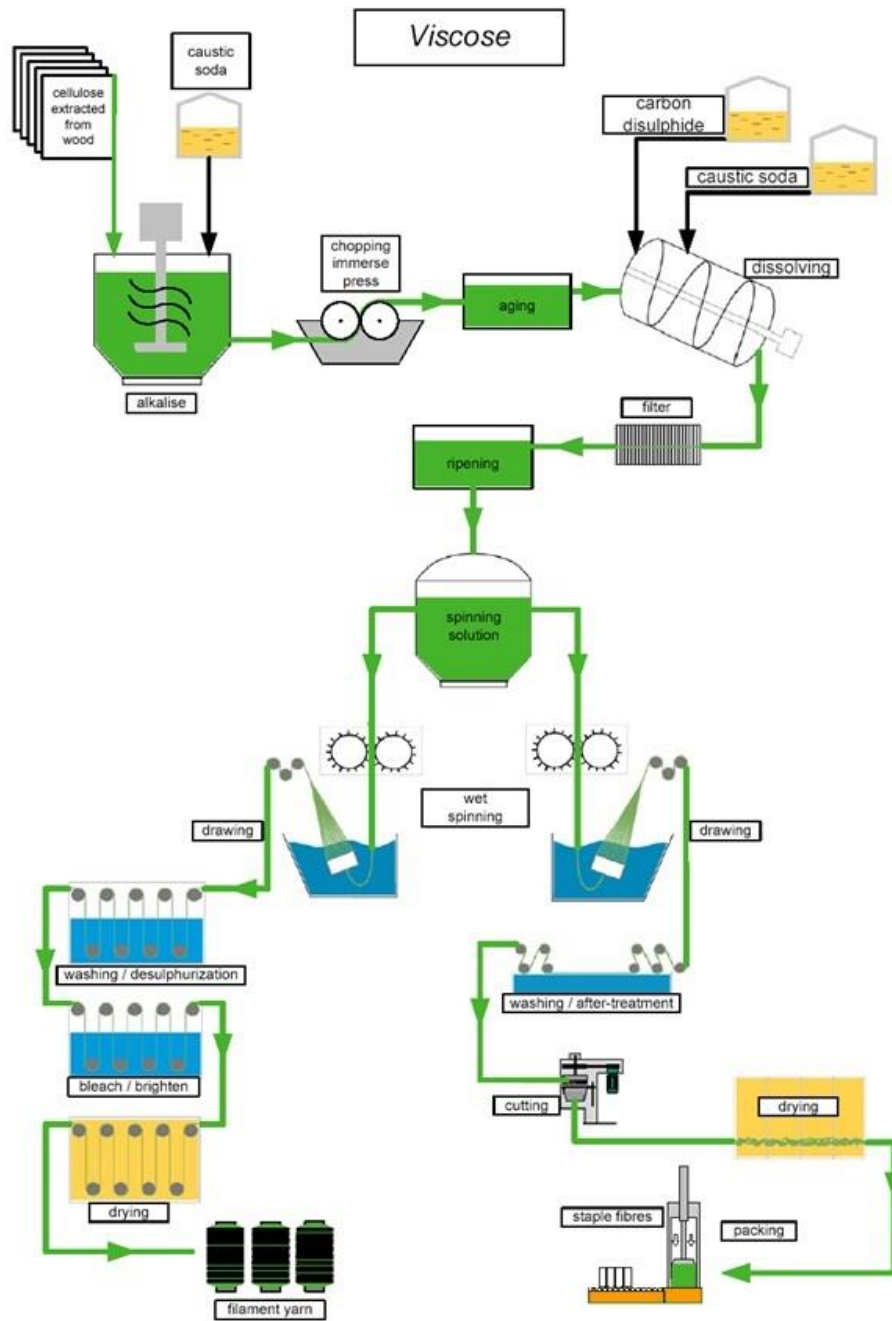
1800-luvun alkupuolella tiedettiin, että tekstiilikuitujen tapaisia molekyylejä esiintyy luonnossa muutenkin kuin vain jo käytössä olevina kuituina. Ongelmana oli saada kuidut sellaiseen muotoon, että niistä pystyi valmistamaan tekstiilejä. Jo 1800-luvulla ongelma oli sama kuin vielä tänä päivänäkin, eli mikä olisi paras menetelmä liuottaa selluloosaa. Ranskassa alettiin valmistamaan 1891 nitrokuitua. Nitrokuitu oli hyvin epävarmalla ja kalliilla prosessilla tehtyä, joten sen valmistus lopetettiin 1934. Monet muutkin kehittivät omia menetelmiään ja vuonna 1892 Englannissa onnistuttiin kehittämään viskoosimenetelmä. Myös kupron valmistusmenetelmä kehitettiin 1800-luvun lopussa. Näiden menetelmien rinnalla onnistuttiin kehittämään uusi selluloosamuuntokuidun valmistusmenetelmä vasta 1970-luvun lopussa kun lyocell-kuidun valmistusmenetelmä kehitettiin. (Boncamper 2011, 225.)

#### 3.2 Viskoosi

Viskoosi on viskoosimenetelmällä valmistettua kuitua. Viskoosi tunnetaan myös nimillä silla, säteri ja raion. Viskoosin valmistuksen raaka-aineena käytetään puuselluloosaa. Sopivia puita viskoosin raaka-aineeksi ovat esimerkiksi kuusi, koivu, eukalyptus ja bambu. Sellun selluloosapitoisuuden tulee olla vähintään 90 prosenttia ja polymeroitumisasteen tulee olla 1000 tai sen yli, jotta sellu soveltuu viskoosin valmistukseen. (Boncamper 2011, 227-228.)

### 3.2.1 Valmistus

Viskoosin valmistuksessa sellua joudutaan käsittelemään monessa eri vaiheessa, jotta se saadaan liukenemaan. Kuviossa 3 on kuvattu viskoosikuidun valmistusprosessi. Viskoosikuidun valmistus aloitetaan merseroinnilla, missä selluloosa arkit käsitellään 18 prosenttisella NaOH-liuoksella. Käsitelyssä osa selluloosamolekyyleistä muuttuu alkaliseluloosaksi. Tämän jälkeen arkit puristetaan kuivemmiksi ja revitään. Esikypsytyksessä selluloosan annetaan reagoida hapen kanssa, happi pilkkoo selluloosaketjuja ja tekee selluloosasta puhtaampaa ja tasalaatuisempaa. Rikityksessä selluloosaan laitetaan rikkihiiltä, mikä reagoi alkaliseluloosan kanssa synnyttäen selluloosasaksantaattia. Selluloosa liuotetaan NaOH-liuokseen. Saatu liuos eli viskoosi kypsytetään huoneenlämmössä. Liuoksesta suodatetaan pois epäpuhtaudet ja poistetaan ilma. Puhdas viskoosimassa pumpataan kehrusuulakkeiden läpi kehruukylpyyn, missä on vettä, rikkihappoa, natriumsulfaattia ja sinkkisulfaattia. Liuoksessa viskoosi muuttuu puhtaaksi selluloosakuiduksi. Kuidut katkotaan sopivan pituisiksi ja pestään, jotta kuituihin jääneet epäpuhtaudet saadaan pois. (Boncamper 2011, 228-233.)



KUVIO 3. Viskoosikuidun valmistus (Cirfs European Man-Made Fibres Association 2016, a.)

### 3.2.2 Laatu

Viskoosikuitujen laatu riippuu paljon siitä kuinka hyvin kuitu on tehty, koska viskoosiprosessissa on monia vaiheita mitkä vaikuttavat lopullisen kuidun laatuun. Myös raaka-aineen laadulla on iso vaikutus viskoosikuidun laatuun. Viskoosi on puuvillaan verrattuna

heikompa lujuudeltaan ja kemialliselta kestoaltaan. Viskoosi ei myöskään oikene tai pysy mitassa yhtä hyvin kuin puuvilla. (Boncamper 2011, 234-235.)

### **3.2.3 Ympäristövaikutukset**

Viskoosin valmistuksessa käytetään ympäristölle ja ihmiselle haitallista rikkihiiltä. Rikkihiili pystytään kuitenkin nykyään keräämään talteen ja käyttämään prosessissa uudelleen. Prosessissa syntyy myös natriumsulfaattia, jota voidaan käyttää muualla teollisuudessa. Jälkikäsitelyssä pesuveteen voi joutua rikkihappoa, natriumsulfaattia tai sinkki-sulfaattia, pesuvedet voidaan kuitenkin puhdistaa. Prosessissa käytettävien ja syntyvien haitallisten aineiden talteenotto ja uudelleenkäyttö kuluttaa kuitenkin energiaa. (Boncamper 2011, 243-244.)

### **3.3 Modaali**

Modaalia valmistetaan käytännössä samalla prosessilla kuin viskoosia. Modaali on kuitenkin ominaisuuksiltaan viskoosista poikkeavaa. Modaalin ja viskoosin suurin ero on niiden lujudessa, etenkin märkälujuudeltaan modaali on selkeästi viskoosia lujempaa. Saadakseen viskoosiprosessilla valmistettua modaalia pitää prosessissa käytetyn selluloosan olla korkealaatuista ja sen polymeroitumisasteen tulee olla vähintään 1000. Modaalin valmistuksessa pyritään saamaan kuidun molekyylit mahdollisimman samansuuntaisiksi. Selluloosamolekyylit saadaan pidettyä mahdollisimman pitkinä lyhentämällä esi- ja jälkikypsytystä. Jälkikypsytytys voidaan jopa poistaa kokonaan. Modaali on monilta ominaisuuksiltaan lähempänä puuvillaa kuin viskoosi. (Boncamper 2011, 245-246.)

### **3.4 Kupro**

Kupro on kupriammoniakkimenetelmällä valmistettu selluloosamuuntokuitu. Kupro on silkkimäinen ja pehmeä kuitu, jolla on viskoosin kanssa melko samat lujuusominaisuudet. Kupron venymä ei ole aivan yhtä suuri kuin viskoosilla. Kupro myös kestää kemikaaleja viskoosia paremmin. Kupron raaka-aineena käytetään nykyään puuselluloosaa, kun taas aiemmin kuproa valmistettiin pääasiassa puuvillalintersistä. Kupron valmistusmenetelmä

on melko samanlainen kuin viskoosimenetelmä. Kupro-menetelmässä merseroitu alkali-selluloosa käsitellään kuparioksidin ja ammoniakin seoksella Cuoxamilla. Kehruuliukseen kupron valmistuksessa käytetään lipeää, kuparisulfaattia ja kuparihydroksidia. Kupron valmistuksessa kehruukylpynä toimii vesi. (Boncamper 2011, 251-253.)

## 4 LYOCELL

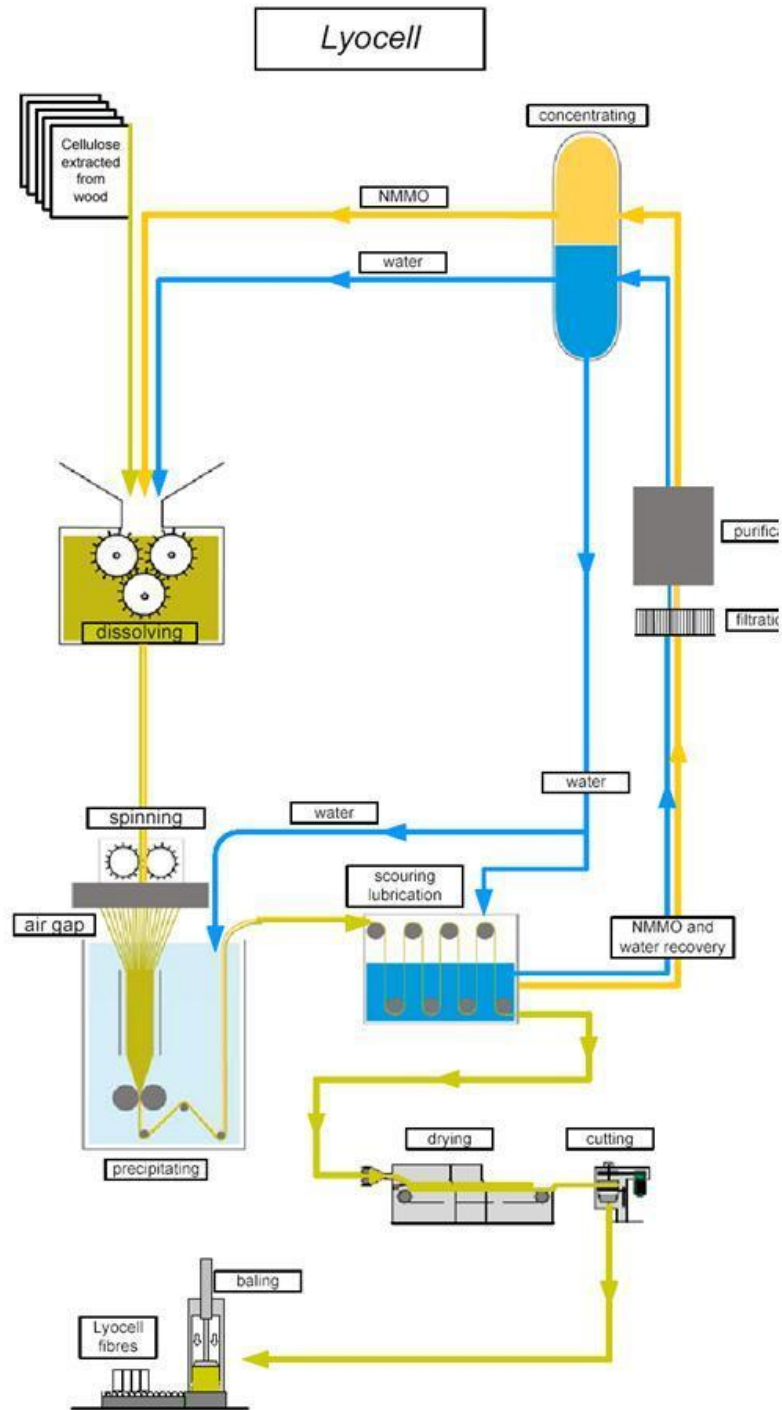
### 4.1 Yleistä

Lyocell on selluloosamuuntokuitu, joka tunnetaan myös kauppanimellä Tencell. Kuitua aloitettiin kehittämään 70-luvun lopussa, markkinoille lyocell-kuitu tuli 90-luvulla. Lyocell on viskoosin kanssa hyvin samankaltainen. Suurin ero viskoosin ja lyocellin välillä on valmistusprosessi, mikä on lyocell-kuidun valmistuksessa ympäristöystävällisempi, koska selluloosa liuotetaan ilman sen pilkkomista. (Boncamper 2011, 248-249.)

### 4.2 Valmistus

Lyocell valmistetaan liuottamalla selluloosaa veteen liuotettuun NMMO (N-metylmorfoliini-N-oksidi)-liuottimeen. Liuotus tapahtuu kuumentamalla, jolloin vettä haihtuu ja selluloosa pääsee liukenemaan liuottimeen. Liuos suodatetaan ja kehrätään selluloosakuiduksi märkäkehrulla. Lyocellin tuotannossa käytettävä kehrumenetelmä poikkeaa kuitenkin viskoosimenetelmän märkäkehrusta. Lyocell-prosessin kehrumenetelmää voidaan kutsua myös ilmarakokehruksi. (Rissanen, 2014, a) Lyocell-prosessissa kehruliuksena käytetään vettä. Kehrätty kuitu pestään ja viimeistellään sen mukaan mihin kuitua tullaan käyttämään. Kuviossa 4 on kuvattu Lyocellin valmistus. (Boncamper 2011, 249.)





KUVIO 4. Lyocell-kuidun valmistus (Cirfs European Man-Made Fibres Association 2016, b.)

Käytetystä NMMO-liuottimesta saadaan talteen jopa 99,5 prosenttia, uutta käyttöä varten. Lyocellin valmistusprosessissa myös vedet kierrätetään hyvin tehokkaasti. Viskosiin verrattuna lyocellin valmistukseen kuluu huomattavasti vähemmän energiaa sekä aikaa. (Boncamper 2011, 249.)

### 4.3 Raaka-aineet

Lyocell valmistetaan tavallisimmin eukalyptus-puun selluloosasta. Eukalyptus on Australiasta lähtöisin oleva puulaji, mikä kasvaa jopa 40 metriä korkeaksi. Eukalyptus sopeutuu hyvin myös esimerkiksi Etelä-Amerikkaan ja Etelä-Eurooppaan. Eukalyptuksen etuna pidetään sen nopeaa kasvua ilman keinotekoisista kastelua, esimerkiksi Brasiliassa eukalyptus kasvaa hakkuuikään noin seitsemässä vuodessa. (Kallsten 2014) Eukalyptus ei vaadi viljelymaalta paljoa, vaan se kasvaa myös ruuan viljelyyn sopimattomissa paikoissa. (Lenzing)

### 4.4 Laatu

Lyocell-kuidulla on paljon hyviä ominaisuuksia. Lyocell on hengittävä kuitu, millä on hyvät lujuusominaisuudet sekä märkänä että kuivana. Lyocell-kankaalle tehdään usein biotouch-viimeistely, joka tekee lyocellistä pehmeämpää ja helpottaa ryppyjen oikentamista. (Vanhatalo 2009)

Lyocell-kuidusta tehdyillä neuleilla on jopa kaksikertaa parempi kosteustasapainon säätelykyky kuin puuvillalla. Kuitu myös heikentää luonnostaan bakteerien kasvua ilman kemiallista käsittelyä. Bakteerien kasvua lyocell estää imemällä kosteuden kuidun sisään, jolloin pinnalle ei jää bakteerien tarvitsemaa kosteutta. Neuloksena lyocell on pehmeä ja silkkimäinen. (Nanso, b.)

### 4.5 Ympäristövaikutus

Lyocell on hyvin ympäristöystävällinen, jos sitä verrataan esimerkiksi viskoosiin tai muihin markkinoilla oleviin selluloosamuuntokuituihin. Lyocellin valmistusprosessissa käytettävä liuotin NMMO on myrkytön ja se voidaan käyttää isolta osin uudestaan. Lyocellin valmistusprosessi on suljettu, joten se kuluttaa vähemmän energiaa kuin sen edeltäjät. (Nanso, c.)

Lyocellin valmistuksen haitalliset ympäristövaikutukset tulevat siitä että eukalyptusviljelmien tieltä tuhotaan paljon luontaista ekosysteemiä. Mikäli raaka-ainetta voidaan kasvaa ilman uusien alueiden tuhoamista viljelmien tieltä, on lyocell hyvin ympäristöystävällinen materiaali. (Apps 2014)

#### **4.6 Käyttö**

Lyocell-kuidusta tehtyä kangasta käytetään materiaalina monenlaisissa vaatteissa. Kankaasta tehdään esimerkiksi housuja, paitoja, hameita ja muita denimtyyppisiä tuotteita. Lyocellistä voi myös valmistaa ohutta silkin tapaista materiaalia, josta saa valmistettua ylellisemmän tuntuisia tuotteita. Lyocellia voi käyttää joko sellaisenaan tai sekoitettuna johonkin toiseen materiaaliin, kuten puuvillaan. (Vanhatalo 2009)

## 5 IONCELL-F

### 5.1 Yleistä

Aalto-yliopistossa on kehitelty professori Herbert Sixtan johdolla viskoosia ja lyocellia ympäristöystävällisempää Ioncell-kuidun valmistusmenetelmää. Menetelmässä käytettävän ionisen liuottimen kehittivät Helsingin yliopiston professori Ilkka Kilpeläinen ja dosentti Alistair King. Ioncell-kuitua alettiin kehittämään vuonna 2009 ja 2012 – 2013 vuodenvaihteessa kuidun kehräämisessä tehtiin läpimurto. Ioncell-F on teknisiltä ominaisuuksiltaan laadukasta ja sitä voidaankin hyödyntää moniin eri käyttötarkoituksiin. Ioncellin ympäristöystävällisyys ja laadukkuus tekevät siitä tulevaisuutta ajatellen erittäin mielenkiintoisen tekstiilimateriaalin. (Anteroinen 2015)

### 5.2 Valmistus

Ioncell-F:n valmistusprosessissa on paljon samaa kuin lyocellin valmistusprosessissa. Ioncell-F:n valmistuksessa selluloosa liuotetaan ioniseen liuottimeen. Liuos suodatetaan ja kehrätään lyocell-prosessista tutulla ilmarakokehruulla. Ilmarakokehruussa liuos puhdistetaan suuttimien läpi kuiduiksi kehruuliukseen, josta kuidut kerätään. Saadulle filamenttikuidulle tehdään käyttötarkoituksen mukaiset jatkotoimet, eli kuitu katkotaan sopivan mittaisiksi paloiksi, avataan, pestään ja kuivataan. Kuivattu kuitu karstataan ja kehrätään langaksi. (Raskinen 2014)

Päällepäin ioncell-prosessi on hyvin lähellä lyocell-prosessia. Ioncell-prosessissa käytetyn ionisen liuottimen ansiosta, Ioncell-prosessin olosuhteet ovat kuitenkin erilaiset kuin lyocell-prosessissa. Ioncell-prosessissa liuotus- ja kehruvaihe voidaan suorittaa kohtuullisen matalassa lämpötilassa, toisin kuin lyocell-prosessissa, tästä johtuen Ioncell-prosessin olosuhteet ovat selluloosalle paremmat. Olosuhteiden ja hellävaraisen liuottimen ansiosta selluloosa ei vahingoitu prosessissa samalla tavalla kuin lyocellin valmistuksessa, joka mahdollistaa korkeamman kuidun saannon, sekä paremman laatuksen kuidun. (Sixta ym. 2015)

### 5.3 Raaka-aine

Ioncell-F:n raaka-aineena voidaan käyttää puhdasta selluloosaa tai kierrätysmateriaaleja. Ensimmäiset Ioncell-F-tuotteet tehtiin koivuselluloosasta, mutta kuitua on Ioncell-menetelmällä valmistettu myös esimerkiksi kierrätyspahvista ja puuvillajätteestä. Kierrätyspuuvillasta onkin mahdollisesti muodostumassa Ioncell-F-menetelmän pääraaka-aine. (Lehtinen 2016, 1.) Ioncell-prosessi soveltuu hyvin kierrätysmateriaalien käsittelyyn, koska käytetty ioninen liuotin ei ole herkkä epäpuhtauksille. (Aalto-yliopisto 2016)

### 5.4 Laatu

Ioncell-menetelmällä puuvillan uusiokäytöstä syntynyt tekstiili on luonnehdittu olevan tuntumaltaan puuvillan ja silkin välimaastosta. (Lehtinen 2016, 2.) Ioncell-menetelmällä valmistettu kuitu on viskoosia teknisiltä ominaisuuksiltaan parempaa. Ioncell-kuidun keskimääräinen vetolujuus normaaliolosuhteissa on kaksi kertaa viskoosia suurempi, märkänä Ioncellin vetolujuus on jopa nelinkertainen viskoosiin verrattuna. (Palovuori 2014, 12.) Selluloosamuuntokuiduista Ioncell onkin lähimpänä lyocelliä, mutta vielä sitäkin lujeempaa. (Sixta, 1-3.)

### 5.5 Ympäristövaikutus

Ioncell-F:n ympäristöystävällisyys on yksi sen suurimpia vahvuuksia. Ioncell-prosessi on kuitenkin niin uusi ja kehitysvaiheessa oleva, että sen kaikkia ympäristövaikutuksia on vaikea vielä tässä vaiheessa täysin arvioida. Tällä hetkellä kaikki kuitenkin vaikuttaa hyvinkin ympäristöystävälliseltä. Ioncell-prosessissa olisi tarkoitus kierrättää liuotin, joka vaatii veden poiston takia paljon energiaa. Prosessi ei kuitenkaan muuten kuluta paljoa energiaa, joten liuottimen kierrätyksestä riippumatta prosessi ei kokonaisuudessaan ole hirvittävän suuri energiankuluttaja. (Anteroinen 2015)

Ioncell-F-menetelmä on puuvillan kierrätyksen tulevaisuuden suurimpia toivoja. Ioncell-F-prosessiin perustuva puuvillan kierrätysmenetelmä voitti helmikuussa 2016 Global Change Award -kilpailun, jonka H&M Conscious -säätio järjesti. Kilpailun tarkoitus oli tuoda esiin uusia tekstiilien kestävän kehityksen mahdollistavia ideoita ja sen voitosta sai

300 000 euron rahapalkinnon. Ioncell-F-prosessille sopivan puuvillajätteen esikäsitteilymenetelmän kehityksestä vastasi VTT. (VTT 2016)

## **5.6 Kaupalliset mahdollisuudet**

Tekstiilien tarpeen kasvu takaa sen että uusille menetelmille löytyy tilaa. Selluloosa muuntokuitujen käytön on arvioitu jopa yli kolminkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. (Penttilä 2015) Uusien menetelmien ei siis tarvitse syrjäyttää vanhoja, vaan tuoda uusia vaihtoehtoja vanhojen menetelmien rinnalle. Ioncell-F-menetelmän suurin potentiaali on puuvillan ja esimerkiksi pahvin kierrätys. (Aalto-yliopisto 2016) Jos tekstiilien kierrätys alkaa toteutua halutulla tavalla, on Ioncell-menetelmä varmasti yksi varteenotettava vaihtoehto puuvillajätteen kierrätykseen. Ioncell-F-kuitu on monilta ominaisuuksiltaan niin laadukasta, että sitä tullaan myös sekoittamaan huonompilaatuisten kuitujen kanssa. Kuitua sekoitetaan muiden kanssa, koska vaatteiden ei tarvitse olla ominaisuuksiltaan niin hyviä kuin Ioncell-F on. (Kivipelto 2015)

## **5.7 Haasteet**

Ioncell-prosessi on vielä laboratorio tasolla ja vaatii vuosien kehitystyön, jotta menetelmä on valmis suurempaan mittakaavaan. Prosessin muuttaminen teolliseen mittakaavaan vaatii paljon rahaa, eli jonkun pitää ottaa riski ja investoida menetelmän teollistamiseen. Eikä prosessin vieminen suureen mittakaavaan onnistu tuosta noin vain, vaikka olisi minikälaiset resurssit. On kuitenkin todella eri asia tuottaa kuitua laboratoriossa pieniä määriä kuin tehtaassa suuria määriä. Ionisten liuottimien kierrätyksen on myös oltava todella tehokasta, jo liuottimen hinnan takia. On myös haasteellista löytää Suomesta osaamista, joka avulla Ioncell-menetelmä saadaan teollistettua. (Aalto-yliopisto 2016)

## 6 BIOCELSOL

### 6.1 Yleistä

Biocelsol-kuidut on kehitetty Tampereen teknillisen yliopiston materiaaliopin laitoksella. Menetelmää on kehittänyt Marianna Vehviläinen, joka kirjoitti aiheesta väitöstyön *Wet-Spinning of Cellulosic Fibres from Water-Based Solution Prepared from Enzyme-Treated Pulp* (“Regeneroitujen selluloosakuitujen valmistus vesipohjaisesta selluloosaliuksesta”). Biocelsol-prosessissa selluloosaa liuotetaan entsyymien avulla. Menetelmässä käytettävä entsyymit on löydetty jo 1950-luvulla. Entsyymit löydettiin kun USA:n armeijan puuvillaiset teltat eivät kestäneet sademetsässä. Biocelsol-menetelmä on kuitenkin yksi ensimmäisiä, missä kyseisiä entsyymejä käytetään selluloosan liuottamiseen. (Valtonen 2015; Rissanen 2014, b.)

### 6.2 Valmistus

Biocelsol-kuituja pystytään valmistamaan samoilla kehräyslaitteilla kuin viskoosia. Viskoosin valmistuksesta poiketen Biocelsol-prosessissa ei käytetä ollenkaan ympäristölle haitallisia kemikaaleja. Biocelsol-prosessin ja viskoosiprosesseissa on erilainen kehruliuksen valmistus. Biocelsol-kuidun valmistuksessa entsyymeillä käsitelty selluloosa liuotetaan pakastus-sulatus-menetelmällä emäksiseen liuokseen. Selluloosaliuos suodatetaan ja puristetaan kehrusuulakkeiden läpi kehruukylpyyn. Biocelsolin valmistusprosessissa kehruukylpynä käytetään laimeata rikkihappoa. Kehruukylvyssä selluloosa kiinteytyy kuiduksi. Viskoosin valmistuksessa selluloosakuitu muodostuu kehruukylvyssä kemiallisen reaktion avulla, toisin kun Biocelsolin valmistuksessa. (Vehviläinen 2015)

### 6.3 Raaka-aine

Menetelmän raaka-aineena käytetään puusellua. Biocelsol-prosessia käytettiin FuBio-Cellulose-ohjelmassa, missä raaka-aineena Biocelsol-kuidulle toimi havusellu. (Penttilä 2015) Sellun tuotanto lisääntyy Suomessa tulevaisuudessa uusien hankkeiden johdosta.

Esimerkiksi UPM ja Metsä Group aikovat tulevaisuudessa kasvattaa sellun tuotantomääriä, myös jotkin pienemmät tekijät on ilmoittanut investoivansa sellun tuotantoon. Suurimpana ongelmana sellun tuotannon lisäämisessä on puun tarpeen kasvu. Tehtaiden ollessa entistä suurempia, myös niiden puun hankinta-alueet kasvavat, mikä johtaa siihen että isojen sellutehtaiden tulee olla tarpeeksi kaukana toisistaan. (Virta 2015)

#### **6.4 Laatu**

Biocelsol-kuidut ovat lujuus ja venymisominaisuuksiltaan viskoosikuitujen kaltaisia. Biocelsol-kuiduista tehty tekstiili toimii kuitenkin kosteuden kanssa viskoosia paremmin. Biocelsol-kuidut imevät vettä puolitoista kertaa viskoosia ja kolme kertaa puuvillaa enemmän. Kuitu kihartuu valmistaessa luonnostaan, mikä tekee siitä pehmeän tuntuisen. Biocelsol-kuidusta tehty kangas on siis mukavan tuntuinen käytössä. (Rissanen 2014, b.)

#### **6.5 Ympäristövaikutus**

Viskoosin valmistuksessa käytetään rikkihiiltä selluloosan käsittelyyn. Biocelsol-prosessi onkin vastaus juuri viskoosin valmistuksen suurimpaan ongelmaan, eli rikkihiilen käyttöön. Selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista viskoosia on selvästi eniten tuotettu ja ympäristöystävälliseen vaihtoehtoon siirtymisellä olisi todellisia ympäristövaikutuksia. (Vehviläinen 2015)

#### **6.6 Kaupalliset mahdollisuudet ja haasteet**

Biocelsol-kuitu on tarpeeksi laadukasta ja menetelmä pystytään viemään teolliseen mitataavaan nopeastikin. Biocelsol-prosessin teollistaminen vaatii kuitenkin investointeja, mutta koska Biocelsol-prosessissa pystytään hyödyntämään jo olemassa olevaa viskoosilaitteistoa, ei investointien suuruus kasva mahdottomaksi. Selluloosamuuntokuiduille on jatkossakin kysyntää ja viskoosia ympäristöystävällisemmälle Biocelsol-menetelmälle varmasti kysyntää. Prosessia tarvitsee kehittää vielä jatkossakin tehokkaammaksi, jotta tuotteen hinta ei nouse liikaa. (Penttilä 2015)



## 7 SPINNOVA

### 7.1 Yritys

Spinnova on tammikuussa 2015 Jyväskylässä perustettu yritys, jonka tarkoituksena on tuottaa lankaa suoraan selluloosamassasta. Yritys käynnistettiin valtion teknillinen tutkimuskeskuksen tutkimuksen pohjalle, sen perustajilla Janne Porasella ja Juha Salmelalla on molemmilla myös pitkä kokemus VTT:ltä. Spinnova keräsi melkein kaksi miljoonaa euroa rahoitusta, ennen toimintansa käynnistämistä. Rahoittajina toimivat esimerkiksi VTT Ventures ja Lenzing AG. (Lappalainen 2015)

### 7.2 Langan valmistus

Suoraan puukuidusta valmistetun langan ideasta ja alun kehitystyöstä vastasi Juha Salmela. Langan valmistuksen tarkoituksena oli saada puukuidut järjestymään samansuuntaisesti ja mahdollisimman peräkkäin. Idea tähän tuli hämähäkinverkon luomisesta. VTT:llä ideaa testattiin ja todettiin se toimivaksi, jos kuidut saadaan kulkemaan neulanreiän läpi oikeassa asennossa. Spinnova-menetelmän raaka-aineena toimii parhaiten pitkäkuituinen puu, joita on esimerkiksi kuusi ja mänty. VTT:llä menetelmä saatiin pienessä mittakaavassa toimimaan ja Spinnova Oy:n tehtäväksi jäi kehittää prosessia niin että se pystytään skaalaamaan suurempaan mittakaavaan. (Bergqvist 2015)

### 7.3 Tulevaisuus

Koska Spinnova-menetelmässä lankaa kehrätään suoraan sellutehtaan puumassasta, säästetään siinä useista energiaa ja vettä kuluttavista vaiheista, mitä muiden tekstiilien tuotannossa käytetään. Spinnova Oy:n tarkoituksena on parissa vuodessa saada kehitettyä prosessia, niin että sitä voisi kokeilla pienessä mittakaavassa. Suurempaan mittakaavaan siirtyminen vaatii isoja kymmenien miljoonien investointeja. Yrityksen kumppanina toimii esimerkiksi maailman suurin selluloosamuunkuitujen valmistaja Lenzing AG. Tulosten ollessa lupaavia ei suureen mittakaavaan siirtyminen pitäisi olla ongelma. (Bergqvist 2015)

## 8 TEKSTIILIEN KIERRÄTYS

### 8.1 Yleistä

Tekstiilien kierrätys on jo nyt ollut paljon esillä, mutta tulevaisuudessa siitä tulee arkipäiväinen asia. Poistotekstiilejä ei ole saanut Suomessa enää vuoden 2016 alun jälkeen viedä kaatopaikoille, joten niiden kierrättämisen tehostaminen on pakollinen toimenpide. Tekstiilijätteen pitäminen poissa kaatopaikoilta on jäteyhtiöiden vastuulla. Tällä hetkellä iso osa jätekeskuksiin tulevista tekstiileistä hyötykäytetään polttamalla ne energiaksi. Hyväkuntoisia tekstiilejä kierrätetään myös erilaisten hyväntekeväisyysjärjestöjen ja kirpputorien kautta, missä tekstiilit käytetään uudelleen alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan. Uudelleen samaan käyttötarkoitukseen menevien tekstiilien pitää kuitenkin olla hyväkuntoisia. (Jurkko 2015)

Energia- ja uudelleenkäytön lisäksi tekstiilijätteen hyödyntämiseen on olemassa useita erilaisia vaihtoehtoja. Yleisin kierrätyskeino huonokuntoisille tekstiileille on mekaaninen kierrätys, missä tekstiilit rikotaan takaisin kuiduiksi ja käytetään esimerkiksi täytemateriaalina tai imeytystuotteena. Tekstiilejä voi myös kierrättää kemiallisesti tai yhdistetysti, eli tekstiilijäte kierrätetään sekä kemiallisesti että mekaanisesti. Terminen kierrätys on menetelmä missä synteettisiä kuituja sulatetaan, menetelmällä sulatetuista tekstiileistä valmistetaan erilaisia muovituotteita. Tekstiilijätteelle on myös etsitty erilaisia hyödyntämiskohteita, kuten biopoltoaine ja kompostointi. (Dahlbo ym. 2015, 34-37.)

### 8.2 Selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien kemiallinen kierrätys

Kemiallisessa kierrätyksessä voidaan valmistaa tekstiilien alkuperäisten raaka-aineiden kaltaisia aineita, joista voidaan valmistaa jälleen uutta kuitua. Kemiallinen kierrätys soveltuu sekä selluloosapohjaisille että synteettisille materiaaleille. Selluloosapohjaisten materiaalien kemiallisia kierrätysmenetelmiä on Suomessa viime vuosina kehittänyt VTT, Aalto-yliopisto, sekä Tampereen teknillinen yliopisto. Selluloosapohjaisten tekstiilien kemiallisessa kierrätyksessä selluloosa irrotetaan tekstiilijätteestä, jolloin sen voi käyttää alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan uudelleen. (Dahlbo ym. 2015, 35.)

Valkeakoskella VTT:n pop-up tehtaassa kierrätetään puuvillatekstiilejä, tämä on osa hanketta, missä mallinnetaan tekstiilien kiertotaloutta. Kierrätys tapahtuu VTT:n kehittelemällä liuotusmenetelmän avulla. Liuotuksessa ei tarvita rikkihiiltä, joten se on viskoosia ympäristöystävällisempi. Menetelmällä on yli 70 prosenttia pienempi vesijalanjälki ja yli 40 prosenttia pienempi hiilijalanjälki, kuin menetelmässä missä käytetään uutta puuvillaa. Hankkeessa käytettävät puuvillatekstiilit toimittaa Pääkaupunkiseudun Kierrätyskeskus Oy, materiaalin murskaamisesta ja hienontamisesta vastaa SUEZ, VTT valmistaa hienonnetusta raaka-aineesta selluloosakarbamaattiliuosta ja kuiduttaa sen. Kuidun kehräämisestä ja neuloksen valmistuksesta vastaa Pure Waste. Tuotetusta tekstiilistä Seppälä valmistaa malliston. Mallisto on tarkoitus myydä RePackin pakkauksissa, jotta ei synny tarpeetonta pakkausroskaa. Hankkeessa on myös mukana Ethica Oy, joka on VTT:n kanssa aloittanut projektin. Hankkeen rahoituksesta vastaa osallistuvat yritykset sekä TEKES. (VTT 2015, a, b.)

## 9 TULEVAISUUS

### 9.1 Lähitulevaisuus

Selluloosapohjaisten tekstiilikuitujen tutkimustyö jatkuu myös lähitulevaisuudessa. Uudet prosessit ovat kuitenkin jo siinä vaiheessa, että niitä voitaisiin alkaa siirtämään teolliseen tuotantoon jo nopeastikin. Yliopistoilla ei ole resursseja viedä tutkimustöitään suureen tuotantoon, joten tarvittaisiin yrityksiä viemään uusia materiaaleja kaupalliseen suuntaan. (Nykänen 2015)

### 9.2 Metsä Fibre biotuotetehdas

Metsä Groupiin kuuluva Metsä Fibre rakentaa Äänekoskelle uuden sukupolven sellutehdasta, jonka on määrä valmistua vuonna 2017. Tehtaalla tuotetaan sellun lisäksi myös muita biotuotteita, joita ovat esimerkiksi biosähkö, mäntyöljy ja puupolttoaine. Tehtaalla voidaan mahdollisesti tuottaa myös tekstiilikuituja. Havusellusta valmistettu tekstiili onkin Metsä Groupin tärkeimpiä uusia biotuotteita. (Huttunen 2016) Investointi on Suomen metsäteollisuuden suurin koskaan, jopa 1,2 miljardia euroa. (Seppälä 2016)

Metsä Fibre onkin valmistuttanut ensimmäisen pelkästään havusellusta valmistetun kaulahuivin. Metsä Fibrellä on jo kytköksiä tekstiiliteollisuuteen valmiiksi, sillä 24,9 prosenttia Metsä Fibrestä omistava Itochu Corporation on Japanissa iso toimija tekstiiliteollisuudessa. Kaulahuivi valmistettiin Aalto-yliopiston ja Boråsin tekstiili-instituutin yhteistyönä. Tällä hetkellä Metsä Fibre tutkii onko konseptia järkevä jatkojalostaa. Ennen siirtymistä seuraavaan vaiheeseen, pitää esimerkiksi selvittää onko mahdollista valmistaa tarpeeksi hyvän laatuista kangasta tai onko muilla jo olemassa tarvittavia patenteja. Mikäli konsepti todetaan kannattavaksi, siirryttäisiin seuraavaksi koetehdas mittakaavaan. (Savela 2016)

### 9.3 Mahdollisuudet ja visiot

Selluloosan käyttöä tekstiilimateriaalina kehitetään koko ajan. On visioitu jopa että tulevaisuudessa kangasta voisi tuottaa selluloosasta paperikoneilla. (Manninen, 2013) Nanomittakaavaan pilkottua selluloosaa saatetaan tulevaisuudessa käyttää supermateriaalien raaka-aineena. 3D-tulostuksella voisi mahdollisesti tulostaa selluloosasta tekstiilejä. Tulevaisuudessa myös nykyisiä valmistusmenetelmiä voidaan yksinkertaistaa, esimerkiksi märkäkehrun tilalle on suunniteltu suulakepuristuksen tapaista ratkaisua. Ali Harlinin mukaan Suomen hakkuu ylijäämän muuttaminen kuiduksi voisi korvata jopa 20 % puuvillan tuotannosta. (Harlin)

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kertoa uusista selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista. Tavoitteena oli kasata mahdollisimman kattavasti tietoa selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien tämän hetkisestä tilanteesta ja mahdollisuuksista. Lisäksi tarkoituksena oli kertoa mihin uusia selluloosapohjaisia tekstiilimateriaaleja tarvitaan ja millainen historia selluloosalla on tekstiilien raaka-aineena.

Työssä käsiteltiin tekstiilimarkkinoiden nykyistä tilannetta, ja sitä mihin se tulee muuttumaan. Maailmassa tuotetaan polyesteriä ja puuvillaa suuria koko ajan kasvavia määriä, koska maailman tekstiilien kulutus tulee kasvamaan väkiluvun kasvaessa. Polyesterin haitat perustuvat sen öljypohjaisuuteen. Polyesterin tuotantoa pystytään kuitenkin vielä kasvattamaan, joskaan ei loputtomiin asti. Puuvillan huonot puolet on sen tarvitsema veden määrä ja viljelysmaan tarve. Puuvilla olisi hyvinkin ympäristöystävällinen vaihtoehto, jos sitä tuotettaisiin vain alueilla jossa sen kasvatukselle on tarpeeksi viljelysmaata ja vettä. Puuvillan tuotantomäärät ovat kuitenkin niin suuria, että sitä viljellään myös paikoissa jossa ei siihen ole kunnollisia edellytyksiä.

Selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien historiasta käsiteltiin käytetyimmät materiaalit. Selluloosasta onkin tehty tekstiilimateriaaleja jo 100 vuotta. Selluloosaa saadaan puista, joita voidaan kasvattaa huonommissa olosuhteissa kuin puuvillaa. Puista saa myös valmistettua enemmän valmista tekstiiliä pienemmältä alalta kuin puuvillaa. Ylivoimaisesti käytetyin selluloosamuuntokuitu on viskoosi. Viskoosin huono puoli on kuitenkin sen valmistuksessa käytettävä rikkihiili ja valmistusprosessin suuri energiantarve. Lyocell on viskoosia huomattavasti uudempi materiaali. Lyocellin valmistusprosessi onkin viskoosin vastaavaa ympäristöystävällisempi. Lyocell on myös ominaisuuksiltaan viskoosia edellä. Viskoosi- ja lyocell-prosessit ovatkin esikuva uusille selluloosapohjaisille tekstiilimateriaaleille.

Uusista selluloosapohjaisista tekstiilimateriaaleista käsiteltiin kehitysvaiheessa olevia Ioncell-F, Biocelsol, sekä Spinnova-menetelmiä. Ioncell-F on lyocell-menetelmän tapaisesti valmistettu kuitu. Ioncell-menetelmässä selluloosa liuotetaan ionisella liuottimella, mikä mahdollistaa selluloosalle paremmat olosuhteet prosessissa. Ioncell-F on profiloitu-massa puuvillajätteen kierrätyksessä yhdeksi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Ioncell-

kuitua pidetään monilta ominaisuuksiltaan erittäin potentiaalisena. Onkin hyvin mahdollista että prosessi tulee siirtymään isompaan mittakaavaan. Biocelsol on materiaali minkä valmistuksessa selluloosa käsitellään entsyymeillä, jotka mahdollistavat selluloosan liuottamisen emäksiseen liuottimeen. Biocelsol-prosessissa kehuulaitteisto on sama kuin viskoosiprosessissa. Viskoosia valmistetaan selluloosamuuntokuiduista eniten ja mahdollisuus käyttää samoja laitteistoja viskoosimenetelmän kanssa onkin Biocelsollille suuri etu. Spinnova on hyvin alkuvaiheessa oleva yritys, mikä kehittää menetelmää missä selluloosaa ei tarvitse liuottaa ollenkaan. Menetelmä säästäisi vettä ja energiaa verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Spinnovalla on kuitenkin pitkä, joskaan ei mahdoton tie teolliseen mittakaavaan.

Uusille tekstiilikuiduille onkin tarvetta ja nyt kehitteillä olevissa on potentiaalia. Spinnova on menetelmistä selkeästi innovatiivisin ja siinä on lähdetty tekemään täysin uutta ratkaisua tekstiilien valmistuksessa. Biocelsol-menetelmällä voidaan tehdä viskoosin kaltaista kuitua ympäristöystävällisemmin. Ympäristöasiat tulevat tulevaisuudessa olemaan vielä nykyistä enemmänkin esillä. Tämä takaa sen että viskoosiprosessille on hyvä olla olemassa ympäristön kannalta parempi vaihtoehto. Ioncellille löytyy sen ominaisuuksien ja ympäristöystävällisyyden kannalta varmasti kiinnostusta. On kuitenkin mahdoton sanoa mitkä nyt kehitteillä olevista menetelmistä tulevat menestymään. Uusille selluloosapohjaisille tekstiilimateriaaleille on kysyntää jo pelkästään tekstiilien käytön lisääntymisen takia, eivätkä ne näin ollen kilpaile toisiaan tai jo olemassa olevia materiaaleja vastaan.

Tulevaisuudessa tekstiilien kierrätys tulee olemaan kasvavassa roolissa. Selluloosaa saadaan siis jo valmistetuista tekstiilimateriaaleista, jotka on käyttökänsä päässä. Selluloosapohjaisten tekstiilimateriaalien menetelmiä tullaan jalostamaan myös kierrätyskäyttöön.

Haastavaa työssä oli kerätä aineistoa vielä kehitysvaiheessa olevista menetelmistä. Työssä käytetty aineisto onkin kerätty monista lähteistä, mikä uusien materiaalien kehityksen nopeuden kanssa johtaa siihen että työssä voi olla jo vanhentunutta tietoa. Tulevaisuudessa voisikin tehdä työn missä käsiteltäisiin uusista menetelmistä niitä mitkä on onnistunut siirtymään teolliseen mittakaavaan. Tällöin materiaaleja voisi testata ja verrata muihin materiaaleihin luotettavammin.

## LÄHTEET

Aalto-yliopisto 2016. Palkittu menetelmä tekee puuvillajätteestä tekstiilikuitua. Luettu 1.4.2016. [www.aalto.fi/fi/current/news/2016-02-17-003/](http://www.aalto.fi/fi/current/news/2016-02-17-003/)

Anteroinen, S. 2015. Tekstiiliä koivun selluloosasta. Luettu 21.03.2016. [metsaan-lehti.fi/fi/artikkeli/tekstiilia-koivun-selluloosasta](http://metsaan-lehti.fi/fi/artikkeli/tekstiilia-koivun-selluloosasta)

Apps, R. 2014. Organic Eucalyptus - an alternative material to cotton? Luettu 1.3.2016. [www.permaculture.co.uk/articles/organic-eucalyptus-alternative-material-cotton](http://www.permaculture.co.uk/articles/organic-eucalyptus-alternative-material-cotton)

Bergqvist, P. 2015. Kestävästi lankaa puukuidusta. Luettu 4.4.2016. [www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Kestavasti-lankaa-puukuidusta.aspx](http://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Kestavasti-lankaa-puukuidusta.aspx)

Boncamper, I. 2011. Tekstiilioppi kuituraaka-aineet. Hamk julkaisuja 2011. Tammerprint Oy Tampere

Cirfs European Man-Made Fibres Association 2016. a. Viscose. [www.cirfs.org/manmade-fibres/fibrerange/Viscose.aspx](http://www.cirfs.org/manmade-fibres/fibrerange/Viscose.aspx)

Cirfs European Man-Made Fibres Association 2016. b. Lyocell. [www.cirfs.org/manmade-fibres/fibrerange/Lyocell.aspx](http://www.cirfs.org/manmade-fibres/fibrerange/Lyocell.aspx)

Dahlbo, H., Aalto, K., Salmenperä, H., Eskelinen, H., Pennanen, J., Sippola, K. & Huopainen, M. 2015. Tekstiilien uudelleenkäytön ja tekstiilijätteen kierrätyksen tehostaminen Suomessa. Suomen ympäristöministeriö

Harlin, A. Suomesta design-selluloosatuotteiden edelläkävijä. Luettu 16.4.2016. [www.vtt.fi/vaikuttavuus/esimerkkej%C3%A4-tutkimustuloksista/suomesta-design-selluloosatuotteiden-edell%C3%A4k%C3%A4vij%C3%A4](http://www.vtt.fi/vaikuttavuus/esimerkkej%C3%A4-tutkimustuloksista/suomesta-design-selluloosatuotteiden-edell%C3%A4k%C3%A4vij%C3%A4)

Huttunen, J. 2016. Äänekosken biotuotetehdas hahmottuu – tehtaan jätteistä syntyy komposiittia ja kaasua. Luettu 10.4.2016. [yle.fi/uutiset/aanekosken\\_biotuotetehdas\\_hahmottuu\\_tehtaan\\_jatteista\\_syntyy\\_komposiittia\\_ja\\_kaasua/8679296](http://yle.fi/uutiset/aanekosken_biotuotetehdas_hahmottuu_tehtaan_jatteista_syntyy_komposiittia_ja_kaasua/8679296)

Hämmerle, F. 2011. THE CELLULOSE GAP (THE FUTURE OF CELLULOSE FIBRES). Lenzinger Berichte 89

Jurkko, K. 2015. Uusi asetus hämmentää – mitä tapahtuu kymmenille miljoonille kiloille tekstiilijätettä? Luettu 11.4.2016. [yle.fi/uutiset/uusi\\_asetus\\_hammentaa\\_mita\\_tapahtuu\\_kymmenille\\_miljoonille\\_kiloille\\_tekstiilijatetta/7761014](http://yle.fi/uutiset/uusi_asetus_hammentaa_mita_tapahtuu_kymmenille_miljoonille_kiloille_tekstiilijatetta/7761014)

Kallsten, J. 2014. Eukalyptus kasvaa ja ammattiliitot valvovat. Luettu 1.3.2016. [www.maaseutumedia.fi/eukalyptus-kasvaa-ja-ammattiliitot-valvovat/](http://www.maaseutumedia.fi/eukalyptus-kasvaa-ja-ammattiliitot-valvovat/)

Kivipelto, A. 2015. Pukeudumme pian puuhun – vallankumouksellinen ioninen liuotin muuttaa koivun, kuusen ja männyn kankaaksi. Luettu 1.5.2016. [www.hs.fi/tiede/a1450673070151](http://www.hs.fi/tiede/a1450673070151)



- Lappalainen, E. 2015. Tekstiilikuidun tuotannon mullistava Spinnova käyntiin 2 miljoonan rahoituksella. Luettu 4.4.2016. [www.talouselama.fi/kasvuyritykset/tekstiilikuidun-tuotannon-mullistava-spinnova-kayntiin-2-miljoonan-rahoituksella-3472974](http://www.talouselama.fi/kasvuyritykset/tekstiilikuidun-tuotannon-mullistava-spinnova-kayntiin-2-miljoonan-rahoituksella-3472974)
- Lehtinen, L. 2016. Puuvillan kierrätysinnovaatio toi ideapalkinnon Suomeen. Luettu 30.3.2016. [www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/02/kem\\_uutisk316.pdf](http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/02/kem_uutisk316.pdf)
- Lenzing. Eucalyptus. Ecological trough an trough. Luettu 1.3.2016. [www.lenzing.com/sites/botanicprinciples/website/sustainability03.htm](http://www.lenzing.com/sites/botanicprinciples/website/sustainability03.htm)
- Manninen, O. 2013. Sellu on Suomen samppanjaa. Luettu 16.4.2016. [www.paperijapuu.fi/sellu-on-suomen-samppanjaa/](http://www.paperijapuu.fi/sellu-on-suomen-samppanjaa/)
- Nanso. a. valmistuksen ympäristövaikutukset. Luettu 1.3.2016. [www.nansogroup.com/vastuullisuus/ymparistovastuu/valmistuksen-ymparistovaikutukset](http://www.nansogroup.com/vastuullisuus/ymparistovastuu/valmistuksen-ymparistovaikutukset)
- Nanso. b. materiaalitietoa. Luettu 1.3.2016. [www.nansoshop.com/materiaalitietoa](http://www.nansoshop.com/materiaalitietoa)
- Nanso. c. tekstiilien ympäristövaikutukset. Luettu 1.3.2016. [www.nansogroup.com/vastuullisuus/ymparistovastuu/tekstiilien-ymparistovaikutukset](http://www.nansogroup.com/vastuullisuus/ymparistovastuu/tekstiilien-ymparistovaikutukset)
- Nikunen, S., Suomela, J. & Temmes, O. 2014. Tekstiilituotteiden elinkaari. Luettu 1.3.2016. [kuidut.omasivu.fi/kuitukuluttajuus/ekologinen/tekstiilituotteiden-elinkaari/](http://kuidut.omasivu.fi/kuitukuluttajuus/ekologinen/tekstiilituotteiden-elinkaari/)
- Nykänen, T. 2015. Maailmanluokan supermateriaali. Luettu 10.4.2016. [www.met-safibre.com/fi/echo/Pages/Maailmanluokan-materiaali.aspx](http://www.met-safibre.com/fi/echo/Pages/Maailmanluokan-materiaali.aspx)
- Palovuori, E. 2014. Kotimaisesta koivusta tekstiilejä monialaisella yhteistyöllä. Tekstiililehti 2/2014, 12
- Penttilä, A. 2015. Uusia tuotteita selluloosasta. OP Metsäraha 3/15
- Raskinen, M. 2014. From Birch to Catwalk - The Journey of Ioncell Fiber - Aalto University Research. [www.youtube.com/watch?v=AGFDPyzN1C8](http://www.youtube.com/watch?v=AGFDPyzN1C8)
- Rissanen, M. 2014. a. Tekstiiliteollisuuden uudet innovaatiot. Tekstiililehti 5-6/2014, 12
- Rissanen, M. 2014. b. Tekstiilikuituinnovaatiot palkittiin SHOK Summit 2014 –tilaisuudessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 1.4.2016. [www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/materiaalioppi/ajankohtaista/tekstiilikuituinnovaatiot-palkittiin-shok-summit-2014-tilaisuudessa-p069428c3](http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/materiaalioppi/ajankohtaista/tekstiilikuituinnovaatiot-palkittiin-shok-summit-2014-tilaisuudessa-p069428c3)
- Savela, S. 2016. Jäähyväiset puuvillalle? Kokopuinen huivi on yllättävän pehmeä. Luettu 10.4.2016. [yle.fi/uutiset/jaahyvaiset\\_puuvillalle\\_kokopuinen\\_huivi\\_on\\_yllattavan\\_pehmea/8680753](http://yle.fi/uutiset/jaahyvaiset_puuvillalle_kokopuinen_huivi_on_yllattavan_pehmea/8680753)
- Seppälä, A. 2016. Äänekosken uusi sellutehdas kutistaa vanhan – katso ilmasta kuvattu video. Luettu 10.4.2016. [yle.fi/uutiset/aanekosken\\_uusi\\_sellutehdas\\_kutistaa\\_vanhan\\_katso\\_ilmasta\\_kuvattu\\_video/8678598](http://yle.fi/uutiset/aanekosken_uusi_sellutehdas_kutistaa_vanhan_katso_ilmasta_kuvattu_video/8678598)

Sixsta, H. IONCELL-F, a novel Man-made Cellulosic Fiber. Luettu 1.4.2016.  
[http://puu.aalto.fi/fi/midcom-serveattachmentguid-1e44f95c44218204f9511e4a12b01d1437b57775777/regeneroidut\\_kuidut.pdf](http://puu.aalto.fi/fi/midcom-serveattachmentguid-1e44f95c44218204f9511e4a12b01d1437b57775777/regeneroidut_kuidut.pdf)

Sixta, H., Michud, A., Hauru, L., Asaadi, S., Ma, Y., King, Alistair., Kilpeläinen, I. & Hummel, M. 2015. Ioncell-F: A High-strength regenerated cellulose fibre. Nordic Pulp & Paper Research Journal Vol 30 no (1) 2015

Soth, J. 1999. The impact of cotton on fresh water resources and ecosystems. Panda. 5.  
[wwf.panda.org/wwf\\_news/?3686/The-impact-of-cotton-on-fresh-water-resources-and-ecosystems](http://wwf.panda.org/wwf_news/?3686/The-impact-of-cotton-on-fresh-water-resources-and-ecosystems)

Valtonen, K. 2015. Uusi myrkytön menetelmä muuntaa selluloosan tekstiilikuiduksi. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 1.4.2016.  
[www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/materiaalioppi/ajankohtaista/uusi-myrkyton-menetelma-muuntaa-selluloosan-tekstiilikuiduksi-x089321c3](http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/materiaalioppi/ajankohtaista/uusi-myrkyton-menetelma-muuntaa-selluloosan-tekstiilikuiduksi-x089321c3)

Vanhatalo, M. 2009. Kuidut ja langat. Virtuaali amk. Luettu 1.3.2016.  
[www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030507/1086702266491/1086705141427/1149670512798/1149670553764.html](http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030507/1086702266491/1086705141427/1149670512798/1149670553764.html)

Vehviläinen, M. 2015. Entsyymeillä eron viskoosiprosessin rikkihiilestä. Tekstiililehti 5-6/2015. 22

Virta, I. 2015. Pelastaako sellu Suomen? Kemijärvi uskoo ketteryyteen ja liukoselluun. Luettu 25.4.2016. [www.talouselama.fi/uutiset/pelastaako-sellu-suomen-kemijarvi-uskoo-ketteryyteen-ja-liukoselluun-3473517](http://www.talouselama.fi/uutiset/pelastaako-sellu-suomen-kemijarvi-uskoo-ketteryyteen-ja-liukoselluun-3473517)

VTT 2015. a. Ainutlaatuinen tuotantokoe käynnissä: Poistopuuvillasta uutta kuitua muotiteollisuudelle. Luettu 15.4.2016. [www.vtt.fi/medialle/uutiset/ainutlaatuinen-tuotantokoe-k%C3%A4ynniss%C3%A4-poistopuuvillasta-uutta-kuitua-muotiteollisuudelle](http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/ainutlaatuinen-tuotantokoe-k%C3%A4ynniss%C3%A4-poistopuuvillasta-uutta-kuitua-muotiteollisuudelle)

VTT 2015. b. Poistopuuvillan kuiduttamiskokeet jatkuvat keväällä VTT:llä. Luettu 15.4.2016. [www.vtt.fi/medialle/uutiset/poistopuuvillan-kuiduttamiskokeet-jatkuvat-kev%C3%A4%C3%A4ll%C3%A4-vtt-ll%C3%A4](http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/poistopuuvillan-kuiduttamiskokeet-jatkuvat-kev%C3%A4%C3%A4ll%C3%A4-vtt-ll%C3%A4)

VTT 2015. c. Selluloosasta biotalouden supermateriaali: Laaja-alainen yhteistyö moninkertaistaa suomalaisen puun arvon. Luettu 13.3.2016 .  
[www.vtt.fi/medialle/uutiset/selluloosasta-biotalouden-supermateriaali-laaja-alainen-yhteisty%C3%B6-moninkertaistaa-suomalaisen-puun-arvon](http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/selluloosasta-biotalouden-supermateriaali-laaja-alainen-yhteisty%C3%B6-moninkertaistaa-suomalaisen-puun-arvon)

VTT 2016. Puuvillan kierrätyksen mullistava menetelmä voitti H&M-säätiön Global Change Award –kilpailun. Luettu 1.4.2016.  
[www.vtt.fi/puuvillan-kierr%C3%A4tyksen-mullistava-menetelm%C3%A4-voitti-h-m-s%C3%A4ti%C3%A4n-global-change-award-kilpailun](http://www.vtt.fi/puuvillan-kierr%C3%A4tyksen-mullistava-menetelm%C3%A4-voitti-h-m-s%C3%A4ti%C3%A4n-global-change-award-kilpailun)

Waterfootprint product gallery. cotton. Luettu 1.3.2016.  
[waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/](http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/)