PUUKUITUPOHJAISTEN TEKSTIILIEN VIIMEAIKAINEN KEHITYS SUOMESSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Kemiantekniikan kandidaatintyö

2023

Liida Kantola

Tarkastajat: Tutkijatohtori Krista Koljonen

Yliopisto-opettaja Maaret Paakkunainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Kemiantekniikka

Liida Kantola

Puukuitupohjaisten tekstiilien viimeaikainen kehitys Suomessa

Kemiantekniikan kandidaatintyö

2023

40 sivua, 12 kuvaa, 2 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Tutkijatohtori Krista Koljonen

Yliopisto-opettaja Maaret Paakkunainen

Avainsanat: puukuitu, tekstiilikuitu, Biocelsol, Infinited Fiber, Kuura, Spinnova

Tällä hetkellä öljypohjainen polyesteri ja puuvilla ovat maailman eniten tuotettuja tekstiilikuituja, joiden valmistus kuormittaa ympäristöä ja kuluttaa paljon vettä. Myös selluloosapohjaisen viskoosin valmistuksessa käytetään myrkyllistä rikkihiiltä. Siksi tarvitaan uusia kestäviä menetelmiä ja raaka-aineita vastaamaan yhä kasvavaan tekstiilikuitujen kysyntään. Suomessa on viime vuosina kehitetty useita puupohjaisia sellumassaa raaka-aineinaan käyttäviä ja ympäristöystävällisempiä valmistusmenetelmiä, joilla saadaan tuotettua kierrätettäviä ja uudelleen käytettäviä tekstiilikuituja. Kehitystyötä on tukenut myös se, että tekstiilin kierrätyksestä tulee pakollista EU-alueella vuonna 2025.

Työssä käydään läpi erilaisia puulajeja ja perehdytään eri puusellujen valmistusmenetelmiin. Lisäksi keskitytään erityisesti neljään sellupohjaiseen tekstiilikuitujen valmistusmenetelmään ja kehitysprosessiin: Biocelsol, Infinited Fiber, Kuura ja Spinnova, ja tarkastellaan niiden raaka-aineita, prosesseja ja niistä valmistettujen kankaiden ominaisuuksia. Työssä haastateltiin myös Metsä Groupin Kuura -tekstiilikuitukoetehtaan operatiivisesta toiminnasta vastaavaa johtajaa Heli Kuorikoskea.

Työssä selvitettiin, että kaikissa valmistustavoissa käytetään eri tavoilla valmistettuja sellumassoja ja Infinnan valmistuksessa voidaan käyttää myös tekstiilijätettä. Toisin kuin muissa menetelmissä, Spinnovan menetelmässä ei käytetä kemikaaleja ja eukalyptussellumassa jatkojalostetaan mikrofibrilloiduksi selluloosaksi. Spinnovan kuidusta valmistettuja tuotteita on lanseerattu markkinoille vuoden 2022 aikana jo useita. Muut yritykset eivät ole vielä päässeet yhtä pitkälle tuotekehityksessä, valmistusprosessin skaalaamisessa ja tuotteiden kaupallistamisessa. Suomi näyttää selvästi tietä selluloosapohjaisten tekstiilien valmistuksessa.

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet:

CMC	Carboxymethyl cellulose, Karboksimetyyliselluloosa
DP	Degree of Polymerization, polymeroitumisaste
DS	Dergree of Substitution, substituutioaste
ECF	Elemental Chlorine free, massan valkaisussa on käytetty klooridioksidia eikä klooria alkuaineena
FSC	Forest Stewardship Council, metsäsertifiontijärjestelmä
IL	Ionic Liquids, ioniset nesteet
MFC	Microfibrillated cellulose, mikrofibrilloitu selluloosa
PEFC	Programme for Endorsement of Certification Schemes, kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä
TCF	Total Chlorine free, kloorikemikaaliton valkaisu
TUT	Tampere University of Technology, Tampereen teknillinen yliopisto
VTT	Technical Research Centre of Finland, Teknologian tutkimuskeskus

TERMIEN SELITYS

Biocelsol-kuitu	Liukosellu entsyymikäsitellään esim. endoglukanaasilla, liuotetaan lähes 0 °C lämpötilassa NaOH/ZnO -liuokseen (tai jäädytetään pakastus-sulatus -menetelmällä entsyymikäsitelty selluloosa ja emäksinen natriumsilikaatin seos), märkäkehrätään, regeneroidaan, kerätään jatkuvana säikeenä tai katkokuituna, venytetään, pestään, viimeistellään ja kuivataan.
CMC	Karboksimetyyliselluloosa (Carboxymethyl cellulose) on puolisynteettinen polymeerin ja selluloosan johdannainen. Osa selluloosaglukoosipyraanosiyksikön OH-ryhmistä on korvattu karboksimetyyliryhmillä. Sillä on 700–800 eri käyttökohdetta ja useita käyttötarkoituksia paperi-, tekstiili ja elintarviketeollisuudessa.
Endoglukanaasi	Endoglukanaasi on hydrolysoiva entsyymi, joka pilkkoo sidoksia eri kohdista selluloosaketjua.
IL	Ioniset nesteet (Ionic liquids) ovat nestemäisiä suoloja lämpötilan ollessa alle 100 ˚C. Ne koostuvat yleensä isosta hydrofobisesta ammoniumkatonista ja pienestä anionista, kuten kloridista ja asetaatista. Ne liuottavat selluloosaa 10–20 % konsentraatiossa.
Infinna-kuitu	ks. selluloosakarbamaattikuitu
Katkokuitu	Katkokuitu on katkottu yhtäjaksoinen jatkuva kuitu, joka kerätään ja kehrätään langaksi. Langasta valmistetaan kangasta, vaatteita tai muita tekstiilejä.
Kuura-kuitu	Metsä Springin valmistama selluloosapohjainen muuntokuitu, joka valmistetaan kuivaamattomasta havupuusellusta ja liuotetaan ioniseen nesteeseen.
Liukosellu	Selluloosapitoisuudeltaan korkea sellukuitu, josta on poistettu ligniini ja hemiselluloosapitoisuus on <5 %. Esim. Biocelsol-menetelmässä raaka-aineena käytetään sulfiittimassaa, mutta

	valmistukseen voi käyttää myös sulfaattimassaa. Suomessa sitä valmistetaan männystä, kuusesta tai koivusta.
Muuntokuitu	Tekokuitu (man-made fiber), joka on valmistettu luonnon raaka-aineesta ja liuotetaan liuottimeen niin, että osa molekyylirakenteesta ei mutu. Esimerkkinä viskoosi-, modaali-, Lyocell- ja kuprokuitu.
Polymeroitumisaste	Polymeroitumisaste (degree of polymerization, DP) kertoo, kuinka monta toistuvaa glykopyranoosiyksikköä on ketjuuntunut keskimääriin selluloosan molekyyliketjuun. Esimerkkinä raaka-puuvillan DP on yli 3000, valkaistujen paperisellujen ja liukosellujen 800–1200 ja viskoosikuitujen 250–500.
Selluloosakarbamaatti-kuitu	Selluloosan ja urean reagoidessa 130–160 °C syntyy selluloosakarbamaattia. Se liuotetaan nesteeksi, suodatetaan ja poistetaan epäpuhtaudet. = Infinna-kuitu
Spinnova-kuitu	Eukalyptussellu käsitellään mekaanisesti ja prosessoidaan geelimäiseksi mikrofibrilliselluloosaksi (MFC). Geeli puristetaan paineella ja suurella nopeudella pienten suulakkeiden läpi ja kuitu kuivataan, kerätään, katkotaan ja kehrätään langaksi.
Substituutioaste	Substituutioaste (degree of substitution, DS) kertoo, kuinka monta glukoosipyranoosiyksikön OH-ryhmää on korvattu.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

1 Johdanto 7
2 Tutkimukseen valitut puukuitupohjaiset tekstiilit 9
3 Puu raaka-aineena 11
3.1 Erilaiset puulajit 12
3.2 Sellun valmistus 13
3.3 Mikrofibrilloitu selluloosa (MFC) 15
4 Selluloosapohjaisten tekstiilikuitujen valmistusmenetelmät 17
4.1 Biocelsol 17
4.2 Infinna 18
4.3 Kuura 20
4.4 Spinnova 21
5 Kankaan ominaisuudet 23
6 Tutkimuksesta pilotointiin ja tehdasmittakaavaan 26
7 Johtopäätökset 30

Liitteet

Liite I. Metsä Groupin Kuura-tekstiilikuitukoetehtaan operatiivisesta toiminnasta vastaavan johtajan Heli Kuorikosken haastattelu.

1 Johdanto

Maailmassa tekstiilikuituja tuotetaan vuosittain yli 100 miljoonaa tonnia (Laukkanen, 2022). Suurin osa tuotteista valmistetaan öljypohjaisesta kuitumateriaalista ja puuvillakuidusta, jotka kuormittavat ympäristöä ja kuluttavat paljon vettä. Polyesterin ja muiden tekokuitujen osuus on kasvanut kuitutuotannossa viimeisten vuosikymmenten ajan samalla, kun puuvillan ja muiden luonnon kuitujen osuudet ovat vähentyneet. Tuotetusta kuidusta käytetyimmät ovat polyesteri (68 %) ja puuvilla (21 %) (Suomen Tekstiili & Muoti 2023a). Polyesteri ja muut synteettiset kuidut valmistetaan teollisesti käyttäen raaka-aineena öljyä. Kestävästi tuotetun tekstiilikuidun kysyntä on tällä hetkellä suurta. Suomessa on kehitetty viime aikoina useita eri prosesseja vastaamaan tätä kysyntää. Tässä työssä tarkastellaan neljää eri valmistusmenetelmällä tuotettua kuitua, jotka ovat Biocelsol, Infinna, Kuura ja Spinnova.

Viskoosi on yleisin käytetty selluloosapohjainen muuntokuitu ja osuus selluloosapohjaisista muuntokuiduista oli 80 % vuonna 2021 (Mordor Intelligence 2023). Muita selluloosapohjaisia muuntokuituja ovat mm. Lyocell, kupro, modaali, asetaatti ja triasetaatti (CIRF, European Man-made Fibres Association, 2023). Viskoosi muistuttaa ominaisuuksiltaan puuvillaa ja on pehmeä, kosteutta imevä, helposti värjäytyvä ja biohajoava. Vaatteisiin käytettävää viskoosia on osattu valmistaa puun selluloosasta jo yli sadan vuoden ajan. Viskoosin valmistamisprosessissa kuitenkin kuluu paljon vettä, energiaa ja myrkyllisiä kemikaaleja, kuten rikkihiiltä. Uudet kuidunvalmistustekniikat ovat siksi viskoosiprosessia tehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä.

Suomessa on pitkä historia sahatavaran ja paperituotteiden jalostamisessa. Painopaperin kysyntä vähenee koko ajan ja se on ajanut kehittämään puulle uusia tulevaisuuden käyttökohteita, joista yksi on tekstiilit (Harlin, 2023). Puukuitupohjaisten tekstiilien kehitystä on vauhdittanut myös öljypohjaisten materiaalien sekä puuvillan korvaaminen, jolloin puuvillan viljelypinta-ala säästyy ruoantuotantoon ja viljelyyn käytettävä vesi voidaan käyttää juomavetenä (Laukkanen, 2017). Suomi on maailmassa uusiutuvien tekstiilikuitujen johtava kehittäjä (Laukkanen 2022). Suomen lisäksi myös Ruotsi on panostanut kuitujen tutkimukseen ja kehitykseen (Kuorikoski, 2023).

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan neljää erilaista, uutta ja kestävää kuidun valmistusmenetelmää: VTT:n ja TUT:n Biocelsol-kuitu, Infinited Fiberin Infinna, Metsä Springin ja ITOCHUN Kuura® ja Spinnova. Nämä valittiin tarkasteltaviksi, koska liotus- ja valmistustavat ovat keskenään erilaisia ja ne ovat Suomessa kehitettyjä viime vuosien aikana. Työssä selvitettiin, miten erilaiset liuotusprosessit, valmistustavat ja raaka-aineet vaikuttavat syntyvän kuidun ominaisuuksiin. Lisäksi pyrittiin selvittämään, mitkä asiat vaikuttavat siirtymisessä pilotoinnista tehdasmittakaavaan siirtymisessä ja siihen, että lopputuote saadaan markkinoille. Tämä kandidaatintyö tehtiin kirjallisuuden, uutisten, televisio-ohjelmien, yritysten vuosikatsauksien ja Metsä Groupin Heli Kuorikosken haastattelun perusteella (Liite I).

2 Tutkimukseen valitut puukuitupohjaiset tekstiilit

Tässä kappaleessa tutustutaan tarkasteltavien menetelmien kehittäneiden yritysten ja organisaatioiden taustoihin ja historiaan, joiden menetelmiä tarkastellaan yksityiskohtaisemmin tässä työssä (Kappale 4).

Biocelsol on selluloosan liuotusmenetelmä, jota ovat kehittäneet yhdessä Tampereen teknillinen yliopisto ja Teknologian tutkimuskeskus VTT. Biocelsol-kuidun valmistus on samankaltaista kuin viskoosin, mutta prosessissa tarvittava rikkihiili on korvattu entsyymeillä. Kuitua valmistetaan entsyymikäsitellystä liukosellusta, joka liuotetaan vesipohjaiseen liuottimeen ja regeneroidaan kuiduksi märkäkehruumenetelmällä (Kappale 4.1). Marianna Vehviläinen VTT:ltä on tehnyt aiheesta väitöskirjan ja selvittänyt, että Biocelsol-kuidun kehräämiseen sopii sama kehräyslaite kuin viskoosin valmistuksessa (Vehviläinen, 2014).

Infinited Fiber Company on Petri Alavan ja Ali Harlinin vuonna 2016 (Finder 2023a) perustama yritys. Kehitystyö alkoi VTT:llä, missä Harlin tutki puuvillapohjaisen tekstiilijätteen kemiallista kierrättämistä (Uusiouutiset, 2021). Tänä päivänä Yritys tuottaa Infinna™ kuitua eli selluloosakarbamaattikuitua muuan muassa tekstiilijätteestä, joka menisi muuten kaatopaikalle tai poltettavaksi (Kappale 4.2). Tekstiilinkierrätys ja sen uudelleen käyttö on yksi mahdollinen ratkaisu ympäristöongelmaan. Tällä hetkellä Infinna™-kuitua tuotetaan selluloosapitoisista raaka-aineista Espoossa VTT:n Bioruukin koelaitoksessa ja tehtaalla Valkeakoskella. Infinited Fiberilla on suunnitelma sijoittaa lippulaivatehdas Kemiin, josta ensimmäiset kaupalliset toimitukset alkaisivat tammikuussa 2026 (Koskinen, 2023).

Kuura on Metsä Groupin innovaatioyhtiön Metsä Springin ja japanilaisen ITOCHU Corporationin kehittämä tekstiilikuitu (Kappale 4.3). Kuuraa valmistetaan kuivaamattomasta paperisellusta suoraliuotusmenetelmällä, jossa käytetään selluloosan liuottamiseen ionisia nesteitä. Menetelmän kehitys aloitettiin vuonna 2009 useissa eri kehityshankkeissa, joissa Metsä Groupin lisäksi mukana ovat olleet muun muassa VTT, Aalto yliopisto ja Helsingin yliopisto. Vuonna 2012 Metsä Group aloitti oman aktiivisen kehitystyönsä (Kuura, 2018). Metsä Spring ja ITOCHU perustivat vuonna 2018 yhteisyrityksen MI Demon. Kuura-kuidun vuonna 2020 valmistunut koetehdas sijaitsee Äänekoskella (Kuura, 2020). Koetehdas on

yhteydessä Metsä Groupin biotuotetehtaaseen, josta saadaan kuidun valmistukseen raaka-aineena käytettävää ei-kuivattua paperisellua (Kuorikoski, 2023).

Spinnova on suomalainen Janne Porasen ja Juha Salmelan vuonna 2014 perustama yritys (Finder 2023b). Spinnova on patentoinut menetelmän SPINNOVA®-kuidun valmistamiseen (Spinnova, 2022, Kappale 4.4). Idean kuitulangan valmistamiseen Salmela sai seuratessaan tutkimusta, jossa hämähäkki valmisti seittiä. Spinnovan toimintaan perustunut tutkimustyö tehtiin VTT:llä ja yrityksen perustamista rahoittivat VTT sekä pääomasijoittajat (Reinman, 2017). Vuoden 2022 marraskuussa Jyväskylään valmistui Spinnovan ja brasilialaisen Suzanon yhteistyrityksen Woodspinin kaupallisen mittakaavan kuitutehdas. Suzano on maailman suurin selluntuottaja ja Spinnovan strateginen kumppani. Spinnova-kuidun tärkein raaka-aine on brasilialainen eukalyptussellu ja nahkajäte, jotka hienonnetaan mekaanisesti mikrofibrilloiduksi selluloosaksi MFC:ksi (Spinnova vuosikatsaus, 2023). Taulukkoon 1 on koottu työssä tarkasteltujen menetelmien raaka-aineet ja valmistusmenetelmät.

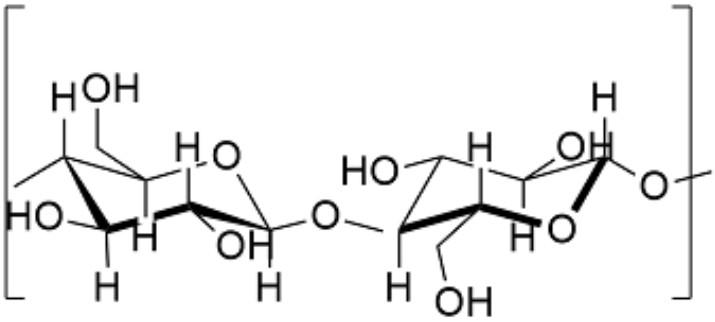
Taulukko 1. Biocelsolin, Infinnan, Kuuran ja Spinnovan valmistamiseen käytettävät kuidun valmistusmateriaalit ja -menetelmät.

	Raaka-aine	**Valmistustapa**
Biocelsol	Havupuusta sulfiittimenetelmällä ja TCF-valkaisulla valmistettu liukosellu.	Massan enstsyymikässittely ja kylmäalkalimenetelmä
Infinna	Useat sellupitoiset materiaalit: liukosellu, paperisellu, mikrokiteinen selluloosa (MCC), mikrofibrilloituselluloosa (MFC), puuvilla, bambukuitu, kenaf-kuitu ja kierrätyskuitu	Selluloosakarbamaattimenetelmä
Kuura	Ei-kuivatusta havupuusta valmistettu ECF-valkaistu paperisellu	Suoraliuotusmenetelmä ionisilla nesteillä
Spinnova	Eukalyptussellu, nahkajäte	Hienontamalla mekaanisesti MFC:ksi

3 Puu raaka-aineena

Puu on yksi maailman tärkeimmistä luonnonvaroista ja jota käytetään moniin eri tarkoituksiin. Puusta on valmistettu paperia ensimmäisen kerran Kiinassa jo 2200 vuotta sitten (Ek, Gellerstedt & Henriksson, 2009). Puumassa on tärkeä raaka-aine, joka suurimmaksi osaksi jalostetaan paperiksi ja kartongiksi. Tässä kappaleessa käsitellään erilaisia puulajeja, sellun valmistusta sekä mikrofibrilloitua selluloosaa ja sen käyttömahdollisuuksia.

Selluloosa on pitkäketjuinen ja vahva orgaaninen polymeeri, jonka rakennekaava on esitetty Kuvassa 1. Puuta pidetään ympäristöystävällisten tuotteiden ehtymättömänä raaka-ainelähteenä (Klemm et al. 2005). Useiden hyödyllisten ominaisuusien vuoksi selluloosaa on tutkittu ja kehitetty nanonmittakaavan selluloosakuitumateriaalien valmistamiseen, kuten esimerkiksi mikrofibrilloitu selluloosa (MFC), bakteeriselluloosa (BNC) ja nanokiteinen selluloosa (CNC) (Siró & Plackett, 2010, Kappale 3.3). Erilaisilla puulajeilla on erilaisia ominaisuuksia mm. kuidun pituus ja kemiallinen koostumus, jotka vaikuttavat sellun valmistukseen ja lopputuotteen ominaisuuksiin (Isotalo, 2004) .



Kuva 1 Selluloosan rakennekaava (Softschools, 2023).

Selluloosan polymeroitumisaste (Degree of Polymerization, DP) kertoo, kuinka monta toistuvaa glykopyranoosiyksikköä on keskimäärin selluloosan molekyyliketjuun. Esimerkkinä raakapuuvillan DP on yli 3000, kun taas valkaistujen paperisellujen DP vaihtelee 800–1200 välillä. Liukosellun DP vaihtelee myös 800–1200 riippuen lopputuotteen laadun ja viskoosikuidulla se on noin 250–500 (Palsanen, 2012).

Selluloosan substituutioaste (degree of substitution, DS) kertoo, kuinka monta glukoosipyranoosiyksikön OH-ryhmää on korvattu. DS voi olla maksimissaan kolme, jos kaikki OH-ryhmät ovat substituoituneet (Palsanen, 2012).

3.1 Erilaiset puulajit

Yleisimmät lehtipuulajit, joita käytetään massojen ja paperinvalmistukseen, ovat eukalyptus, akaasia ja koivu. Niistä valmistetuista hioma- ja painopapereilta vaaditaan hyviä painatusominaisuuksia. Sen sijaan havupuista, kuten männystä ja kuusesta, valmistetaan sellua, jolta vaaditaan hyviä lujuusominaisuuksia. Valkaistua havusellua käytetäänkin esimerkiksi kirjoitus- ja painopapereissa, kartongin valmistuksessa ja korkealaatuisiin pakkausmateriaaleissa (KnowPulp, 2023).

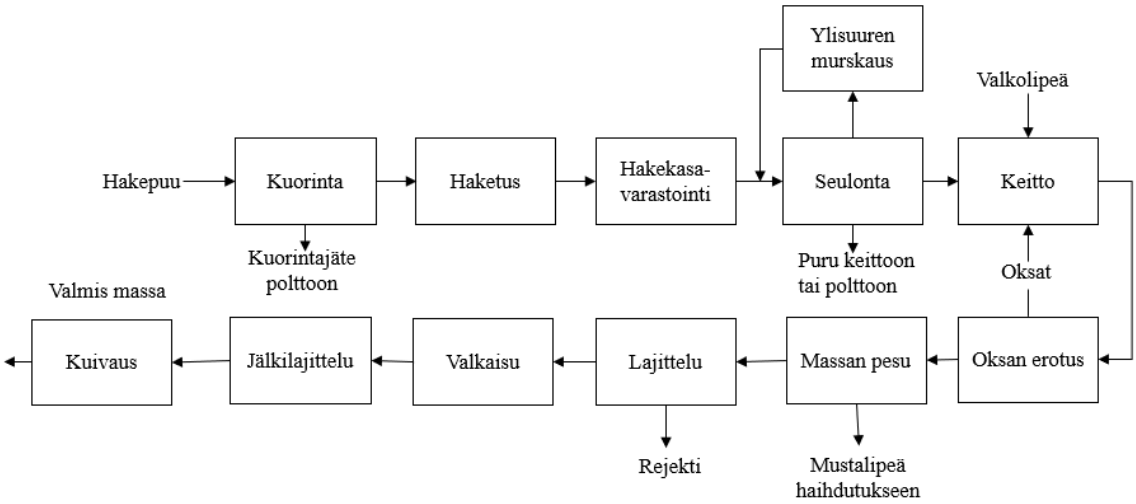
Kuusella ja männyllä on pitkät ja ohuet kuidut. Havupuiden kuidun keskipituus on 1–4 mm, joka on noin kolmekertaa suurempi kuin koivun (1,1–1,2 mm) ja eukalyptuksen (0,95 mm). Havupuiden pitkät kuidut antavat sellulle vahvuutta, kun taas kuidun leveys vaikuttaa kuidun taipuvuuteen ja luhistumistaipumukseen paperinvalmistusprosessissa (KnowPulp, 2023; Isotalo, 2004). Kuidun pituus vaihtelee rungon eri osissa, ja pituuteen vaikuttaa myös puun ikä, kasvunopeus ja ympäristötekijät (Isotalo, 2004).

Puun kemiallinen koostumus vaihtelee eri puulajeilla ja johon vaikuttaa myös kasvuolosuhteet. Kemialliselta koostumukseltaan mänty ja kuusi eivät eroa toisistaan ratkaisevasti. Kuusen ja männyn hemiselluloosapitoisuus on pienempi kuin koivulla ja pienin on eukalyptuksella. Kuidut, joilla on pieni hemiselluloosapitoisuus turpoavat vähemmän, mikä johtaa paperin hyvään mittapysyvyyteen. Eukalyptuksen selluloosapitoisuus on suuri ja hemiselluloosan pitoisuus on pieni, minkä takia eukalyptuksesta saadaan korkeampi saanto kuin koivusta (Isotalo, 2004; KnowPulp, 2023). Uuteaineiden määrä kuusella on 2 % ja männyllä 5 % (Isotalo, 2004).

Kuusen ja männyn kiertoaika on 60–100 vuotta, kun taas koivu on hakkuukypsä 30–60 vuoden iässä. Nopeakasvuisen eukalyptuksen kiertoaika on 22–24 vuotta (KnowPulp, 2023).

3.2 Sulfaatti- sulfiitti- ja liukosellun valmistus

Sellun valmistus koostuu useasta ei vaiheesta, jotka on esitetty Kuvassa 2. Ennen sulfaattikeittoa puusta poistetaan kuori esimerkiksi kuorimarummulla. Kuoren poistaminen vaikuttaa esimerkiksi saatavan massan vaaleuteen, sillä kuori ei juurikaan valkaisussa vaalene. Suomessa sellua on perinteisesti valmistettu männystä, kuusesta ja koivusta. Eukalyptusta käytetään sellun valmistuksen usein trooppisilla alueilla, kuten esimerkiksi Brasiliassa (KnowPulp, 2023). Brasilialainen Suzano onkin maailman suurin sellun tuottaja, joka valmistaa sellun eukalyptuksesta (Spinnova vuosikatsaus, 2023).



Kuva 2. Sulfaattisellun valmistuksen eri prosessivaiheet (Isotalo, 2004).

Sulfaattikeitto on sellumassan yleisin valmistustapa. Keittoprosessissa poistetaan ligniini kemikaalien ja lämmön avulla. Ligniini on puun kuitujen sideaine, joka lisää lujuutta. Myös puun hemiselluloosa ja uuteaineet, kuten pihka pyritään poistamaan, sillä myöhemmissä vaiheissa ne saattavat aiheuttaa vaahtoutumista ja saostumia. Keittoprosessissa sellukuidut pyritään säilyttämään mahdollisimman ehjinä ja vahvoina (KnowPulp, 2023).

On olemassa joko jaksottainen keitto eli eräkeitto tai jatkuva keitto eli vuokeitto. Jaksottaisessa eräkeitossa sellun valmistus tapahtuu hake-erissä vaihe kerrallaan noin 165–170˚C lämpötilassa. Jatkuvassa vuokeitossa hake syötetään pystykeittimen yläpäähän keittokemikaalien kanssa ja alas laskeutuessaan se keittyy selluksi, josta sellu poistetaan. Erä- ja vuokeitossa käytetään keittokemikaalina natriumhydroksidin, NaOh: n ja natriumsulfidin, Na_sS, seosta eli valkolipeää, joka liuottaa kuidusta ligniiniä, hemiselluloosaa ja uuteaineita. Keitossa muodostuu sivutuotteena keittolipeää eli mustalipeää, kun osa alkalista ei reagoi ja

valkolipeän suolat, kuten Na_2CO_3 ja Na_2SO_4, jäävät reagoimatta. Mustalipeä kerätään talteen keiton aikana paisuntasihtien avulla (Isotalo, 2004; KnowPulp, 2023).

Keiton jälkeen massa pestään, jolloin siitä erotetaan liuenneet aineet. Pesun tavoite on tehdä massasta puhdas jatkokäsittelyä varten, jolloin muun muassa valkaisukemikaalien käyttö vähenee. Massa pestään keiton sekä happivalkaisuvaiheen jälkeen. Niiden välissä on mahdollisesti myös yksittäisiä pesuja. Keitossa syntynyt mustalipeä otetaan talteen haihduttamolle ja siinä olevat kemikaalit hyödynnetään uudelleen käyttöön (KnowPulp, 2023).

Massan lajittelussa epäpuhtaudet, kuten oksat, kuori, hiekka ja kivet, poistetaan massasta koon tai painon perusteella hyödyntäen sihtilevyjä tai painovoimaa. Lajittelun jälkeen on tyypillisesti happidelignifiointivaihe, joka poistaa massasta ligniiniä. Siinä lämpötilaa nostetaan emäksisissä olosuhteissa, jolloin happi reagoi ligniinin ja hiilihydraattien kanssa. Tällöin orgaaniset aineet hapettuvat ja happi pelkistyy vedeksi.

Happidelignifiointivaiheen jälkeen on monivaiheinen valkaisu, jonka tavoitteena on jatkaa massan delignifiointia. Valkaisussa poistetaan tai valkaistaan väriä aiheuttava jäännösligniini, jotta massan vaaleus ja puhtaus kasvavat. Pohjoismaissa massan valkaisun yleisin käytetty menetelmä on kloorikaasuton ECF (Elemental Chlorine Free) -valkaisu, jossa valkaisukemikaalina käytetään klooridioksidia (ClO_2) (KnowPulp, 2023). Valkaistu sellu voidaan sellaisenaan siirtää pumppaamalla tai kuljettimilla integroidulle paperi- tai kartonkitehtaalle. Se voidaan myös kuivata kuivauskoneilla ja varastoida tiiviinä paalina kuljetusta ja jatkokäyttöä varten (KnowPulp, 2023).

Hapanta sulfiittimenetelmää käytetään liukosellun valmistamiseen. Sulfiittisellun valmistuksessa käytetään tyypillisesti raaka-aineena kuusta ja keittokemikaalina rikkidioksidia (SO_2). Sulfiittikeiton avulla pystytään valmistamaan massaa, jonka selluloosapitoisuus on hyvin korkea. Sulfiittisellun valkaisuun liukoselluilla käytetään TCF (Total Chlorine Free)-valkaisua, jossa valkaisukemikaalina voidaan käyttää happea, peroksidia tai otsonia. Suomessa sulfiittikeitto ei ole enää käytössä. (KnowPulp, 2023).

Liukosellu valmistetaan samalla tavalla kuin Kuvassa 2, mutta ennen keittoa hemiselluloosa liuotetaan pois. Tämä nostaa kuidun selluloosapitoisuuden 92 % tai korkeammaksi (KnowPulp, 2023). Liukosellusta voidaan valmistaa erilaisia tuotteita, kuten viskoosia, selluloosaasetaattia ja sellofaania. Havupuusta valmistettua liukosellua käytetään raaka-aineena myös Biocelsol-menetelmässä. (Vehviläinen, 2014, Grönqvist et al. 2014). Stora Enso lakkautti

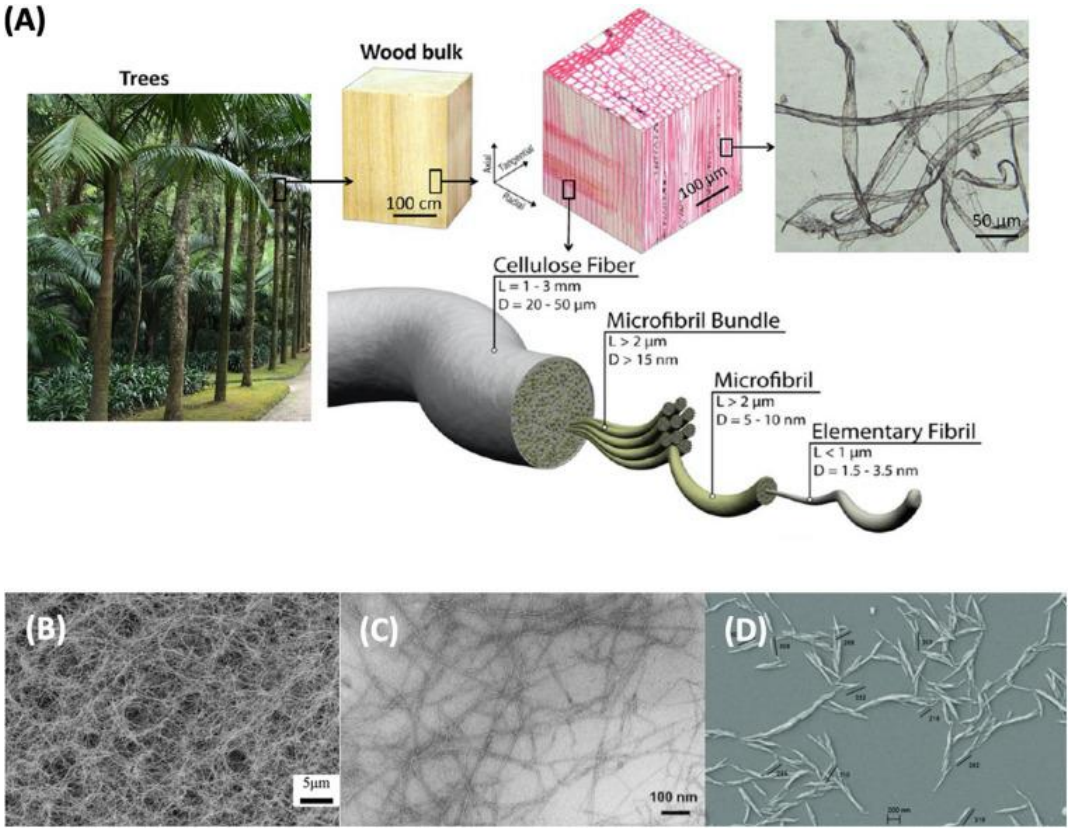
koivusta valmistetun liukosellun tuotannon Suomessa marraskuussa 2021 (Yle-uutiset, 2021).

3.3 Mikrofibrilloitu selluloosa (MFC)

Mikrofibrilloitu selluloosa (MFC) on puusta tai muista kasvikuiduista valmistettu ympäristöystävällinen selluloosananomateriaali, jolla on ainutlaatuisia ominaisuuksia, kuten lujuus, joustavuus, biohajoavuus ja filminmuodostuskyky (Siró & Plackett, 2010). Ensimmäisen kerran nanokokoista selluloosaa valmisteettiin MFC:ksi noin 40 vuotta sitten, jolloin sen valmistaminen kulutti paljon energiaa ja korkea hinta esti kaupallisen toiminnan (Turbak, Snyder & Sandberk, 1983). Viime vuosien aikana kiinnostus nanokokoista selluloosaa kohtaan on kasvanut jälleen (Kangas, 2014). 1980-luvulla MFC:tä valmistettiin puumassasta homogenointiprosessilla, joka johti puumassan hajoamiseen ja kuidut avautuivat alirakenteisiksi mikrofibrilleiksi. Saadut MFC-geelit koostuivat kietoutuneista ja epäjärjestyneistä selluloosananokuituverkostoista (Siró & Plackett, 2010).

Mikrofibrilli (MFC) koostuu yleensä selluloosafibrillien aggregaateista, joiden tyypillinen halkaisija on 20–40 nm (Kuvassa 3 Microfibril Bundle, Svagan et al., 2007). Puu on tärkein selluloosakuitujen raaka-aine, mutta myös muut selluloosaa sisältävät materiaalit, kuten yksivuotiset kasvit ja maatalouden sivuvirrat, esimerkiksi vehnän oljet sopivat raaka-aineiksi (Kangas, 2014). Uusiutuvuuden ansoista viljelytähteet ovat arvokkaita luonnonkuitujen lähteitä ja sisältävät usein myös vähemmän ligniiniä, jolloin valkaisuprosessi vaatii vähemmän energiaa (Siró & Plackett, 2010). Maatalouskuitujen selluloosamikrofibrillit ovat kietoutuneet löyhemmin primäärisolun seinämään kuin puun sekundääriseinämään, joten energian kulutus on tyypillisesti pienempi nanoselluloosan tuotannossa.

Selluloosananomateriaalit voidaan jakaa ominaisuuksien ja koon perusteella kolmeen luokkaan: nanofibrilloituun selluloosaan (CNF), nanokiteiseen selluloosaan (CNC) ja bakteeriselluloosaan (BC) (Kuva 3, Kangas, 2014).



Kuva 3. A. Puukuitujen hierarkkinen rakenne, B. bakteerinanoselluloosa (BNC), C. nanofibrilloitu selluloosa (CNF) eli mikrofibrilloitu selluloosa (MFC), yläkuvassa Microfibril Bundle ja D. nanokiteinen selluloosa (CNC) (Felgueiras et. al 2021).

Raaka-aine esikäsitellään, jotta voidaan tuottaa puhdasta selluloosaa jatkokäsittelyä varten. Esimerkiksi alkalinen esikäsittely hajottaa ligniinin rakennetta ja auttaa erottamaan ligniinin ja hiilihydraattien välisiä sidoksia. MFC:n valmistus tapahtuu yleensä mekaanisella käsittelyllä, joka koostuu jauhatus- ja korkeapainehomogenointiprosessivaiheista. Siinä laimea kuitususpensio johdetaan kiekkojauhimen roottorin ja staattorin levyjen välisen raon läpi. Kuidut altistuvat levyissä urien ja tankojen muodostamalle sykliselle rasitukselle, mikä saa aikaan muutoksia kuiduissa. Muutokset lisäävät kuidun sitoutumispotentiaalia muuttamalla morfologiaa ja kokoa. Homogenoinnissa selluloosakuitulietettä pumpataan korkeassa paineessa jousikuormitetun paineenrajoitusventtiilin läpi. Venttiili avautuu ja sulkeutuu nopeasti peräkkäin, jolloin kuituihin muodostuu suuri painehäviö leikkaus- ja iskuvoimista. Tästä aiheutuu selluloosakuitujen mikrofibrillaatio valmistaen MFC-kuituja (Siró & Plackett, 2010).

4 Selluloosapohjaisten tekstiilikuitujen valmistusmenetelmät

Selluloosa ei liukene veteen tai orgaanisiin liuottimiin. Sen sijaan se muutetaan selluloosaksantaatiksi, - karbamaatiksi, - nitraatiksi tai -asetaatiksi, jonka jälkeen selluloosa regeneroidaan hydrolyysin avulla laimeassa happoliuoksessa. Esimerkiksi viskoosiprosessissa selluloosasta muodostetaan selluloosaksantaattia käyttämällä laimeaa rikkihappoliuosta märkäkehräyksessä. Selluloosan liuottamiseen käytetään myös perinteisiä liottimia, kuten NaOH, NaOH/urea- ja LiOH/urea-seosta. Teollisuudessa käytetään esimerkiksi kupari-ammoniakki- ja N-metyylimorfoliini-N-oksidi-vesi ($NMMO \cdot H_2O$)- menetelmää kupron ja Lyocell-kuidun valmistamisessa (Hauru, 2017).

Tässä kappaleessa tarkastellaan neljää valittua selluloosatekstiilikuidun valmistusmenetelmää: Biocelsol, Infinna, Kuura ja Spinnova. Niissä käytetään erilaisia liuotuskemikaaleja ja Spinnovan valmistuksessa kemikaaleja ei käytetä lainkaan. Menetelmät eroavat toisistaan myös raaka-aineiden osalta, kuten on esitetty Taulukossa 1. Kuuran valmistukseen käytetään ECF-valkaistua kuivaamatonta havupuusellua ja Biocelsolin valmistukseen on käytetty entsyymikäsiteltyä TCF-valkaistua sulfiittiliukosellua. Spinnovan pääraaka-aine on eukalyptussellu. Infinnan valmistuksessa raaka-aineiksi käyvät liukosellu, paperisellu sekä esimerkiksi tekstiilijäte ja sanomalehdet.

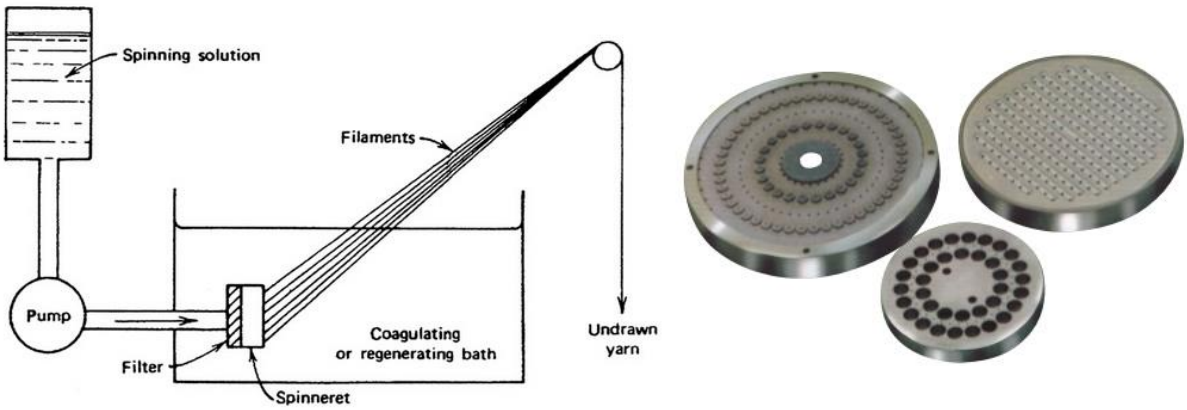
4.1 Biocelsol

Kuten Kuvasta 1 nähdään, selluloosalla on monimutkainen molekyylirakenne. Jotta halutut reaktiot tehostuvat, selluloosaa yleensä esikäsitellään fysikaalisesti ja tai kemiallisesti. Biocelsol-prosessissa selluloosamassa jauhetaan mekaanisesti ennen entsyymikäsittelyä, jotta saavutetaan riittävän korkea selluloosan liukoisuus (Vehviläinen, 2015). Vehviläinen (2015) on todennut, että selluloosan liukenemisen alkaliseen liuokseen parantamiseksi on suositeltavaa käytettävää selluloosaa hajottavia entsyymejä, kuten sellulaaseja. Erityisesti endoglukanaasit ovat tehokkaita, ja sellobiohydrolaasien käyttöä tulisi välttää saannon maksimoisimeksi. Endoglukanaasi on selluloosaan hydrolyysiin tarkoitettu entsyymi, joka katkaisee

sidoksia eri kohdista selluloosaketjua. Tyypillinen entsyymi, kuten sellulaasi koostuu noin 200–800 aminohappoketjusta. (Ek, Gellerstedt & Henriksson, 2009).

Lämpötilan laskeminen lähelle nollaa ja sinkkioksidin käytön on havaittu lisäävän entsyymikäsitellyn kuidun liukoisuutta (Vehviläinen, 2015). Entsyymeillä esikäsitelty selluloosa liuotetaan pakastus-sulatus-menetelmällä, jossa kehruuliuos valmistetaan jäädyttämällä entsyymikäsitelty selluloosamassa ja emäksinen natriumsinkaatin seos. Vaihtoehtoisesti kylmä natriumsinkaatti voidaan lisätä kylmähauteessa entsyymikäsiteltyihin kuituihin ja sekoittaa, kunnes selluloosa on lionnut.

Kuidun kehräämiseen käytetään märkäkehruumenetelmää, joka on esitetty Kuvassa 4 vasemmalla. Siinä selluloosaliuos pumpataan pieniä reikiä sisältävän kehruusuulakkeiden läpi (Kuva 4 oikea), joka upotetaan kokonaisuudessaan kehruukylpyyn. Kylvyssä käytetään laimeaa rikkihappoa, jossa selluloosaliuos alkaa saostumaan välittömästi. Saostuneet kuidut kerätään, venytetään ja pestään. Kuidut voidaan kerätä joko jatkuvana säikeenä tai katkokuituina, kun säie on leikattu haluttuun pituuteen. Viimeisenä kuidut viimeistellään ja kuivataan (Vehviläinen, 2015).



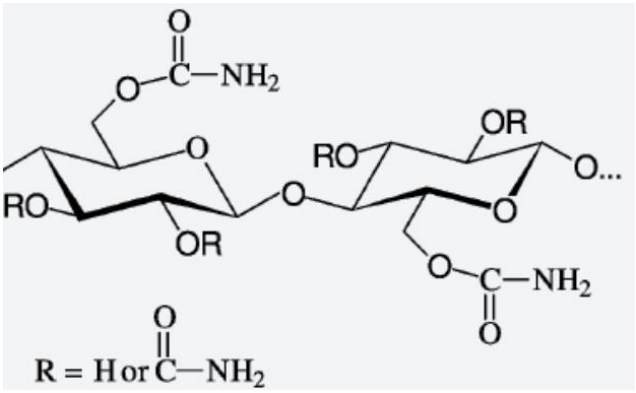
Kuva 4. Vasemmalla märkäkehruu menetelmä (Kiron, 2022) ja oikealla erilaisia kehruusuulakkeita (Shfutai, 2023).

4.2 Infinna

Selluloosakrabamaatin raaka-aineena käytetään yleisesti liukosellua, joko sulfiittisellua tai esihydrolysoitua sulfaattisellua, joka on tehty havu -tai lehtipuusta ja mieluiten kuivaamattomasta massasta. Lisäksi paperisellulle on kehitetty oma prosessi (Harlin, 2019). Myös

muita selluloosapohjaisia materiaaleja on käytetty, kuten MCC, MFC, puuvilla, bambukuitu, kenaf-kuitu ja kierrätyskuidut (Harlin, 2019). Infinited Fiberin patentoidulla teknologialle pystytään muuttamaan kaatopaikalle tai polttoon menevä jäte tekstiiliteollisuuden kuiduksi. Infinnan raaka-aineeksi sopii myös vanhat sanomalehdet, käytetty pahvi, vaatteet ja maatalouden jätevirrat esimerkiksi olki. Tällä hetkellä puuvillasta tehdyt tekstiilit soveltuvat prosessiin parhaiten. Tekstiileistä poistetaan napit ja vetoketjut. Materiaali lajitellaan ja hajotetaan pieneksi silpuksi. Tekstiilien usein sisältämä polyesteri, väriaineet sekä kankaiden käsittelyaineet poistetaan ja selluloosa otetaan talteen.

Erotettu selluloosa reagoi urean kanssa ja tätä vaihetta kutsutaan karbamointivaiheeksi. Urean kanssa reagoidessa syntyy selluloosakarbamaattipulveri, joka liuotetaan nesteeksi, jolloin sivutuotteena syntyy ammoniakkia. Selluloosakarbamaatti liukenee alkaliin (Harlin, 2019). Nestemäinen selluloosa suodatetaan ja siitä poistetaan epäpuhtaudet. Selluloosakarbamaattien rakennetta voidaan kuvata polymeroitumisasteella (DP) ja substituutioasteella (DS) (Palsanen, 2012). Selluloosakarbamaatin rakenne on esitetty Kuvassa 6.

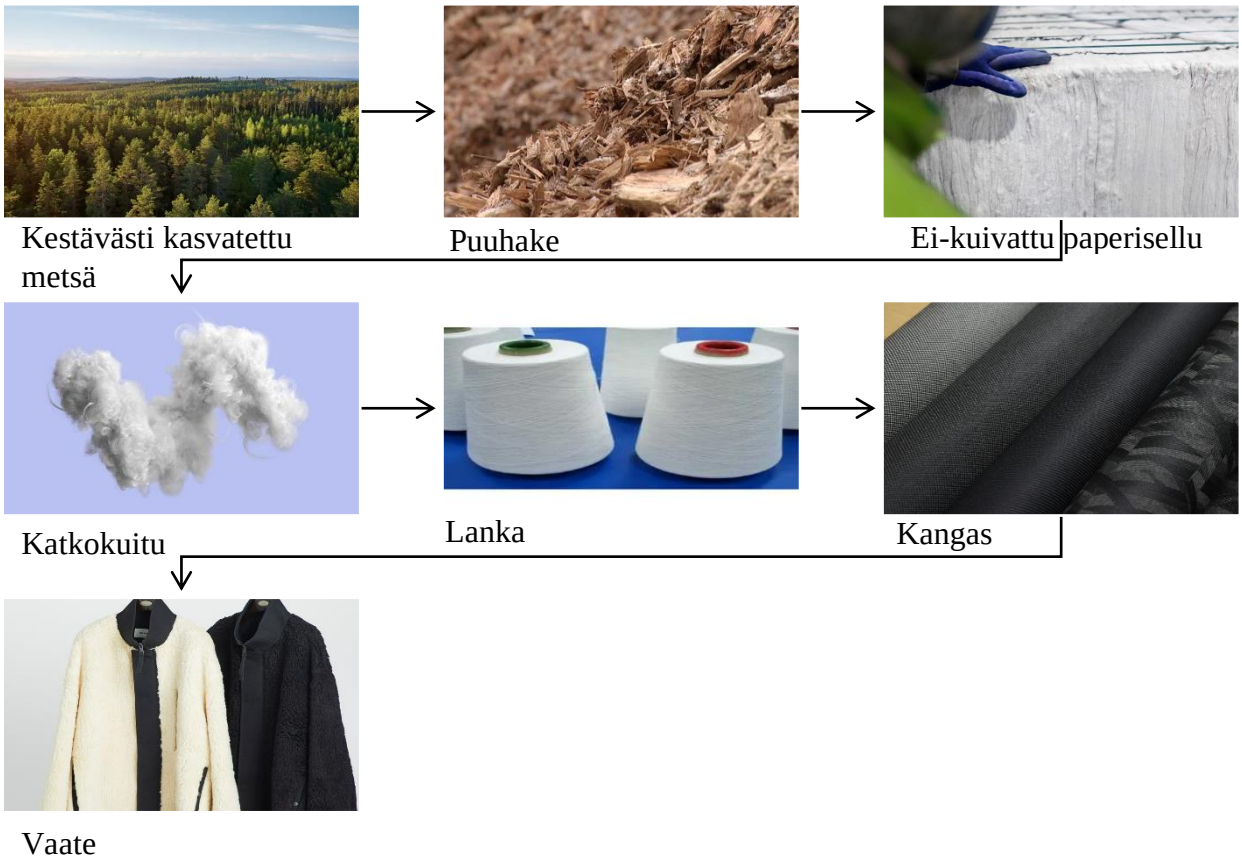


Kuva 5. Selluloosakarbamaatit ovat selluloosan karbamiinihappoestereitä, joissa karbamyyliryhmät, (-O-CO-NH_2), ovat korvanneet osan on selluloosan hydroksyyliryhmistä (Harlin, 2019).

Selluloosa kehrätään märkäkehruumenetelmällä, kuten Biocelsol-menetelmässä (Kuva 4). Märkäkehräyksessä selluloosaliuos kiteytyy uusiksi kuitufilamenteiksi, jotka leikataan katkokuiduksi, pestään ja kuivataan. Syntynyt uusiokuitu toimitetaan langanvalmistajalle ja eteenpäin kankaanvalmistajalle. Kuitua voidaan tuottaa myös esimerkiksi puhdistusliinoiksi tai vaipoiksi (Infinited Fiber, 2022).

4.3 Kuura

Kuura-tekstiilikuitu on sellun jatkojaloste, jonka raaka-aineena käytetään ei-kuivattua EFC-valkaistua havupuusellua. Sellu tuotetaan Metsä Groupin biotuotetahtaalla Äänekoskella (von Weymarn, 2014). Sellun valmistukseen käytettävä pitkäkuituinen mänty ja kuusi ovat peräisin suomalaisista kestävästi kasvatetuista metsistä. Puut ovat lähellä kasvatettuja, joten matka metsästä Äänekosken tehtaalle ei ole pitkä (Pulp Sourcing Policy of MI Demo Ltd, 2021). Käytetyn kuivaamattoman paperilaatuisen sellun kuiva-ainepitoisuus on noin 3–4 % ja se valmistetaan kuiduksi suoraliuotusmenetelmällä käyttäen ionisia nesteitä sellun liuotukseen (Kuorikoski, 2023; Suomen tekstiili ja muoti, 2023b). Kuvassa 6 on esitetty Kuuran valmistusprosessi. Itochu valmistaa Kuura-kuidun langaksi, tekstiiliksi ja valmiiksi tuotteeksi. Kuuran valmistuksessa ei käytetä fossiilista energiaa (Kuura, 2021a).



Kuva 6. Kuura-kuidun valmistusprosessi: Kestävästi kasvatettu metsä (MetsäGroup, 2023), puuhake (Siirilä, 2014), ei-kuivattu paperisellu (Kuura, 2021a), katkokuitu (Kuura, 2021b), lanka (Fibre2Fashion, 2023), kangas (Kuura 2022) ja vaate (Kuura 2023).

Kuura-kuidun valmistuksessa selluloosamassa liuotetaan ioniseen nesteeseen. Metsä Fibren käyttämä ionien neste ei ole tiedossa. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan kuitenkin yleisellä tasolla ionisia nesteitä ja niiden käyttöä selluloosakuitujen liuottimena.

Ioniset nesteet (IL) koostuvat kationeista ja anioneista ja ne ovat suoloja nestemäisessä muodossa. Ionisilla nesteillä on useita fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, kuten erittäin alhainen höyrypaine, hyvä lämpöstabiilisuus, syttymättömyys ja niitä voidaan käyttää liuottimena sekä katalyyttina. Selluloosamassa voidaan liottaa esimerkiksi [Emim]OAc (1-etyyli-3-metyyli-imidatsolium asetaattiin) sen alhaisen viskositeetin ja korkean selluloosan liukoisuuden vuoksi (Singh & Savoy, 2020). Viime aikoina on tutkittu paljon erilaisia biojalostamokäyttöön tarkoitettuja ionisia nesteitä, joista kerrotaan tarkemmin esimerkiksi Haurun väitöskirjassa (Hauru, 2017).

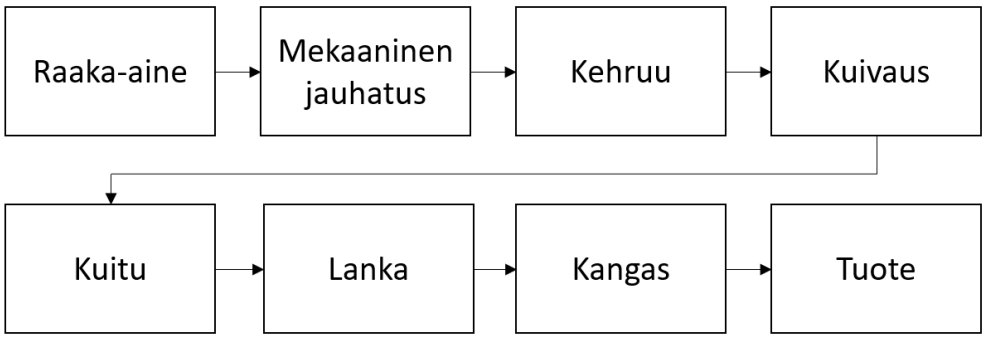
Liuottimina ioniset nesteet ovat ympäristöystävällisempiä verrattuna perinteisiin rikkihappoon ja natriumhydroksidiin. Suljetussa kierrossa liuotinta voidaan käyttää uudelleen, joten kemikaalien päästöt ympäristöön vähenee. Ionisella nesteellä liuotetusta selluloosasta muodostuu nanoselluloosaa. IL:n kyky liuottaa selluloosaa johtuu pienistä vetysidoksia vastaanottavista anioneista (Isik et al., 2014). Esimerkiksi Ioncell-menetelmä valmistaa kuituja liottamalla selluloosaa ionisiin nesteisiin, minkä jälkeen kuidut valmistetaan ilmarakokehruumenetelmällä (Suomen Tekstiili & Muoti, 2023b).

4.4 Spinnova

Raaka-aineeksi soveltuvat useat selluloosapitoiset materiaalit, kuten nahka, maatalous- ja tekstiilijäte sekä niiden sivuvirrat. Tärkein raaka-aine kuitenkin tällä hetkellä on eukalyptuspohjainen puusellu, jonka valmistamiseen käytetään Brasilian FSC- ja PEFC-sertifioitua puuta. Suzano valmistaa sellun ja kuidun valmistus tapahtuu Jyväskylän tehtaassa. Sertifikaatit takaavat raaka-aineena käytettävien puiden olevan kestävästi ja hyvin hoidetusta metsästä. Spinnova hankkii nahkajätettä tanskalaisen kenkävalmistajan ECCO:n nahkatehtaista (Spinnova vuosikatsaus, 2023).

Kuidun valmistusprosessissa eukalyptussellua käsitellään mekaanisesti ja prosessoidaan mikrofibrilloiduksi selluloosaksi (MFC). MFC:tä ja sen valmistusta on kuvattu Kappaleessa 3.3. Spinnova-kuidun valmistusprosessi on esitetty Kuvassa 7. Geelimäinen MFC on valmis

ekstruusioon eli suulakepuristukseen. Geeli puristetaan paineella ja suurella nopeudella pienten suulakkeiden läpi, jolloin kuidut asettuvat virtauksen mukaisesti. Kuitu kuivataan, kerätään ja katkotaan, jonka jälkeen kuidut voidaan kehrätä langaksi. Kuidun valmistusprosessi tapahtuu ilman liuottamista tai haitallisia kemikaaleja. Ainoa sivuvirta prosessissa on vesihöyry, joka suljetussa kierrossa käytetään uudelleen. Lisäaineena kuidussa käytetään polymeerejä, kuten karboksimetyyliselluloosaa (CMC) (Mäntyranta, 2020; vuosikatsaus, 2021). On tutkittu, että varautunut CMC vähentää mikrofibrillien ja kuitukimppujen aggregoitumista (Agarwal, MacNaughtan & Foster, 2018).



Kuva 7. SPINNOVA®-kuidun valmistusprosessi.

Spinnova-kuitu valmistetaan hyvin ympäristöystävällisesti ja materiaali on nopeasti biohajoavaa sekä kierrätettävää. Jos kuitu päätyy luontoon, se hajoaa noin 2–3 kuukaudessa eikä kuidusta ei aiheudu jätettä, sivuvirtoja tai mikromuovia. On laskettu, että hiilidioksidipäästöt ovat 64,5 % prosenttia pienemmät kuin puuvillan tuotannossa. Lisäksi puuvillaan verrattuna Spinnova-kuidun vedenkulutus viljelystä valmistukseen on 99,5 % pienempi (Vuosikatsaus 2021).

5 Kankaan ominaisuudet

Biocelsol-kuitu muistuttaa ominaisuuksiltaan viskoosia, mutta kosteudenimukyky on parempi verrattuna puuvillaan tai viskoosiin. Kuidusta valmistettu materiaali on pehmeämpi kuin puuvilla ja hyvin laskeutuva sekä lämmittävä (Suomen Tekstiili & Muoti 2023b). Värjäytyvyys on hyvää. Harlinin (2023) mukaan haluttujen kohtien värien vastaanottavuutta voidaan parannella lisäämällä kuituun kaksoissidoksia (Vehviläinen et al., 2022). Tällä tavalla vain kerran värjäämällä ja kuituja muokkaamalla saadaan aikaan esimerkiksi raitoja kankaaseen (Harlin, 2023). Kemialliseen reaktioon perustuva värjäys säästää värjäyskemikaaleja ja on ympäristöystävällisempi vaihtoehto.

Infinna tekstiilikuitu näyttää ja tuntuu puuvillalta, jonka ansiosta sitä voi hyvin sekoittaa puuvillan kanssa. Infinnasta valmistettua kangas on esitetty Kuvassa 8. Muita kuidun ominaisuuksia ovat väriaineen erinomainen imeytyväisyys, luonnollinen ulkonäkö ja pehmeä tuntuma. Infinnan prosessoitavuus on hyvä, minkä ansiosta mahdollisia käyttökohteita on rajoittamattomasti (Infinited Fiber, 2022).

Kuva 8. Infinnasta valmistettu kangas. (Infinited Fiber 2022)

Kuura pyrkii tekemään kuidustaan Lyocell-tyyppistä kuitua, joka on lujaa, pehmeää, ja imee ja siirtää hyvin kosteutta. Tarkoitus on valmistaa samankaltaista tuotetta kuin markkinoilla

jo on, mutta ympäristöystävällisesti. Kuura on käsituntumalta hyvä ja puuvillamainen, jolla on useita käyttökohteita, kuten kudotut tekstiilit sekä tekniset kankaat (Kuorikoski, 2023).

Spinnovan tekstiilikuitu on puuvillan tai pellavan tuntuinen. Sen lämmöneristävyys on samankaltainen kuin villalla. Kuitu on lujaa ja hyvin värjäytyvää (Suomen Tekstiili & Muoti, 2023b). Kuitua voi värjätä jo ennen langaksi kehräämistä, jolloin ei tarvita perinteiseen värjäämiseen käytettyä vettä ja kemikaaleja. Spinnovan kuitukankaan ompeleminen teollisuusompelukoneella on ollut helppoa (Reinman, 2017). Spinnovan kuidun tärkein käyttökohde on vaatteet, mutta sitä testaan myös kuitukankaissa, sisutus- ja kulkuneuvojen tekstiileissä sekä komposiittina laskettelusuksissa (Spinnova vuosikatsaus, 2023). Taulukkoon 2 on koottu työssä tutkittujen menetelmien (Biocelsol, Infinna, Kuura ja Spinnova) avulla valmistettujen kankaiden omanaisuuksia.

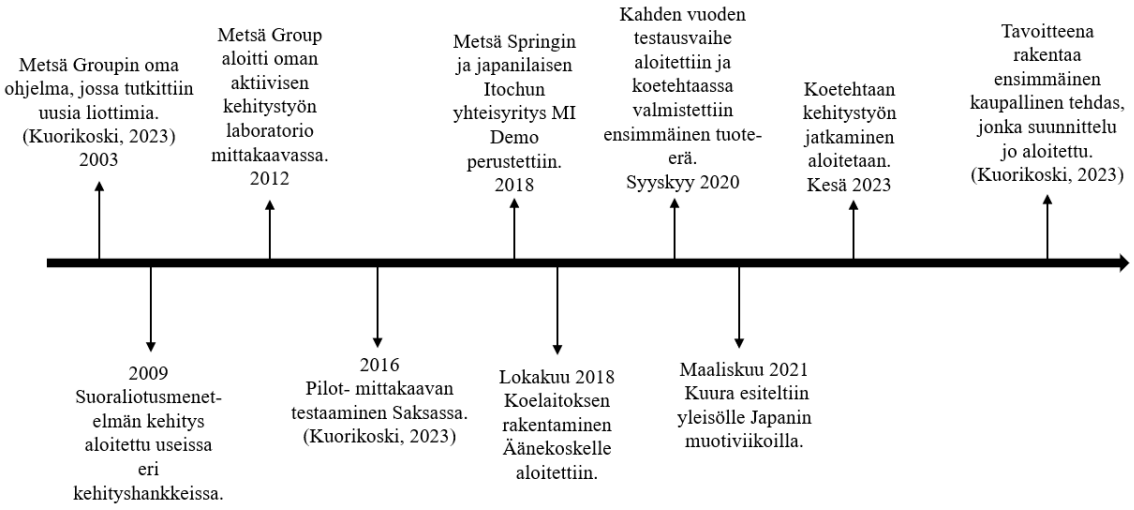
Taulukko 2. Biocelsol-, Infinna-, Kuura- ja Spinnova-kuidusta valmistettujen kankaiden ominaisuuksia.

Menetelmä	**Tuntu**	**Lujuus**	**Värjäytyvyys**	**Lämmöneristävyys**	**Käyttökohteet**
Biocelsol	Viskoosin kaltainen	Eri valmistustavoilla saadaan eri lujuisia (Harlin, 2023)	Erittäin hyvä	Lämmittävä	Vaate
Infinna	Puuvilla		Erinomainen		Vaatteet ja muut tekstiilit
Kuura	Pehmeä, puuvillamainen	Vahva, myös märkänä	Helposti värjäytyvä		Kudotut tekstiilit, kuitukankaat
Spinnova	Puuvilla tai pellava	Luja	Hyvin värjäytyvää	Villan kaltainen	Vaate-, sisustustekstiilit, asusteet, kuitukangas, Laskettelusukset

Yleisesti voidaan sanoa, että Biocelsol, Infinna, Kuura ja Spinnova muistuttavat tuntumaltaan kaikille jo entuudestaan tuttuja materiaaleja, kuten puuvillaa ja viskoosia. Kuidut ovat myös helposti värjäytyviä. Spinnova- sekä Biocelsol-kuidut ovat myös lämpöeristäviä. Kuiduille on löydetty tekstiilien lisäksi useita käyttökohteita. Esimerkiksi Spinnovan kuitua käytetään suomalaisen Pusun laskettelusuksissa korvaamaan lasikuitua.

6 Tutkimuksesta pilotointiin ja tehdasmittakaavaan

Metsä Groupin tavoitteena on hakea Kuura-kuidulla uutta liiketoimintaa. Kuidun testaaminen, kehittäminen ja asiakkailta palautteen kerääminen on pitkä prosessi ja tärkeä kehityksen kannalta (Kuorikoski, 2023). Kuvassa 9 on Kuuran kehityksen kannalta olennaisia tapahtumia.



Kuva 9. Kuuran-kuidun kehitys tutkimuksesta tehdasmittakaavaan.

Metsä Group aloitti vuonna 2003 tutkimaan selluloosan liuottimia. Vuonna 2009 Metsä Group aloitti yhteistyön tutkimuslaitosten kanssa, jolloin tutkittiin selluloosan uusia liuottimia ja tekstiilikuidun valmistusta sellumassasta. Tämän jälkeen vuonna 2013 Metsä Group aloitti omat laboratoriomittakaavan tutkimukset, jossa kehitettiin uusia liuottimia ja valmistusprosesseja. Pilot-mittakaavaan laajennettiin vuonna 2016 Saksassa, jonka jälkeen tuli päätös perustaa oma koetehdas Äänekoskelle. Tehdas valmistui Äänekoskelle vuonna 2020, jolloin aloitettiin testausvaihe. Siihen on mahtunut Kuuran valmistusprosessin ja tuotteen laadun kehittämistä. Testausvaiheen tuloksien perusteella valmistusmenetelmää, laitteistoa ja automaatiota kehitetään paremmaksi. Vuonna 2024 tilannetta tullaan arvioimaan uudelleen ja tavoitteena on rakentaa ensimmäinen kaupallinen tehdas, jonka teknisen konseptin suunnittelu on jo aloitettu (Kuorikoski, 2023).

Ensimmäinen tuote-erä valmistui koetehtaalta syyskuussa 2020 ja Kuura-kuidusta valmistettua takkia on testattu Japanin markkinoilla (Kuva 10). Äänekosken tehtaan kapasiteetti on

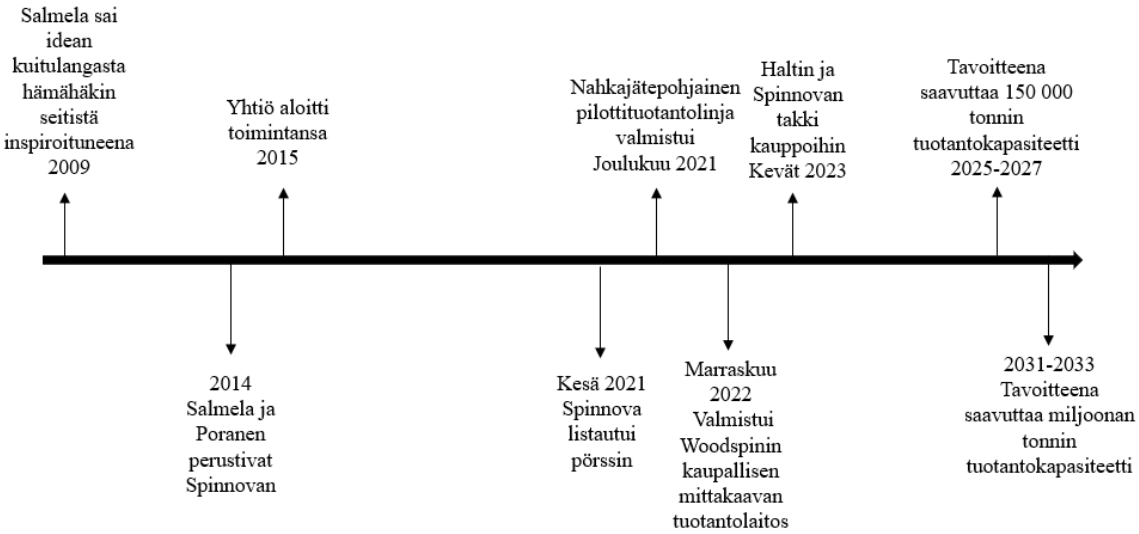
1 t/pvä, mutta tarkoitus ei ole ajaa maksimikapasiteetilla. Tuotantomäärää tärkeämpää on prosessin kehittäminen (Kuorikoski, 2023).

Kuva 10. Japanin markkinoille viety Kuura-kuidusta valmistettu pehmokarvatakki (Kuura, 2021b).

Spinnova on tehnyt vuodesta 2018 alkaen kehitysyhteistyösopimuksia globaalien vaatebrändien kanssa teknologia-alustan kaupallistamiseksi, kuten Marimekon, Adidaksen, The North Face:n ja H&M:n. Spinnova on tehnyt useita tuotelanseerauksia vuoden 2022 aikana. Tällä hetkellä uusin Spinnovan kuidusta ja puuvillasta valmistettu vettähylkivä ja tuulenpitävä Haltin parkatakki tuli myyntiin rajoitettuna eränä huhtikuun alussa 2023 (Kuva 11, SpinnovaGroup, 2023). Takin värjäykseen on käytetty ruotsalaista ympäristöystävällistä imogon värjäystapaa. Väriaine levitetään tekstiiliin ruiskulla, joka vähentää merkittävästi energian-, kemikaalin-, ja vedenkäyttö verrattuna tavanomaiseen värjäykseen (Imogo, 2023).

Kuva 11. Spinnovan ja Haltin yhteistyössä valmistama imogon-värjätty takki (Halti, 2023).

Spinnovan pitkäaikainen tavoite vuosina 2031–2033 on saavuttaa miljoonan tonnin tuotantokapasiteetti. Spinnovan ja kenkävalmistajan ECCON nahkakumppani KT Trading AG:n yhteisyritys on Respin, jonka nahkajätepohjainen pilottituotantolinja Jyväskylässä valmistui joulukuussa 2021 (Spinnova vuosikatsaus, 2021). Kuvassa 12 on Spinnovan kehityksen kannalta olennaisia tapahtumia.



Kuva 12. Spinnovan-kuidun kehitysvaiheet.

VTT:n professori Harlin yhdessä muiden kanssa tutki selluloosakarbamaattiteknologiaa jo 1990-luvulla. Teknologia kaupallistettiin Harlinin ja Alavan toimesta vuonna 2015, joten Infinited Fiber Company perustettiin. Infinna-kuidun valmistuksen pilotointi aloitettiin vuonna 2018 Espoossa yhdessä VTT:n kanssa. Tavoitteena oli varmistaa teknologian toimivuus ja jatkaa kehitystyötä. Vuonna 2020 valmistui ensimmäinen kaupallisen tuotannon tehdas Valkeakoskelle (Alava, 2021). Infinited Fiber suunnittelee 400 miljoonan euron investointia Kemin uuteen lippulaivatehtaaseen, josta ensimmäiset kaupalliset toimitukset mahdollisesti alkavat vuonna 2026. Tuotannon vuotuiseksi kapasiteetiksi on suunniteltu 30 000 tonnia, josta voi valmistaa esimerkiksi noin 100 miljoonaa t-paitaa (Koskinen, 2023). Infinnan tuottamiseen tarvittava teknologia on valmis ja lisensoitavissa, jota on mahdollista käyttää myös jo olemassa olevissa sellu- ja viskoositehtaissa (Infinited Fiber, 2022).

7 Johtopäätökset

Biocelsol, Infinited Fiber, Kuura ja Spinnova ovat kaikki suomalaisia yrityksiä, jotka kehittävät ja valmistavat kestäviä ja vastuullisia puupohjaisista sellukuiduista, joiden syntymisen on mahdollistanut pitkäjänteinen kehitystyö. Yritykset käyttävät tekstiilikuidun valmistukseen erilaisia teknologioita, liuotuskemikaaleja ja eri puulajeista eri tavalla keitettyjä/valkaistuja sellukuituja. Uudenlaisilla kestävillä materiaaleilla pyritään vähentämään tekstiilijätettä ja pienentämään tekstiiliteollisuuden ympäristövaikutuksia. Tekstiilijätteen kierrättämisestä tulee EU-alueella pakollista vuonna 2025. Uusilla valmistusmenetelmillä tuotetut Biocelsol-, Infinna-, Kuura- ja Spinnova-kuidut ovat täysin kierrätettäviä ja uudelleen käytettäviä.

Tutkittujen yritysten tuotekehitys ja markkinoille pääsy ovat eri vaiheissa. Spinnovalla on jo otettu käyttöön ensimmäinen kaupallisen mittakaavan tuotantolaitos ja yritys on lanseerannut useita tuotteita markkinoille tunnettujen vaatebrändien kanssa. Kuuran valmistus on koetehdasvaiheessa ja tuotekehitys on käynnissä ja kaupallisen mittakaavan tehtaan teknisen konseptin suunnittelu on aloitettu. Infinited Fiberilla on kaksi pilottimittakaavan tehdasta ja suunnitelma kaupallisen mittakaavan tehtaasta, jonka toimitukset alkaisivat mahdollisesti vuonna 2026. VTT ja TUT vastaavat Biocelsolin kaupallistamisesta ja skaalaamisesta, mutta se ei ole vielä näköpiirissä.

Pilotoinnista tehdasmittakaavaan siirtymiseen vaikuttaa teknologian toimivuus ja prosessin kehittäminen, jotta lopputuotteesta saadaan halutunlainen ja taloudellisesti kannattava. Kuuran valmistuksen koetehdasvaihe aloitettiin syyskuussa 2020 ja kehitystyö on edelleen käynnissä. Spinnova on lanseerannut markkinoille viime vuoden aikana useita tuotteita ja uusia tulee koko ajan. Voidaan todeta, että tutkimuksen aloittamisesta tehdasmittakaavan tuotantoon asti on mennyt n. 19–20 vuotta, mikä osoittaa tutkimuksen ja kehityksen olevan hyvin pitkäjänteistä. Suomi näyttää selvästi tietä selluloosapohjaisten tekstiilien valmistuksessa. Tulevaisuudessa voidaan odottaa selluloosapohjaisten tekstiilien valmistuksen kasvavan edelleen edistäen pyrkimyksiä kohti kestävää ja ympäristöystävällistä tekstiiliteollisuutta.

Lähteet

Agarwal, D., MacNaughtan, W. & Foster, T.J. 2018. Interactions between microfibrillar cellulose and carboxymethyl cellulose in an aqueous suspension. Carbohydr. Polym.185, 112–119, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.12.086

Alava, P. 2021. Infinited Fiber synnyttää tekstiilikuidun uudelleen: ”Tekstiilialan murroksen näkee ja tuntee”. Sitra. [Viitattu 10.4.2023]. Saatavissa: https://www.sitra.fi/caset/infinited-fiber-synnyttaa-tekstiilikuidun-uudelleen-tekstiilialan-murroksen-nakee-ja-tuntee/.

Battista O. A. & Smith P. A. 1962. MICROCRYSTALLINE CELLULOSE. Industrial and engineering chemistry. [Verkkoaineisto]. 54 (9), 20-29.

CIRF, European Man-made Fibres Association, 2023. Product and Production Process [Viitattu 20.2.2023]. Saatavissa: https://www.cirfs.org/man-made-fibers/Product-and-production-process.

Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. 2009, Pulp and paper chemistry and technology. Volume 1. Wood chemistry and wood biotechnology. De Gruyter. Berlin.

Felgueiras, C., Azoia, N. G., Gonçalves, C., Gama, M., & Dourado, F. 2021. Trends on the Cellulose-Based Textiles: Raw Materials and Technologies. Frontiers in bioengineering and biotechnology, 9, 608826. Saatavissa: https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.608826.

Fibre2Fashion 2023. Cotton compact cone yarn Suppliers. [Viitattu 9.4.2023]. Saatavissa: https://www.fibre2fashion.com/yarns/cotton-compact-cone-yarn-suppliers-17132464.

Finder 2023a. Infinited Fiber Company Oy - taloustiedot, Y-tunnus ja päättäjät - Finder.fi [Viitattu 20.2.2023]. Saatavissa : https://www.finder.fi/Tuotekehitys+tutkimus-+ja+suunnittelupalvelut/Infinited+Fiber+Company+Oy/Espoo/yhteystiedot/3130141.

Finder 2023b. Spinnova Oyj - taloustiedot, Y-tunnus ja päättäjät - Finder.fi [Viitattu 20.2.2023]. Saatavissa: https://www.finder.fi/Paperit+paperituotteet+kartongit/Spinnova+Oyj/Jyv%C3%A4skyl%C3%A4/yhteystiedot/3041203.

Grönqvist, S., Hakala, T.K., Kamppuri, T., Vehviläinen, M., Hänninen, T., Liitiä, T., Maloney, T.and Suurnäkki, A. 2014. Fibre porosity development of dissolving pulp during mechanical and enzymatic processing. Cellulose 21, 3667-3676.

Halti 2023. Halti ja Spinnova yhteistyöhön– SPINNOVA®-kuidusta valmistettu ja vastuullisesti värjätty parkatakki kauppoihin keväällä 2023 [Viitattu 20.3.2023]. Saatavissa: https://www.halti.fi/blogs/uutiset/spinnova-ja-halti-yhteistyohon-spinnova-kuidusta-valmistettu-ja-vastuullisesti-varjatty-parkatakki-kauppoihin-kevaalla-2023.

Harlin, A., 2019. Cellulose carbamate: production and applications. VTT Technical Research Centre of Finland, https://doi.org/10.32040/2019.978-951-38-8707-0

Harlin, A., 2023. Toimittajat Ella Kanninen ja Mikko Kekäläinen. Yle 12.1.2023. Yle Areena, Puoli seitsemän. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavissa: https://areena.yle.fi/1-64204662.

Hauru, L.K.J., 2017. Lignocellulose solutions in ionic liquids. Department of Forest Products Technology, Doctoral Dissertation 87/2017, Aalto University, pp.89.

Imogo, 2023. Technology. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.4.2023]. Saatavissa: https://imogotech.com/products/.

Infinited Fiber, 2022. Our technology. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavissa: https://infinitedfiber.com/our-technology/.

Isik, M., Sardon, H. and Mecerreyes, D. 2014. Ionic liquids and cellulose: dissolution, chemical modification and preparation of new cellulosic materials. International journal of molecular sciences. [Verkkoaineisto]. 15 (7), 11922–11940.

Kangas, H., 2014. Opas selluloosananomateriaaleihin. VTT Technology, no. 199, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. Saatavissa: https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2014/T199.pdf.

Kero, S., 2022. Suomalaisyhtiö solmi Zaran omistajayhtiön kanssa yli sadan miljoonan euron sopimuksen uusiokuitunsa käytöstä muotijätin tekstiileissä. Helsingin Sanomat. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://www.hs.fi/talous/art-2000008812883.html.

Kiron, M.I., 2022. What is Wet Spinning | Principle and Uses of Wet Spinning Method. Textile Learner [Verkkosivu]. [Viitattu 3.3.2023] Saatavissa: https://textilelearner.net/principle-and-uses-of-wet-spinning/.

Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. & Bohn, A. 2005. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. Angewandte Chemie International Edition, vol. 44, no. 22, pp. 3358-3393.

KnowPulp, 2023. Sellun valmistuksen oppimisympäristö = Learning Environment for Chemical Pulping and Automation (LUT). Prowledge Oy, VTT Industrial Systems. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.3.2023]. Saatavissa: LUT käyttäjätunnuksilla.

Koskinen, R. 2023. Kemin Veitsiluotoon suunniteltu uusiokuitutehdas jälleen lähempänä toteutumista – Infinited Fiber Company solmi merkittävän yhteistyösopimuksen. YLE. [Viitattu: 20.3.2023]. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20021575.

Kuorikoski, Heli, 2023. Metsä Springin tekstiilikuitutehtaan operatiivinen johtava ja MI Demon toimitusjohtaja. Haastattelu 27.3.2023. Liitteessä I.

Kuura, 2018. Metsä Group rakentaa Äänekoskelle uudenlaista puupohjaista tekstiilikuitua tuottavan teollisen koelaitoksen. [Viitattu 20.2.2023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/fi/metsa-groupin-ja-itochun-yhteisyritys-rakentaa-aanekoskelle-uudenlaista-puupohjaista-tekstiilikuitua-tuottavan-teollisen-koelaitoksen/.

Kuura, 2020. Ainutlaatuisen tekstiilikuitukoetehtaan tuotanto käynnistynyt. [Viitattu 20.2.2023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/fi/ainutlaatuisen-tekstiilikuitukoetehtaan-tuotanto-kaynnistynyt/.

Kuura, 2021a. Prosessi. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/fi/processi/.

Kuura, 2021b. Product. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/product/.

Kuura, 2022. Uusia käyttötarkoituksia Kuura-tekstiilikuidulla. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/fi/uusia-kayttotarkoituksia-kuura-tekstiilikuidulla/.

Kuura. 2023. Kuura-tekstiilikuidun markkinatestaus etenee. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/fi/kuura-tekstiilikuidun-markkinatestaus-etenee/.

Laukkanen, M., 2017. Puukuitu tulee tekstiili- ja vaateteollisuuteen. [Viitattu 15.3.2023]. Saatavissa: https://www.epressi.com/tiedotteet/biotekniikka/puukuitu-tulee-tekstiili-ja-vaateteollisuuteen.html.

Laukkanen M., 2022. Metsä Springin Niklas von Weymarn: Puupohjainen uusiutuva tekstiilikuitu uudistaa tekstiilimarkkinat Tavoitteena tekstiilikuidun valmistajien klusteri Suomeen. STT info. [Viitattu 20.3.2023]. Saatavissa: https://www.sttinfo.fi/tiedote/metsa-springin-niklas-von-weymarn-puupohjainen-uusiutuva-tekstiilikuitu-uudistaa-

tekstiilimarkkinat-tavoitteena-tekstiilikuidun-valmistajien-klusteri-suomeen?publisherId=4627873&releaseId=69959904.

MetsäGroup, 2023. Strategia ja arvot. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://www.metsagroup.com/fi/tietoa-metsa-groupista/kasvun-strategia/strategia-ja-arvot/.

Mordor Intelligence, 2023. Viscose Staple Fiber Market Size & Share Analysis - Industry Research Report - Growth Trends [Viitattu 20.3.2023]. Saatavissa: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/viscose-staple-fiber-market.

Mäntyranta, H. 2020. CMC on metsän salaisin tuote -käyttökohteita on useita satoja. forest.fi. [Viitattu 25.2.2023]. Saatavissa: https://forest.fi/fi/artikkeli/cmc-on-metsan-salaisin-tuote-kayttokohteita-on-useita-satoja/.

Palsanen, J. 2012. Selluloosakarbamaatit [Verkkosivu]. [Viitattu 2.8.2023] Saatavissa: https://www.puunjalostusinsinoorit.fi/biometsateollisuus/innovaatiot/9-sivutuotteet-ja-selluloosan-jatkojalosteet/9.7-selluloosakarbamaatit/

Pulp Sourcing Policy of MI Demo Ltd. 2021. Metsä Group 24.9.2921. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 6.2.3023]. Saatavissa: https://www.kuura.io/wp-content/uploads/2021/09/MI-Demo-Pulp-souring-policy.pdf.

Reinman, R., 2017. Seittiään kutova hämähäkki antoi idean kuitulangalle. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.2.2023]. Saatavissa: https://kauppasuomi.fi/artikkelit/1380/seittiaan-kutova-hamahakki-antoi-idean-puukuitulangalle/.

Shfutai. Syntchetic Fiber Spinneret, 2023. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.3.2023]. Saatavissa: http://www.shfutai.com/Spinneret_and_Spin_Pack_for_spinning_machine.htm.

Siirilä, M, 2014. Puuhake tuo työtä ja parantaa kauppatasetta. Yle. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavissa: https://yle.fi/a/3-7304860.

Singh, S. K. & Savoy, A. W. 2020. Ionic liquids synthesis and applications: An overview. Journal of molecular liquids. [Verkkoaineisto]. 297112038–.

Siró, I. & Plackett, D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. Cellulose. London. [Verkkoaineisto]. 17 (3), 459–494.

SoftSchools.com. Cellulose formula. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.3.2023]. Saatavissa: https://www.softschools.com/formulas/chemistry/cellulose_formula/464/.

Spinnova 2022. Business Finlandilta NextGenerationEU -rahoitusta Spinnovan kuitukehitystyöhön - Spinnovagroup. [Lehdistötiedote]. [Viitattu 15.2.2023]. Saatavissa: https://spinnovagroup.com/fi/tiedotteet/business-finlandilta-nextgenerationeu-rahoitusta-spinnovan-kuitukehitystyohon/.

SpinnovaGroup 2023. Haltin SPINNOVA®-kuidusta valmistettu urbaani parkatakki saapuu markkinoille tänään. [Lehdistötiedote]. [Viitattu 10.4.2023]. Saatavissa: https://spinnovagroup.com/fi/tiedotteet/haltin-spinnova-kuidusta-valmistettu-urbaani-parkatakki-saapuu-markkinoille-tanaan/.

Spinnovan vuosikatsaus, 2021. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 5.2.2023]. Saatavissa: https://spinnovagroup.com/wp-content/uploads/2022/04/Vuosikertomus-2021-624c716159884.pdf.

Spinnovan vuosikatsaus, 2022. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 6.4.2023]. Saatavissa: https://mb.cision.com/Public/18819/3747412/ba7d1bcc36b43388.pdf.

Suomen Tekstiili & Muoti 2023a. Tilastoja tekstiilikuitujen tuotannosta globaalisti -Suomen Tekstiili & Muoti. [Viitattu 25.3.2023]. Saatavissa: https://www.stjm.fi/tekstiili-ja-muoti-ala-suomessa/tilastot/kuitujen-tuotanto/.

Suomen Tekstiili & Muoti 2023b. Ekologisia tekstiilikuituja Suomesta – missä mennään tällä hetkellä? - Suomen Tekstiili & Muoti [Viitattu 25.3.2023]. Saatavissa: https://www.stjm.fi/uutiset/ekologisia-tekstiilikuituja-suomesta-missa-mennaan-talla-hetkella/.

Svagan, A.J. Azizi Samir, M.A.S. & Berglund, L.A. 2007. Biomimetic Polysaccharide Nanocomposites of High Cellulose Content and High Toughness. Biomacromolecules. [Verkkoaineisto]. 8 (8), 2556–2563.

Turbak, A.F., Snyder, F.W. and Sandberg, K.R. 1983. Microfibrillated cellulose a new cellulose product: properties, uses, and commercial potential. J.Appl. Polym. Sci. Polym. Symp. 37: 815□827.

Uusiouutiset. 2021. Infinited Fiber harkitsee miljoonainvestointia Suomeen - Uusiouutiset. [Viitattu 7.3.2023]. Saatavissa: https://www.uusiouutiset.fi/infinited-fiber-harkitsee-miljoonainvestointia-suomeen/.

Vehviläinen, M. 2015. Wet-Spinning of Cellulosic Fibres from Water-Based Solution Prepared from Enzyme-treated Pulp. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto, materiaalitieteen laitos. Tampere. [Viitattu 30.1.2023]. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3573-4.

Vehviläinen, M., Määttänen, M., Setälä, H. & Rissanen, M. 2022. Functionalized Biocelsol-regenerated cellulosic fibres with improved dyeability with anionic reactive dyes. NWBC 2022, The 10th Nordic Wood Biorefinery Conference, 25-27 October, 2023, Helsinki Finland. Editoijat. A. Virtanen, K. Torvinen and J. Vepsäläinen. Julkaisija VTT. Posterijulkaisu, s. 261–262.

von Weymarn, N. 2014. Äänekosken biotuotetehdas -Niklas von Weymarn, Metsäfibre Oy. [Pdf-dokumentti]. [Viitattu 2.8.2023]. Saatavissa: https://www.teollisuudenmetsanhoitajat.fi/wp-content/uploads/2015/03/141103-Biotuotetehdas_von-Weymarn.pdf.

Yle-uutiset, 7.4.2021. Stora Enson päätös yllätti metsäbiotalouden professorin: "Odotin, että liukosellun tuotanto olisi pikemminkin kasvamassa kuin hiipumassa", https://yle.fi/a/3-11871590.

Liitteet

Liite I. Metsä Groupin Heli Kuorikosken haastattelu.

Heli Kuorikosken haastattelu Liida Kantolan kandityötä varten ”Puukuitupohjaisten tekstiilien viimeaikainen kehitys Suomessa” varten

Kokouksen aihe:	Kuura-kuidusta lähetettyjen kysymysten läpikäynti (kysymykset haastattelun lopussa)
Osallistujat:	Heli Kuorikoski (Metsä Group), Krista Koljonen (LUT) ja Liida Kantola (LUT)
Aika:	27.3.2023 klo 10.30–11.30
Paikka:	Teams

Päätimme työn suunnitteluvaiheessa, että voimme tarvittaessa haastatella henkilöä/tutkijaa, joka työskentelee työssä käsiteltyjen selluloosapohjaisten tekstiilikuitujen parissa. Saimme tilaisuuden haastatella Metsä Springin Heli Kuorikoskea, joka on Kuura- tekstiilikuitukoetehtaan operatiivisesta toiminnasta vastaava johtaja ja MI Demon toimitusjohtaja. Hän on aloittanut tehtävässään 1.6.2021 ja on sitä ennen työskennellyt Metsä Boardissa erilaisissa tehtävissä. Hänen työpaikkansa tarjoaa tällä hetkellä huiman näköalapaikan uudelle kuidunvalmistukselle. Kuura-hankkeen tavoitteena on selvittää uuden liiketoiminnan mahdollisuutta Metsä Groupille. Lähetimme hänelle kysymykset ennen haastattelua.

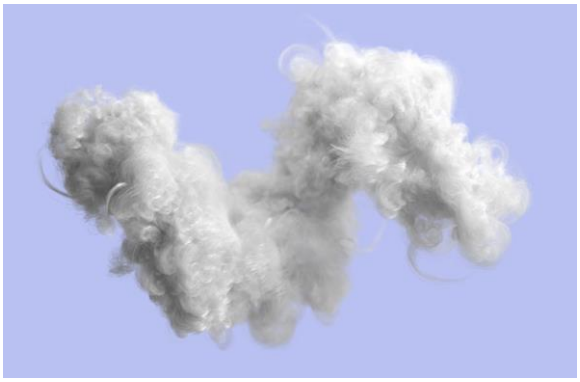
Haastattelukysymykset

HUOM! Heli Kuorikoski ei halunnut vastata teknologiaan liittyviin kysymyksiin.

1. Mistä kaikki alkoi? Mitkä seikat ajoivat Kuuran valmistukseen? Raaka-aineen eli sellukuidun läheisyys / uusi liuotusmenetelmä / lisäarvon tuottaminen sellukuidulle / muut seikat, mitkä?

2. Mitkä tutkimusorganisaatiotahot ja muut instanssit/tietotaito ovat mahdollistaneet Kuuran valmistuksen?
3. Äänekosken koetehtaan ensimmäinen tuote-erä valmistui syyskuussa 2020. Noin kahden vuoden mittainen testausvaihe alkoi 2020 lopulla. Millainen oli tämä testausvaihe?
4. Missä vaiheessa on Kuuran valmistusmenetelmän toteutuskelpoisuus teollisen mittakaavan tuotantoa varten tällä hetkellä? Millainen on aikataulu? Tarvitaanko vielä paljon kehitystyötä? Jos tarvitaan, mihin se painottuu?
5. Mitkä ovat kuidun valmistusta eniten rajoittavia tekijöitä: valmistukseen liittyvät kustannukset / tuotteen laatu / prosessin kehittäminen?
6. Kuinka paljon prosessia on muutettu testausvaiheessa matkan varrella? Mikä on ollut kehitystyössä haastavinta?

7. Kuivaamattoman paperisellun liuottamiseen käytetään suoraliuotusmenetelmää ja ”täysin uutta sellua liuottavaa yhdistettä”. Paljonko kuidussa oleva vesi haittaa liuotusta? Esikäsitelläänkö sellukuidut ennen liuotusta? Mitä ionista nestettä käytetään sellun liuottamiseen? Onko ionisia nesteitä kokeiltu useita? Onko ioniset nesteet saatu täysin kierrätettäväksi prosessissa? Tarvitaanko valmistamisessa muita apuaineita?
8. Onko kuvan kuitu katkokuitua? Onko valmistetun Kuura-kuidun ominaisuuksia tutkittu paljon? Eroaako kuidun ominaisuudet esim. viskoosikuidusta: lujuus ynnämuuta? Onko Kuura-kuidulla jotain mainittavia hyviä ominaisuuksia?



9. Millainen on ollut Kuura-kuidun kiinnostavuus ja vastaanotto markkinoilla?
10. Kuitua on testattu mm. Japanin markkinoilla. Tähdätäänkö enemmän kansainvälisille markkinoille vai Suomeen, vai sekä että?
11. Mitkä ovat Kuura-kuidun sovelluskohteet? Kuurasta on valmistettu ainakin pehmokarvakangastakkeja ja sekoitettu autonistuimen verhoilutekstiileihin.

Sellun uusien luottimien tutkimus sekä tekstiilikuidun valmistus sellusta sai alkunsa vuonna 2009, jolloin isossa yhteisessä tutkimushankkeessa etsittiin uusia tuotteita Suomen metsäteollisuussektorille. Mukana tutkimushankkeessa oli 25 osapuolta, kuten Metsä Group, tutkimuslaitoksia ja yliopistoja. Metsä Group aloitti oman RD-ohjelman vuoden 2013 alussa tarkoituksena aloittaa uusien liuottimien ja tekstiilikuitujen valmistusprosessin kehittäminen labramittakaavassa. Vuonna 2016 toiminta laajeni pilot-mittakaavaan Saksassa ja vuonna 2018 tuli päätös sijoittaa koetehtaaseen. Kuorikoski kertoi, että etenkin Suomi ja Ruotsi ovat sijoittaneet sellun tutkimukseen löytämään korvaajaa fossiiliperäisille raaka-aineille.

”Innovaatiot ja yhdessä tekeminen ovat avainsanoja onnistumiseen”, kertoi Heli Kuorikoski. Eri toimijat, yliopistot ja tutkimuslaitokset ovat osallistuneet kehitystyöhön. Mukana on ollut japanilainen Itochu Corporation, mutta ei ihan alusta asti. Hankkeessa on toiminut myös eri laitetoimittajia ja muita kumppaneita. Kuura on saanut v. 2021 Suomen laatukeskuksen palkinnon ”quality innovation award” 2021 sekä vuonna 2022 kansainvälinen laatupalkinto ”Potential innovation”-kategorian

toinen sija. Rahoitusta hanke on saanut 40M€, joista 16 M€ on Business Finlandin lainaa. ”*Vuonna 2020 alkaneeseen testausvaiheeseen on mahtunut paljon”* kertoo Heli Kuorikoski. Hanke on koostunut lähinnä kahdesta osa-alueesta. Toisaalla testataan ja kehitetään uutta valmistusmenetelmää ja samaan aikaan asiakkailta kerätään Kuura-kuidusta palautetta. Projektin aikana on siksi saatu arvokasta tietoa Kuura-kuidun valmistuksesta ja markkinanäkymistä. Etenkin prosessista ja tuotteen laadusta on opittu. Työ ei ole kuitenkaan vielä valmis ja ainakin vuosi kuluu siihen ennen kuin siirrytään uuteen vaiheeseen. Tällä hetkellä tehdään muutoksia alkuperäiseen valmistusmenetelmään ja laitteistoon. Kehitystyön jatkaminen aloitetaan uudelleen alkukesällä ja vuonna 2024 tilanne tullaan arvioimaan uudelleen. Tavoitteena on hakea uutta liiketoimintaa ja on rakentaa ensimmäinen kaupallinen tehdas. Tehtaan teknisen konseptin suunnittelu on jo aloitettu.

Kuura-kuitu tehdään paperisellusta, jonka kuiva-aine on n. 3–4 %. Kuitua ei kuivata ennen prosessia, joten kuituun jäävä vesi tulee ottaa huomioon valmistusprosessissa. Koska kuitu ei ole liukosellua, kuidussa on jäljellä hemiselluloosa. Erilaisia liuottimia on tutkittu ja tutkitaan jatkuvasti. Raaka-aine saadaan läheltä ja sähkön, veden ja höyryn käyttö on integroitu, mikä osaltaan vaikuttaa positiivisesti tuotteen elinkaarianalyysiin. Mm. hiilidioksipäästöt ovat pienemmät kuin viskoosin tai puuvillan valmistuksessa.

Haasteita on tällä hetkellä prosessikemian kanssa sekä teknologian skaalauksessa. Tuleva tehdas vaatii lisää investointeja, sillä automaatiotaso prosessissa on tällä hetkellä alhainen. Automaation tasoon tarvitaan vielä kehitystä, joten tarvitaan Capexia eli investointeja käyttöomaisuuden ylläpitämiseksi, laitteiston hankkimiseksi ja laajentamiseksi. Koetehdas käynnistettiin Covid-19 aikaan, joka hidasti selvästi rakentamista ja asennustöitä.

Kuorikoski kertoi, että Metsä Springin tavoitteena on valmistaa Kuura-kuidusta Lyocell-tyyppistä kuitua. Konsepti vain on uusi. Tarkoituksena ei ole tehdä mitenkään erikoistyyppistä tuotetta, vaan ominaisuuksiltaan samankaltaista kuin markkinoilla jo on. Elinkaarianalyyseissa Kuuran hiilidioksidipäästöt ovat pienenemmät kuin esimerkiksi viskoosin tai puuvillan.

Kuura-kuidun markkina-analyysiä on tehty ja tehdään myös heidän japanilaisella yhteystyökumppanillaan Itochulla. Kuura-kuidun käsituntuma on hyvä ja kuitukangas tuntuu puuvillamaiselta. Tällä hetkellä on selvä kiinnostus korvata materiaalien fossiilipohjaisia raaka-aineita. Niitä on myös helppo tuoda markkinoille. Itochu on tähän mennessä tehnyt langan ja vaatteet. Tuotteille on tehty testejä muuallakin kuin Aasiassa.

Kuura-kuidusta on tehty tekstiili- ja kuitukankaita, kuten kudottuja, neulottuja ja muita tekstiilejä sekä teknisiä kankaita. Kuurasta on kudottu mm. Aalto-mekko, joka on esillä Proneuksessa. Sen lisäksi on Japanissa tehty mm. pehmokarvatakki, joka on ollut pienissä erissä on-line – myynnissä. Metsä Spring toivoo, että Suomesta löytyy myös arvoketjuun muita yrityksiä, jotka ovat kiinnostuneet kuidun jatkojalostuksesta. Sitä kautta saataisiin Suomessa edelleen vahvistettua metsän jalostusarvoa Suomessa. Tekstiilimarkkinoille etsitään raaka-aineita korvaamaan puuvillaa.

Metsä Groupin osuuskuntaan kuuluu n. 100 000 suomalaista metsänomistajaa. Valmistamiseen käytetään sertifioitua puuta, jolloin puun alkuperä pystytään jäljittämään, mikä tuo valmistetulle tuotteelle lisäarvoa. Koetehtaan laitteisto on mitoitettu valmistamaan Kuura-kuitua tällä hetkellä 1 t/pvä. Koeajoja tehdään suunnitellusti eikä siksi laitteisto ole käytössä joka päivä. Tärkeintä ei ole tällä hetkellä saavuttaa maksimaalista tuotantomäärää, vaan tutkia eri muuttujia, arvioida tuloksia ja suunnitella seuraavaa koeajoa. ”Koeajojen suunnittelu ja valmistus vievät aikaa”, kertoi Kuorikoski. Tärkeämpää tällä hetkellä on koeajoista saatu tieto, kuin tuotantomäärä ja kilot, jotta kehitystä saadaan aikaan.