

Karstaukseen soveltuvat biopohjaiset ja kierrätetyt kuidut

Janina Lavanto

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma
21BIOTB

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

LAVANTO, JANINA

Karstaukseen soveltuvat biopohjaiset ja kierrätetyt kuidut

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2025

Ilmastonmuutos ja jatkuvasti ehtyvät luonnonvarat ovat ajaneet maailman tilanteeseen, jossa on välttämätöntä pohtia uusia, kestävämpiä ratkaisuja ja toimintamalleja hyvinvoinnin turvaamiseksi tulevaisuudessa. Karstattujen kuitukankaiden kohdalla tämä tarkoittaa kehitystyötä varsinkin kestävämmän kuituraaka-aineen löytämiseksi. Tällä hetkellä karstattujen kuitukankaiden raaka-aineena käytetään lähinnä uusiutumattomista luonnonvaroista peräisin olevia, fossiilisia tekstiilikuituja, kuten polypropeenaa ja polyesteriä. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää karstausprosessin asettamat vaatimukset kuidun ominaisuuksille sekä tutkia näiden tietojen pohjalta, millaisia karstaukseen soveltuvia biopohjaisia ja kierrätettyjä kuituja on olemassa. Työn tarkoituksena oli laatia tietopaketti soveltuvista kuituista, edistään samalla myös kuitukangasteollisuuden vihreää siirtymää. Opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus. Lisäksi muutamaa yritystä haastateltiin työhön sähköpostitse.

Karstaukseen soveltuvan kuidun tulee olla noin 15–50 mm pitkä, lineaariteheydeltään 1–300 dtex ja sen murtovenymän tulee olla vähintään 2–5 %. Kun kuitu täyttää nämä vaatimukset, se ei rikkoonnu karstan aiheuttaman mekaanisen rasituksen eikä venytyksen myötä, vaan pystyy muodostamaan yhtenäisen sekä tasaisen kuitumaton yhdessä muiden kuitujen kanssa. Ominaisuuksiltaan tähän skaalaan sopivia biopohjaisia kuituja on esimerkiksi nokkonen, polylaktidi, villa, kameli, pellava, hamppu, ananas ja rami. Näistä potentiaalisimpia kuituja ovat nokkonen sekä polylaktidi. Nokkonen kasvaa vaatimattomissakin kasvuolosuhteissa sekä omaa vähäisen ympäristökuorman ja yhtä hyvän lujuuden kuin paljon karstattava puuvilla. Polylaktidi on puolestaan maitohaposta valmistettu biopohjainen polymeeri, joka vastaa ominaisuuksiltaan täysin perinteisiä muoveja. Polylaktidin käyttöä kuitenkin hankaloittaa sen hajoaminen lämmön ja kosteuden vaikutuksesta. Sekoitteena karstaukseen soveltuu myös esimerkiksi juutti, kookos, manilla ja sisal.

Tekstiilikuitujen kierrätys on vielä pienimuotoista, mutta tarvetta toimivalle, koko arvoketjun kattavalle järjestelmälle on valtavasti. Globaalisti poistotekstiileistä noin 87 % päätyy polttoon tai kaatopaikalle. Tämä on hukkaan heitettyä potentiaalia. Kierrätyskuitujen käyttöä rajaa hinta, saatavuus sekä hankaluus mitata kuitujen ominaisuuksia, mikä olisi tärkeää loppukäyttökohteen arviointia varten. Karstaukseen kierrätyskuidut sopivat sekoitteena tai yksinään, kunhan vaatimukset ominaisuuksien suhteen täyttyvät.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct Engineering

LAVANTO, JANINA:
Bio-based and Recycled Fibers Suitable for Carding

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 0 pages
May 2025

Climate change and the depletion of natural resources have increased interest in sustainable development and circular economy. The textile industry, for example, is increasingly interested in finding new, more sustainable raw materials. The objective of this thesis was to identify new bio-based and recycled fibers suitable for the nonwoven carding process. The purpose of this thesis was to support the green transition of the textile industry.

The literature review showed that carded nonwovens are primarily made from fibers derived from non-renewable natural resources. The most commonly used fibers are polypropylene and polyester.

It was concluded that fibers were suitable for carding if they were 15–50 mm in length, had a linear density between 1–300 dtex, and an elongation of at least 2–5 %. Bio-based fibers that met these criteria included wool, camel hair, nettle, flax, hemp, pineapple, ramie and polylactic acid. Among these, nettle and polylactic acid showed the most potential. Fibers such as jute, coconut, manila and sisal were also suitable for carding when blended with other fibers.

Identifying recycled fibers suitable for carding proved to be challenging, as their properties were difficult to determine using traditional measurements and methods. In general, textile fiber recycling is still limited, but there is a significant need for a functional system.

Key words: nonwovens, bio-based fibers, recycled fibers, carding

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	BIPOHJAISET JA KIERRÄTETYT KUIDUT	7
	2.1 Mitä tarkoittaa biopohjaisuus?.....	7
	2.2 Biopohjaisuus tekstiilikuiduissa	7
	2.3 Biopohjaiset kuidut kestävämpänä vaihtoehtona	9
	2.4 Kierrätetyt tekstiilikuidut.....	10
3	KARSTAUS	13
	3.1 Karstausta prosessina	13
	3.1.1 Kuitujen valmistelu.....	13
	3.1.2 Karstausta	15
	3.1.3 Telojen hammastukset	19
	3.2 Karstauksen asettamat vaatimukset kuiduille.....	22
	3.3 Karstauksessa yleisimmin käytetyt kuidut	24
4	KARSTAUKSEEN SOVELTUVAT BIPOHJAISET JA KIERRÄTETYT KUIDUT	27
	4.1 Yleistä tarkasteltavista kuiduista	27
	4.2 Runkokuidut.....	28
	4.3 Lehti-, siemen- ja hedelmäkuidut.....	31
	4.4 Eläinkuidut, muuntokuidut sekä biopohjaiset synteettiset kuidut ..	34
	4.5 Kierrätetyt kuidut.....	36
5	POHDINTA	38
	LÄHTEET	41

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

PP	Polypropeeni
PET / PES	Polyesteri
PLA	Polylaktidi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään biopohjaisiin ja kierrätettyihin tekstiilikuituihin sekä niiden soveltuvuuteen karstattujen kuitukankaiden valmistuksessa. Opinnäytetyön aihe on syntynyt tarpeesta kerätä tietoa tekstiiliteollisuuden mahdollisuuksista hyödyntää entistä enemmän biopohjaisia ja kierrätettyjä kuituja. Tällä hetkellä valtaosa tekstiiliteollisuuden tuottamista sekä käyttämistä kuiduista ovat fossiilisista raaka-aineista valmistettuja synteettisiä kuituja. Näiden kuitujen edullisuus, saatavuus sekä helppokäyttöisyys tekee niistä oivallisia raaka-aineita tekstiileille sekä kuitukankaille teollisella mittakaavalla. Ilmastonmuutos sekä ehtyvät luonnonvarat ovat kuitenkin pakottaneet koko maailman tilanteeseen, jossa jokaisen tulee pohtia entistä vakavammin jokapäiväisiä kulutusvalintojaan. Tämä on ajanut eteenpäin vihreän siirtymän, kestävän kehityksen sekä kiertotalouden teemoja ja periaatteita. Näiden teemojen puitteissa myös tekstiiliteollisuudella on tarve löytää uusiutumattomien tekstiilikuitujen tilalle kestävämpiä ratkaisuja.

Biopohjaisten ja kierrätettyjen kuitujen käyttöä teollisuudessa rajoittaa hinnan lisäksi niiden ominaisuudet sekä soveltuvuus tuotannon eri osaprosesseihin. Karstattujen kuitukankaiden tapauksessa kuitujen käyttöä rajaava osaprosessi on karstausta. Opinnäytetyön tavoitteena onkin selvittää karstaustaprosessin asettamat vaatimukset kuidun ominaisuuksille sekä tutkia, millaisia biopohjaisia ja kierrätettyjä kuituja on olemassa, jotka soveltuisivat karstaukseen näiden tietojen pohjalta. Työn tarkoituksena on saada koottua tietopaketti vaihtoehtoisista biopohjaisista ja kierrätetyistä kuiduista kuitukangastuotannon tarpeisiin, edistäen samalla myös tekstiiliteollisuuden vihreää siirtymää. Opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus. Lisäksi muutamaa yritystä haastateltiin työhön sähköpostitse. Haastatellut yritykset halusivat pysyä anonyymeinä.

2 BIPOHJAISET JA KIERRÄTETYT KUIDUT

2.1 Mitä tarkoittaa biopohjaisuus?

Tässä opinnäytetyössä perehdytään biopohjaisiin ja kierrätettyihin tekstiilikuituihin, jotka soveltuvat karstaukseen. Alkuun on tarpeen kuitenkin määritellä, mitä biopohjaisuus tarkoittaa. Euroopan komissio on määritellyt nettisivuillaan biopohjaisen materiaalin olevan tuotettu kokonaan tai osittain biologista alkuperää olevista materiaaleista. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi kasveja, eläimiä, entsyymeitä ja mikrobeja, kuten esimerkiksi bakteereita ja sieniä. (European Commission, n.d). Usein biopohjaisen tuotteen oletetaan olevan myös biohajoava, mutta näin ei kuitenkaan ole. Biohajoavuus tarkoittaa, että materiaali hajoaa luonnollisissa olosuhteissa mikro-organismien vaikutuksesta (European Environment Agency n.d). Biohajoavat materiaalit voivat olla tuotettu niin biopohjaisista kuin fossiilisistakin raaka-aineista, mutta kumpikaan näistä raaka-aineryhmistä ei suoranaisesti takaa biohajoavuutta.

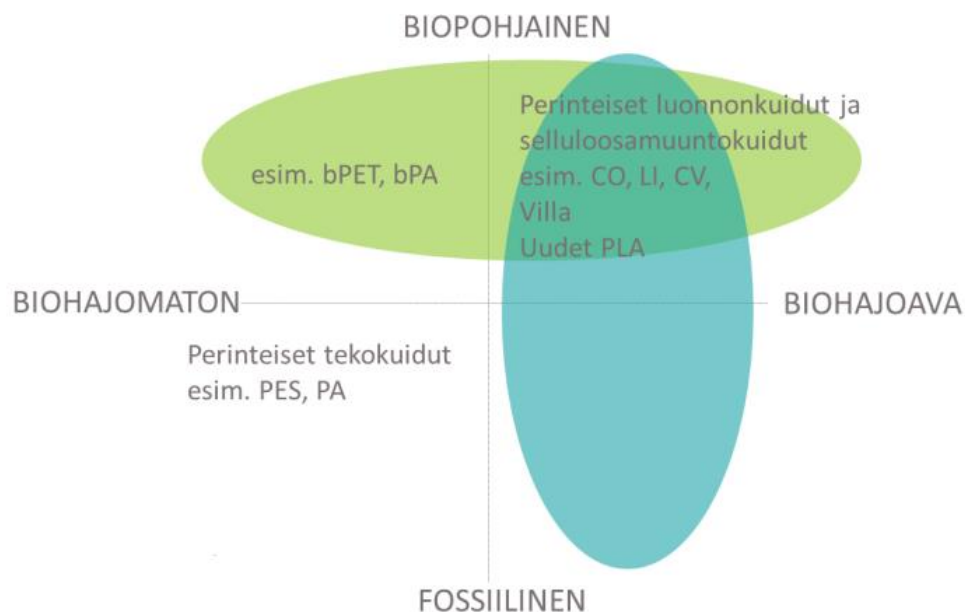
Biohajoavuus sekoitetaan usein kompostoitavuuden kanssa. Kompostoinnissa materiaalin hajoamista helpotetaan muokkaamalla hajoamisolosuhteita otollisemmiksi. Kompostoitavuus ei ole tekstiiliteollisuudessa välttämättä yleisesti kovin tärkeä ominaisuus, mutta tiettyjen tuoteryhmien, esimerkiksi kertakäyttöisten kuitukangastuotteiden kohdalla se voidaan kokea hyödylliseksi. Konkreettisesti tällaisia tuotteita voivat olla esimerkiksi teepussit ja suodattimet. (Kamppuri n.d, 2)

2.2 Biopohjaisuus tekstiilikuiduissa

Tekstiilikuidut voidaan jakaa luonnonkuituihin ja tekokuituihin. Luonnonkuituihin kuuluu kasvi-, eläin- ja mineraalikuidut. Mineraalikuiduilla ei kuitenkaan ole merkitystä tekstiiliteollisuudessa, joten tässä opinnäytetyössä keskitytään luonnonkuiduista vain kasvi- ja eläinkuituihin. Kasvi- ja eläinkuidut ovat automaattisesti biopohjaisia, uusiutuvista raaka-aineista peräisin olevia kuituja, jotka ovat käsittelemättöminä myös luonnostaan biohajoavia. Tekokuitujen ryhmään kuuluu puolestaan muuntokuidut, synteettiset tekokuidut sekä epäorgaaniset kuidut. Epäorgaaniset tekokuidut eivät ole biopohjaisia eivätkä

biohajoavia, vaan niiden raaka-aineena toimii jokin epäorgaaninen materiaali, kuten lasi tai metalli. (Räisänen, Rissanen, Parviainen & Suonsilta 2017, 8-9). Muuntokuitujen raaka-aineena voi toimia niin selluloosa kuin proteiinin, joten muuntokuidut ovat usein biopohjaisia sekä käsittelemättöminä myös biohajoavia. Synteettisten tekokuitujen raaka-aineet ovat puolestaan perinteisesti peräisin raakaöljyn jalostuksesta ja täten fossiilista alkuperää. (Kamppuri n.d, 2)

Synteettisten tekokuitujen raaka-aineille on pyritty etsimään ja kehittämään biopohjaisia vaihtoehtoja, jolloin biopohjaiset synteettiset tekokuidut voisivat korvata perinteiset synteettiset materiaalit. Kiinnostus biopohjaisia synteettisiä tekokuituja kohtaan on korkea, koska ne voivat olla fossiilipohjaisia tekokuituja ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Esimerkkinä biopohjaisesta synteettisestä tekokuidusta on bio-polyesteri eli bio-PET, joka on valmistettu kasvipohjaisesta raaka-aineesta öljyn sijasta. Kuvassa 1 tekstiilikuidut ovat ryhmiteltyinä biopohjaisuuden ja biohajoavuuden mukaan. (Kamppuri n.d, 2.)



KUVA 1. Tekstiilikuitujen jakautuminen biohajoavuuden ja biopohjaisuuden mukaan. (Kamppuri n.d. 2)

2.3 Biopohjaiset kuidut kestävämpänä vaihtoehtona

Tekstiiliteollisuudessa yleisesti käytettäviä ja tässä opinnäytetyössäkin tarkasteltavia biopohjaisia kuituja ovat luonnonkuituihin kuuluvat kasvi- ja eläinkuidut sekä tekokuituihin kuuluvat selluloosa- ja proteiiniuuntokuidut ja biopohjaiset synteettiset kuidut. Biopohjaisten kuitujen ympäristöystävällisyys sekä rooli kestävämpänä vaihtoehtona perustuu siihen, että niiden raaka-aineet ovat peräisin uusiutuvista luonnonvaroista. Uusiutuvuus asettaa näille raaka-aineille teoriassa rajattomat kasvu- ja käyttömahdollisuudet. Biopohjaiset materiaalit voivat myös korvata fossiilisia materiaaleja ja täten vähentää uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä. Usein biopohjaisten materiaalien raaka-aineena voidaan myös käyttää eri teollisuudenalojen tai maatalouden sivu- tai jätevirtoja, mikä edistää kiertotalouden periaatteita. Kasvi-, eläin- ja muuntokuidut ovat myös usein käsittelemättöminä biohajoavia. (Quist 2021)

Kun pohditaan biopohjaisten kuitujen ympäristöystävällisyyttä, tulee ottaa huomioon myös monien biopohjaisten raaka-aineiden kyky sitoa hiilidioksidia ilmakehästä. Tällaisia raaka-aineita ovat kaikki yhteyttävät kasvikunnan lajit, kuten esimerkiksi puut ja pensaat. Joidenkin arvioiden mukaan maaperä ja kasvit ovat sitoneet noin 25 % ihmiskunnan tuottamista hiilidioksidipäästöistä itseensä. Kasvillisuutta ja maaperää voidaankin pitää yhtenä suurena hiilinieluna. (Ilmasto-opas n.d.) Tällaisista raaka-aineista tuotetut materiaalit säilyttävät tämän sitoutuneen hiilidioksidin itsessään siihen saakka, kunnes kyseinen materiaali tuhoaan. Mitä pidempään materiaali siis pysyy käytössä, sitä pidempään siihen sitoutunut hiilidioksidi pysyy varastoituna. Hiilidioksidin sitomis- ja varastointikykynsä ansioista kasvikuiduista tehdyt materiaalit voivat olla jopa hiilineutraaleita, kunhan myös viljelyn, kuljetuksen sekä jatkokäsittelyn vastuullisuuteen on kiinnitetty tarpeeksi huomiota ja materiaali säilyy käytössä tarpeeksi pitkän ajan. (Quist 2021)

Tutkimusten ja arvioiden mukaan biopohjaiset tuotteet tuottavat elinkaarensa aikana keskimäärin noin 45 % vähemmän kasvihuonepäästöjä, kuin niiden fossiiliset vastineet. Huomioitavaa on kuitenkin, että eri materiaalien välillä voi olla suurtakin vaihtelua päästömäärissä, joten biopohjaisten tuotteiden

ympäristökestävyyttä tulisikin tarkastella materiaali- ja tuotekohtaisesti. (Zuiderveen ym. 2023)

Biopohjaisten kuitujen ympäristöhaitat liittyvät usein viljelytekniillisiin ja tuotannollisiin seikkoihin tai jatkokäsittelyyn. Kasvikuitujen kohdalla ympäristöhaittoja voi luoda esimerkiksi kuitujen viljelyssä käytettävät keinot, kuten esimerkiksi runsas kemikaalien käyttö sekä runsas keinokastelu. Viljelyssä käytettävät kemikaalit voivat esimerkiksi köyhdyttää maaperää, saastuttaa ilmaa sekä vesistöjä ja aiheuttaa erilaisia terveyshaittoja viljelijöille. Runsa keinokastelu taas vähentää pohjavesien määrää, mikä on suuri ongelma varsinkin kuivilla alueilla. Parempaan viljelytekniikkaan keskittyminen voi kuitenkin vähentää näitä ongelmia tehokkaasti. Eläinkuitujen kohdalla eläinten hyvinvointiin liittyvät kysymykset, liiallisen laiduntamisen aiheuttama maaperän eroosio ja märehimisestä aiheutuvat metaanipäästöt vaativat huomiota (Räisänen ym. 2017, 33-55). Muuntokuitujen ja synteettisten biopohjaisten kuitujen ympäristöhaitat muodostuvat usein tuotannollisista seikoista, kuten runsaasta kemikaalien, energian ja veden käytöstä prosessien eri vaiheissa. Myös kuitujen jatkokäsittely voi aiheuttaa ympäristöhaittoja.

2.4 Kierrätetyt tekstiilikuidut

Kierrätetyillä tekstiilikuiduilla tarkoitetaan jo käytetystä tekstiilituotteesta takaisin kuitumuotoon palautettua kuitua (Sinijärvi ym. 2024, 2). Tekstiilikuidut voidaan kierrättää mekaanisesti, kemiallisesti tai termisesti. Käytettävä kierrätysmenetelmä määräytyy kierrätettävän materiaalin sekä kuitutyypin mukaan. Oikean kierrätysmenetelmän valitseminen on tärkeää, jotta kierrätetty materiaali täyttäisi halutut laatuvaatimukset. Kierrätyksen jälkeinen materiaali- ja ei voi olla kuitu, mono- tai polymeeri. (Kamppuri 2019, 5)

Kierrätys on keskeinen osa kiertotaloutta. Kiertotaloudessa pyritään mahdollistamaan materiaaleille sekä tuotteille mahdollisimman pitkät käyttöiät, esimerkiksi uudelleen käytön, korjauksen, vuokraamisen ja kierrättämisen avulla. Elinkaarensa loppupuolella olevan tuotteen materiaaleja ei hävitetä, vaan niistä päinvastoin pyritään luomaan jotain uutta. (Euroopan parlamentti 2023). Tekstiilijätteen kierrätyksen avulla kuidut saadaan palautettua uudelleen käyttöön

ja kuitu pysyy kierrossa, vähentäen uusien neitseellisten kuitujen tarvetta. (Knuutila 2020, 34) Kierrätyskuitujen käyttö on monin tavoin ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin täysin neitseellisten kuitujen käyttö.

Huolimatta kierrätyskuitujen käytön ympäristöhyödyistä, niiden tuotanto on edelleen suhteellisen vähäistä. Kaiken kaikkiaan vuonna 2022 kuituja tuotettiin globaalisti noin 116 miljoonaa tonnia, joista kierrätyskuitujen osuus oli vain noin 7,9 prosenttia. Suurin osa tästä kierrätyskuiduista oli PET-pulloista kierrätettyä polyesteriä. Muut kierrätyskuidut olivat edustettuna vain 0,6 prosenttiosuudella kokonaistuotannosta. Kierrätetty polyesteri kattaa noin 14 % kaikista tuotetuista polyesterikuiduista, kierrätetty puuvilla puolestaan noin prosentin kaikista tuotetuista puuvillakuiduista ja kierrätetty villa noin 7 % kaikesta tuotetusta villasta. (Materials Market Report 2023, 12). Vaikka kierrätyskuitujen osuus globaalista kuiduntuotannosta onkin vielä suhteellisen pieni, on niiden markkinaosuus ollut kuitenkin kasvussa useampina vuosina peräkkäin. EU on pyrkinyt vauhdittamaan kiertotalouden toimintamallien käyttöönottoa myös tekstiilialan puolella lainsäädännön sekä linjauksien avulla. (EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles 2022).

Haasteita tekstiilien kierrätykseen luo kuitusekoitusmateriaalit sekä kerrosrakennekankaat (Knuutila 2020, 12). Puolestaan kierrätyskuitujen käyttöön liittyviä haasteita on esimerkiksi kierrätyskuitujen laatu, saatavuus, hinta, vähäinen tieto kierrätysmateriaalien ominaisuuksista sekä mahdolliset haitalliset aineet materiaalivirroissa. (Sinijärvi ym. 2024, 12). Jos otetaan huomioon, että Sinijärven ym. mukaan maailmalla muodostuu noin 92 miljoonaa tonnia tekstiilijätettä vuosittain, joista vain noin 25 % kerätään uusiokäyttöön tai kierrätykseen, niin myös tekstiilien keräämisessä vaikuttaa olevan ongelmia ainakin tehottomuuden kanssa. Tekstiilijätteestä muodostetaan kierrätyksen avulla uusia tekstiilituotteita vain alle prosentin verran. (Sinijärvi ym. 2024, 10). Turun ammattikorkeakoulun ja Suomen ympäristökeskuksen tekemän selvitystyön mukaan vuonna 2019 Suomessa syntyi poistotekstiileitä noin 85,7 miljoonaa kiloa, joista noin 60 % päätyi polttoon. Polttamalla hukataan todella suuri määrä hyödynnettävissä olevaa, potentiaalista kuitumateriaalia. (Dahlbo ym. 2021, 21). Globaalisti polttoon tai kaatopaikalle päätyy jopa noin 87 % kaikista vaatteisiin käytetyistä kuiduista (A new textiles economy n.d, 36).

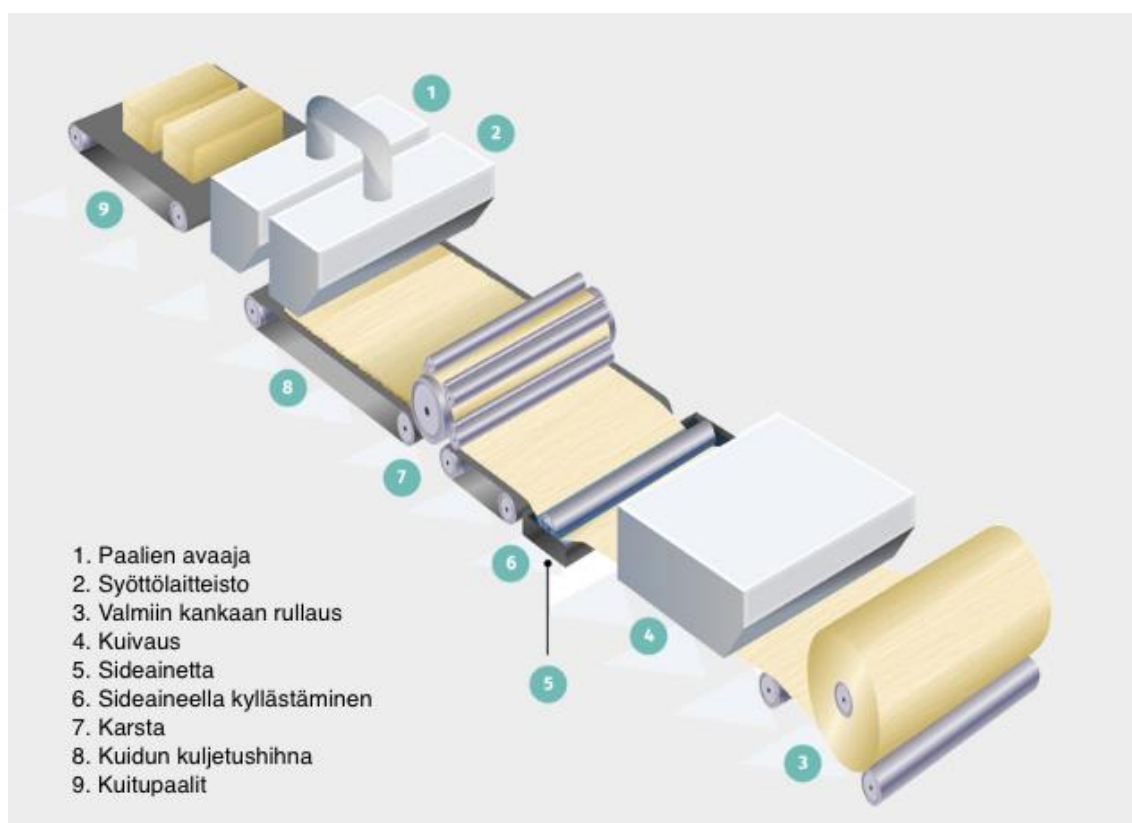
Tekstiilien kierrätyksessä ja kierrätyskuitujen hyödyntämisessä on siis hurjasti parantamisen varaa. Kaikkea kierrättämättä jäävää tekstiilijätettä voidaan pitää alihyödynnettynä resurssina, jonka taloudellinen ja ekologinen potentiaali hukataan.

3 KARSTAUS

3.1 Karstaus prosessina

3.1.1 Kuitujen valmistelu

Kuitukangas tarkoittaa kangasta, joka on valmistettu kuituja yhdistämällä mekaanisesti, termisesti tai kemiallisesti. Kuitukankaiden valmistukseen ei siis käytetä lankaa, vaan kuituja. Kuitukankaita voidaan valmistaa kuiva- ja märkärainauksella tai spunmelt-menetelmällä. Tässä opinnäytetyössä perehdytään karstaukseen, joka on kuivarainausmenetelmä. Karstauksen tavoitteena on erottaa kuidut toisistaan, järjestää kuidut yhdensuuntaisiksi sekä muodostaa kuiduista yhtenäisiä karstattuja kuitumattoja. Karstatun kuitukankaan valmistusprosessi on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 2.



KUVA 2. Karstaus- ja sidontaprosessi (EDANA. n.d)

Kuidut tuodaan tehtaalte yleensä tiiviiksi pakattuina paaleina (kuvan 2 kohta 9). Ennen karstausta kuitupaalit tulee avata sekä suuret kuitukimput hajottaa

pienemmiksi. Kuidut halutaan syöttää karstalle mahdollisimman hyvin avattuina, jotta karsta pystyy yhdensuuntaistamaan kuidut tehokkaasti ja valmistettavasta kuitukankaasta muodostuisi mahdollisimman tasainen. Suurien kuitukimppujen ajautuminen karstalle ei ole suotavaa myöskään siksi, että tällöin karsta joutuu tekemään enemmän mekaanista työtä, jolloin kuituja myös rikkoontuu helpommin. Tämän vuoksi paalit ja kuitukimput pyritään avaamaan mahdollisimman hyvin sekä yhteneväisesti ennen karstausta. (Russell 2022, 92)

Tiiviit kuitupaalit avataan paalien avaajilla (kuvan 2 kohta 1), jotka muodostavat ensimmäisen osan kuitukankaiden tuotantolinjasta. Toisinaan tämän työvaiheen voi myös hoitaa paalien avaajien sijaan paalien poimijoilla, mutta avaajat ovat kuituteollisuudessa yleisempiä. Paalit syötetään paalien avaajille yleensä trukeilla. Paaleja voi mahtua koneeseen yhdestä useampaan, riippuen koneen rakenteesta. Koneet rikkovat kuitupaalit pienempiin, hallittavissa oleviin kuitutuppoihin ja syöttävät ne seuraavana tuotantolinjassa olevalle kuitujen avauskoneelle. Paalien poimijoiden toiminnan tarkoitus on sama kuin avaajien, eli rikkoa paali pienempiin kuitukimppuihin ja annostella kuitu hallittavassa koossa kuidunavaajille. Poimijoiden tapauksessa paaleja ei kuitenkaan syötetä koneeseen vaan paalit asetetaan vierekkäin ja niiden yläpuolella liikkuu mekaaninen poimintalaite, joka poistaa paaleista pieniä kuitutuppoja oikeassa suhteessa. Molemmissa tapauksissa paalit voivat yhtä hyvin olla kaikki keskenään samaa tai eri kuitutyyppejä. Jos eri kuitutyyppejä tai -mittoja on tarkoitus sekoittaa keskenään, annostelu voidaan hoitaa jo osittain tässä vaiheessa. (Russell 2022, 93-94)

Kuidut kulkevat paalien avaajilta kuitujen avaajille, joiden tehtävänä on edelleen avata kuitukimppuja ja erotella kuituja toisistaan. Paalien avaajat tekevät siis karkean työn ja kuitujen avaajat jatkavat siitä, mihin paalien avaajat jäivät. Kuitujen avaajia on rakenteiltaan ja toimintaperiaatteiltaan lukuisia erilaisia ja niistä jokaisella on omat vahvuutensa erilaisten kuitujen avaamisessa. Kuitujen katkeamisen ehkäisemiseksi kuitujen avaaminen on parasta tehdä asteittain useiden peräkkäisten avausyksiköiden avulla. Kuitutuppojen tasainen ja asteittainen avaaminen suojaa kuitua rikkoutumiselta ja hyvin avatut kuidut tuottavat laadukkaamman ja tasaisemman kuitukankaan. Kuitujen avaamisesta on muutakin hyötyä. Nimittäin pienemmistä kuitutupoista tai jopa yksittäisistä

kuiduista on helpompi poistaa esimerkiksi epäpuhtauksia ennen karstausta sekä erilaiset kuitukomponentit myös sekoittuvat toisiinsa paremmin kun kuitutupot ovat pienempiä. (Russell 2022, 94-96)

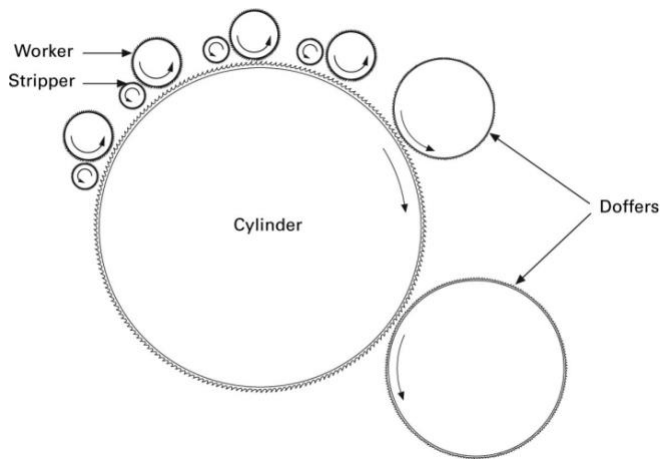
Paalien ja kuitujen avaamisen yhteydessä tehdään paljon muutakin, kuin vain kuitutuppojen pienentämistä. Eri kuitukomponentit ja -erät sekoitetaan toisiinsa, kuiduista poistetaan epäpuhtaudet, kuituihin voidaan lisätä lisäaineita ja kuitujen kosteuspitoisuus vakioidaan. Kuitujen tehokas sekoittaminen on olennaista, vaikka tuotannossa käytettäisiin vain yhtä kuitutyyppiä. Kuituerien ja paalien välillä on vaihtelua kuitujen ominaisuuksissa, ja esimerkiksi yhden paalin sisälläkin kuidut voivat olla erilaisia esimerkiksi kiharuudeltaan ja avivointiaineen tasaisuudeltaan. Kuitukankaiden laadun tasaisuuden kannalta on siis äärettömän tärkeää, että kuidut sekoittuvat ja esimerkiksi kuitujen kasvuolosuhteista johtuvat laatuerot tasoittuvat. Eri kuitukomponenttien ja -erien annostelu tehdään usein jo paalien avaamisvaiheessa ja sekoitus voidaan tehdä erillisissä sekoituslaitteissa kuitujen avaamisen jälkeen. Kuitujen puhdistaminen voidaan suorittaa esimerkiksi kuitujen avaamisen yhteydessä, jolloin kiinteät partikkelit putoavat niitä keräävälle ritilälle paino- tai keskipakovoiman avulla. Metallit poistetaan metallientunnistuslaitteiden avulla, joita voidaan sijoittaa esimerkiksi sekoituslaitteiston ja karstan syöttölinjan yhteyteen. (Russell 2022, 96-103)

3.1.2 Karstaus

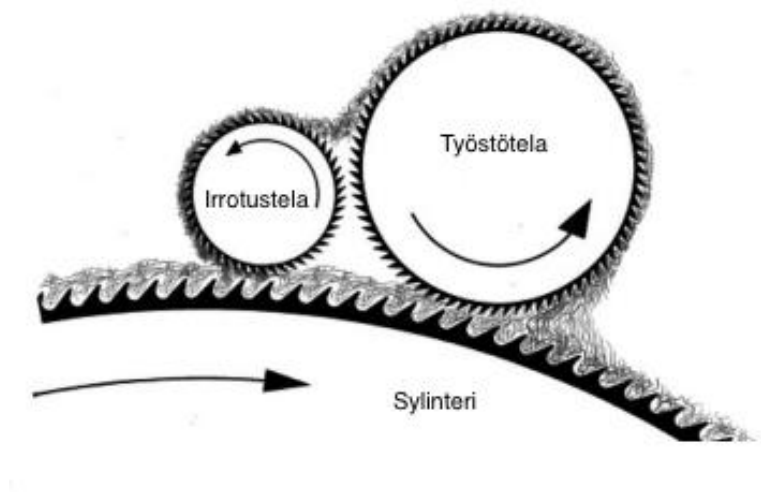
Kun kuidut ovat läpäisseet kaikki kuidun valmistelun vaiheet, voidaan kuitu syöttää syöttötelojen kautta karstalle (kuvassa 2 kohdat 2 ja 8). On tärkeää, että kuitujen syöttö karstalle on jatkuvan tasaista, koska vaihteleva kuitukuorma vaikuttaa valmistettavan kuitumaton laatuun. Tasainen syöttö varmistetaan syötönhallinta ja -punnitusjärjestelmien avulla, joita on olemassa paljon erilaisia, yleisimmin käytössä on tilavuusohjattu syöttö. Muita olemassa olevia järjestelmiä ovat esimerkiksi vaakapunnitusalustat, telapunnitusjärjestelmät ja mikroprosessoriohjatut vaakapunnitusjärjestelmät. (Russell 2022, 129-137)

Karstatyypeistä yleisin on telakarsta (kuvassa 2 kohta 7). Telakarsta muodostuu pääsylinteristä, työstö- ja irrotusteloista (worker, stripper) sekä kuorintavalssista (doffers). Telakarstan yksinkertaistettu rakenne ja rullien paikat on esitetty

kuvassa 3. Karstan kaikki telat on päällystetty hammastetulla metallinauhalla. Ilman hammastuksia karsta ei toimi tehokkaasti. Kuidut kulkeutuvat eteenpäin ja karstautuvat nimenomaan hammastuksien avulla. Hammastuksia käydään tarkemmin läpi luvussa 3.1.3. Karstaustilppi tapahtuu keskussylinterin, työstö- ja irrotustelan ympärillä. Kuva 4 havainnollistaa kuitujen kulkeutumista näillä teloilla sekä samalla itse karstaustilppiä. (Russell 2022, 104-107).



KUVA 3. Karstaustilpiston rullien järjestys ja kokonaiskuva (Russell 2022, 105)



KUVA 4. Kuitujen kulkeutuminen teloilla ja karstaustilpiston toimintaperiaate (Russell 2022, 106).

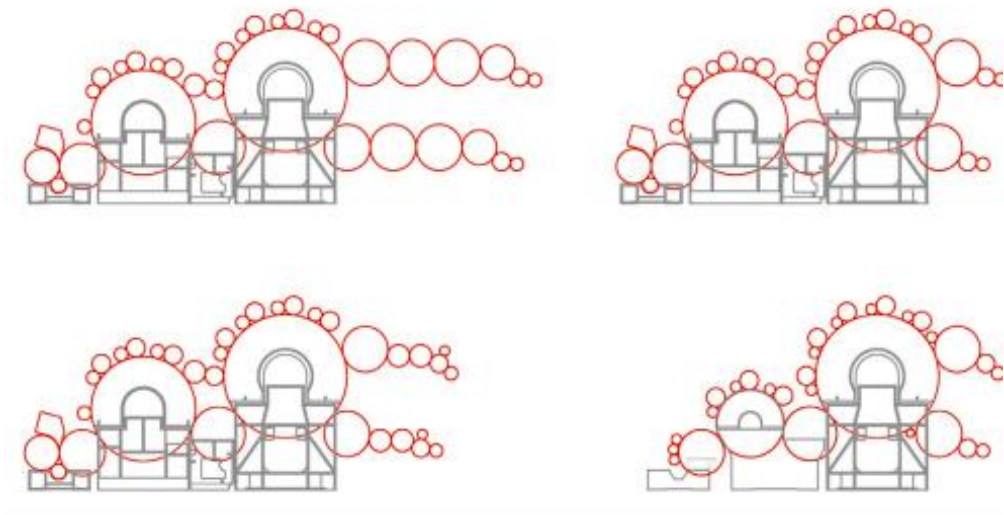
Syöttötela syöttää siis kuidut keskussylinterin pinnalle ja sylinterin pyöriessä kuidut kulkeutuvat eteenpäin. Kuidut alittavat ensimmäisenä vastaan tulevan

irrotustelan ja jatkavat matkaansa kohti työstörullaa. Itse karstausta tapahtuu käytännössä työstötelan ja sylinterin välillä. Työstörulla pyörii eri nopeudella ja vastakkaiseen suuntaan keskussylinterin kanssa. Nopeuserosta johtuen osa kuiduista tarttuu kiinni työstörullan hammastuksiin, kun taas toinen osa kuiduista kuitenkin jää sylinterin pinnalle. Sylinteri ja työstörulla vetävät kuituja tehokkaasti eri suuntiin sekä erilleen toisistaan. Tämä vaihe avaa kuitukimppuja tehokkaasti sekä yhdensuuntaistaa kuituja. (Russell 2022, 104-107).

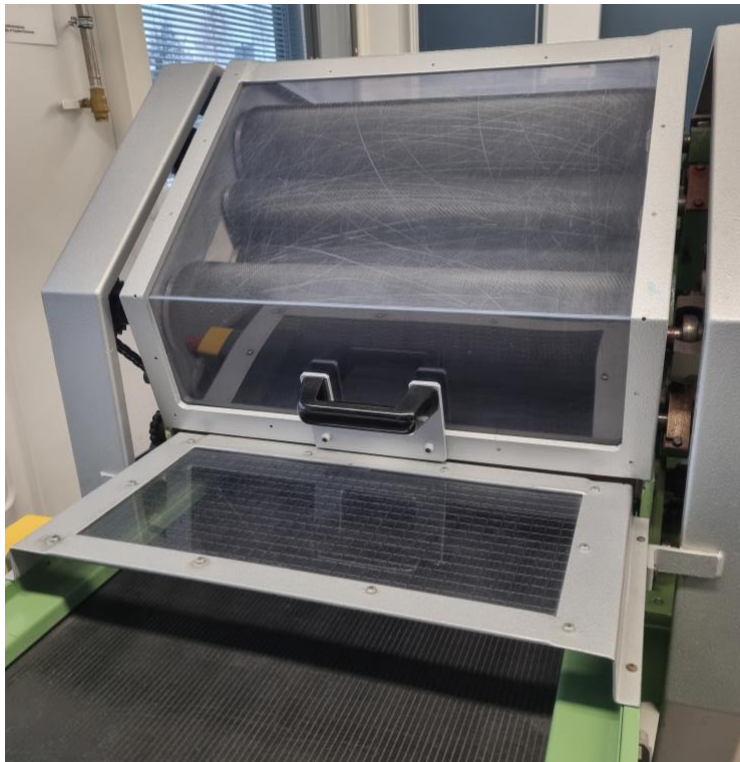
Sylinterille jäävät kuidut jatkavat matkaansa eteenpäin sylinterin pinnalla kohti kuorintavalssia. Työstötela puolestaan pyörii ympäri vastakkaiseen suuntaan, kohti aiemmin ohitettua irrotustelaa. Irrotustela kaappii kuidut irti työstörullalta ja palauttaa kuidut takaisin keskussylinterille. Tämä prosessin vaihe varmistaa kuidun tasaisen sekoittumisen ja jakautumisen, koska työstörulla kuljettaa hammastuksissaan kiinniolevia kuituja prosessilinjassa taaksepäin ja näin ollen kuidut päätyvät eri kohtaan kuituverkolla kuin missä olivat aiemmin. (Russell 2022, 104-107).

Kun kuidut palautuvat irrotustelan avulla takaisin keskussylinterille, ne kohtaavat uudelleen saman työstötelan. Kuidut eivät jää kiertämään kuitenkaan samojen rullien ympärille. Työstötelan ja sylinterin välinen nopeusero varmistaa sen, että työstötela pystyy tarttumaan vain osaan sylinterin pinnalla olevista kuidusta, jolloin toinen osa pinnan kuiduista jatkaa aina matkaa eteenpäin ja työstettävät kuidut vaihtuvat. Työstö ja kuitujen irrotus työstötelalta muodostavat siis karstauksen perustoiminnot. Työstö erottaa kuidut toisistaan sekä yhdensuuntaistaa niitä ja irrotustela palauttaa kuidut suurempina takaisin sylinterille. (Russell 2022, 106-107)

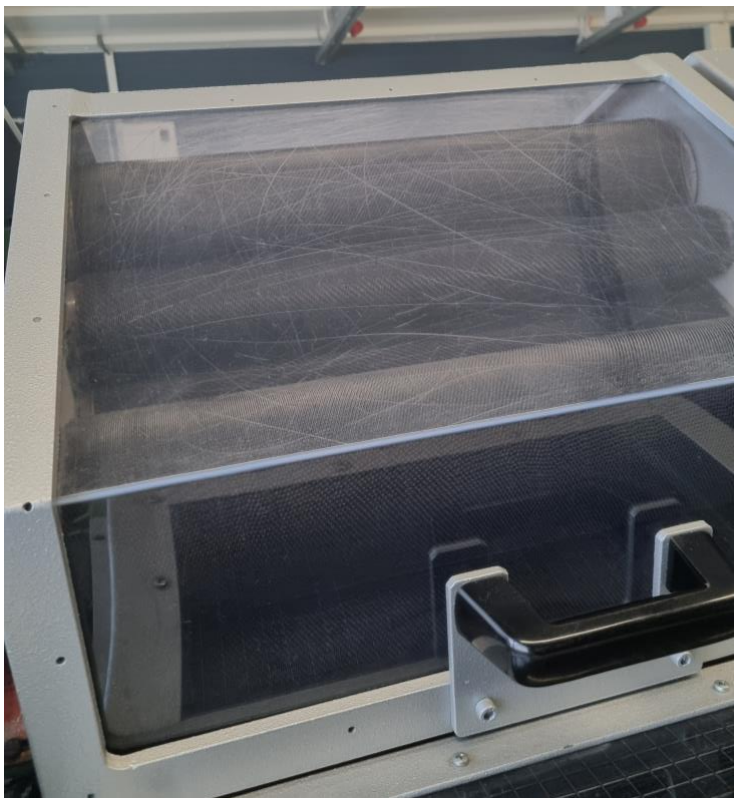
Usein karstauskoneet muodostuvat useammista keskussylintereistä sekä työstö-irrotustela-pareista, jolloin karstausta suoritetaan monivaiheisena, porrastettuna prosessina. Kuvassa 5 on esitetty erilaisia mahdollisia karstauskoneen konfiguraatioita. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty Tampereen ammattikorkeakoulun tekstiililaboratorion karstauskone. Kuvissa on nähtävillä keskussylinteri sekä työstö- ja irrotustelat. (Russell 2022, 106-107)



KUVA 5. Erilaisia mahdollisia karstauskoneita (Russell 2022, 129).



KUVA 6. Tampereen ammattikorkeakoulun tekstiililaboratorion karsta (Lavanto 2025)



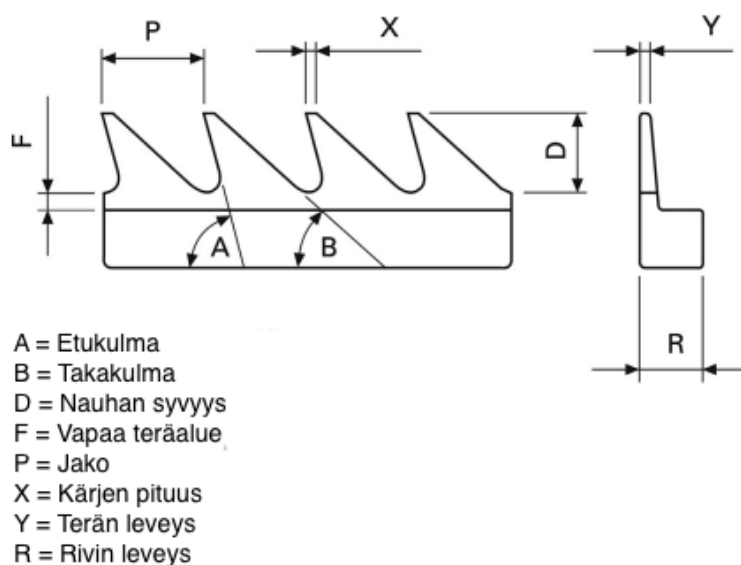
KUVA 7. Tampereen ammattikorkeakoulun tekstiililaboratorion karsta (Lavanto 2025)

Työstö-irrotustelaparin jälkeen kuidut poistetaan sylinteriltä kuorintavalssin avulla, mikä tiivistää kuidut verkkomaiseksi, jatkuvaksi rakenteeksi eli kuitumatoksi. (Russell 2022, 107). Kuitukankaita valmistettaessa kuitumattojen kuidut voidaan karstauksen jälkeen liittää toisiinsa joko mekaanisesti, kemiallisesti tai termisesti. Karstattuja kuitumattoja voidaan laskostaa tai niitä voidaan pinota päällekkäin, jotta saadaan kasvatettua valmistettavan kuitukankaan paksuutta. (Räisänen ym. 2017, 176-178)

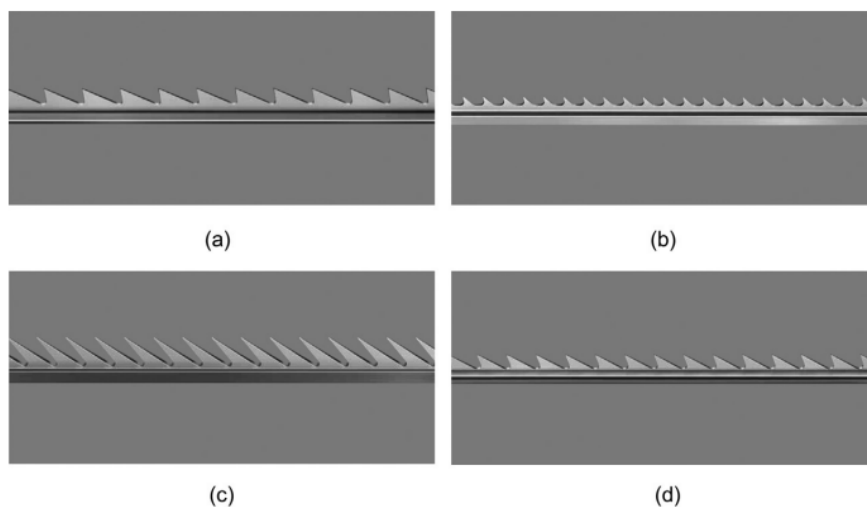
3.1.3 Telojen hammastukset

Niin kuin aiemmin mainittiin, karstan telat on päällystetty hammastetulla metallinauhalla. Erilaisia hammastettuja vaippoja on olemassa tuhansia erilaisia ja vaipan valinta riippuukin käytettävän kuidun ominaisuuksista sekä karstan kokoonpanosta ja asetuksista. Eroavaisuuksia hammastuksiin tuo esimerkiksi hammastiheys, -syvyys, hampaan etu- ja takakulmat sekä hampaan kärjen muotoilu, joita on pyritty havainnollistamaan kuvan 8 avulla. Eri teloilla on eri käyttötarkoitukset, joten myös niiden hammastuksetkin ovat erilaiset. Kuvassa 9

on esimerkki siitä, millaiset hammastukset erään karstan syöttötelalla, sylinterillä, työstö- ja irrotustelalla on.



KUVA 8. Hammastettujen metallinauhojen ominaisuuksia (Russell 2022, 115)



KUVA 9. Hammastukset eri teloilla: A = syöttötela, B = sylinteri, C = työstötela ja D = irrotustela (Russell 2022, 114)

Hammastuksien syvyyteen vaikuttaa kuvan 8 muuttujista nauhan syvyys (D) ja vapaa teräalue (F). Hampaiden syvyys vaikuttaa suoraan siihen, kuinka paljon kuituja hampaiden väliin mahtuu eli toisin sanoen syvyys määrittää telalle mahtuvan kuitukuorman. Kuvan 9 teloista syvin hammastus on työstötelalla. Tämä selittyy sillä, että työstötelalta vaaditaan suhteellisen ison kuitukuorman hallintaa, koska sen tehtävä on nimenomaisesti ottaa kuituja nopeammin

pyörivältä sylinteriltä. Sylinterin sekä irrotustelan hammastuksien syvyydet ovat alhaisempia, koska niiltä ei vaadita samanlaista ominaisuutta. Myös työstettävän kuidun ominaisuudet vaikuttavat käytettävään hammassyvyteen eri rullilla. Esimerkiksi pitkien ja karkeiden kuitujen karstauksessa hammastuksien pitää olla syvempiä kun hienompien kuitujen karstauksessa. (Russell 2022, 115-116)

Kuvassa 8 etukulmaa kuvaa muuttuja A ja takakulmaa muuttuja B. Etukulma määrittää telan "ruokahalun" eli sen, kuinka tehokkaasti hammas nappaa kuituja toiselta rullalta. Mitä pienempi etukulma on, sitä tehokkaammin tämä tapahtuu. Kuvasta 9 nähdään, että työstörullan etukulma on pienempi kun sylinterin. Työstörullan etukulma saakin usein arvoja 50-60 asteen välillä, kun puolestaan sylinterin etukulma on usein noin 70-80 astetta. Tätä selittää se, että työstörullan hampaiden pitää tarttua sylinterin pinnan kuituihin tehokkaasti, jotta se saa kuidut mukaansa. Jos työstörullan etukulma olisi vieläkin pienempi, kuidut irtoisivat kuitenkin liian helposti eikä työstöä tapahtuisi. Sylinterin hammastukset puolestaan tasapainottelevat kuiduista kiinni pitämisen ja irti päästämisen välillä. Hammaskulma tulee sovittaa yhteen telan halkaisijan kanssa, koska telojen halkaisija vaikuttaa etukulman tehokkuuteen. Hampaiden takakulma vaikuttaa puolestaan hampaan varastointikapasiteettiin. Mitä suurempi takakulma on, sitä enemmän hammastus pystyy varastoimaan kuitua. Tämä on taas tärkeää työstöteloilla sekä kuorintavalssilla, joilla on suuri kuitukuormitus. Sylinterillä ja irrotustelalla on yleensä pienemmät takakulmat sen vuoksi, ettei kuitukuormitus olisi suuri eikä kuidut jäisi hampaiden pohjalle kiinni vaan siirtyvät sujuvasti eteenpäin muille rullille. (Russell 2022, 116-118)

Hampaiden lukumäärää kuvassa 8 kuvaa muuttuja R (rivin leveys) ja tiheyttä muuttuja P (jako). Nämä ominaisuudet määräytyvät pääasiassa käytettävän kuidun sekä sen ominaisuuksien mukaan. Mitä pienempi on karstattavan kuidun halkaisija, sitä tiheämmin hampaiden tulee olla. Kuvassa 8 hampaankärkien muotoiluun liittyviä muuttujia on Y ja X. Muuttuja Y kuvaa hampaan kärjen leveyttä ja muuttuja X kärjen pituutta. Kärkien muoto vaikuttaa esimerkiksi hampaiden kestävyteen sekä siihen, kuinka hyvin hampaat tunkeutuvat kuituihin. Myös hampaiden sivuja voidaan muotoilla esimerkiksi lisäämällä niihin uria. Pinnan muotoilut vaikuttavat esimerkiksi kuidun ja metallin väliseen kitkaan. (Russell 2022, 118-119)

3.2 Karstauksen asettamat vaatimukset kuiduille

Kuidun soveltuvuus kuitukankaiden valmistukseen riippuu pääasiassa sen yhteensopivuudesta käytössä olevien koneiden ja prosessien kanssa sekä kuidun vaikutuksista valmiin kankaan ominaisuuksiin. Monia erilaisia uusia kuituja on aikojen saatossa pyritty innovoimaan kuitukangasteollisuuden tarpeisiin, mutta kehitys on usein pysähtynyt siihen, että kuidun käsittely, varsinkin karstausvaiheessa, on hankalaa. Karstausvaihe on tuotantoprosessin vaiheista se, joka asettaa tarkimmat vaatimukset käytettävän kuidun ominaisuuksille. Jos kuitu ei ole sopiva karstaukseen, karstausvaiheessa yleisesti ilmeneviä ongelmia voi olla esimerkiksi hallitsematon staattinen sähkö, riittämätön kuitujen venyvyys sekä kuitujen välinen heikko koheesio. Heikko koheesio tarkoittaa sitä, etteivät kuidut tartu kunnolla toisiinsa, eivätkä näin ollen muodosta yhtenäistä kuitumattoa. (Russell 2022, 89-92).

Karstaus asettaa vaatimuksia varsinkin kuidun venymälle, pituudelle sekä lineaaritiheydelle. Myös kuidun murtolujuus, halkaisija, kiharuus sekä pinnan käsittely ovat tärkeitä ominaisuuksia karstauksen kannalta. (Russell 2022, 89-92). Kuidun venymällä tarkoitetaan prosenttilukua, joka ilmaisee kuidun pituuden lisäyksen kuitua venyttäessä suhteutettuna kuidun alkuperäiseen pituuteen. Käytännössä siis venymä ilmaisee sen, kuinka paljon kuitu voi venyä alkuperäisestä pituudestaan ilman katkeamista. (Räisänen ym. 2017, 15) Karstausprosessin näkökulmasta tämä on tärkeää, jotta kuidut voivat kulkea karstauksen läpi ilman katkeamista, mutta kuitenkin venymään niin, että ne voivat muodostaa yhtenäisen kuitumaton kietoutumalla toisiinsa. Vähimmäisvaatimus kuidun venymälle karstausprosessissa on 2–5 %. (Russell 2022, 89-92).

Yleisesti ottaen on mahdollista karstata kuituja, jotka ovat pituudeltaan 15–250 mm. Käytännössä kuitenkin, yhdellä ja samalla koneella on mahdotonta karstata noin laajaa pituusaluetta muuttamatta koneen asetuksia ja rakennetta. (Russell 2022, 89-92). Pidemmät kuidut vaativat esimerkiksi pidemmät telaetäisyydet, suuremmat avausrullat sekä pidemmät hampaat hammastuksissa. Käytännössä karstauskone voi olla suunniteltu karstaamaan pitkiä kuituja, jolloin kuitupituus voi olla välillä 50–130 mm tai lyhyitä kuituja, jolloin kuitupituus voi olla välillä 10–

60 mm. (Albrecht, Fuchs & Kittelmann 2003, 146-147). Russellin mukaan karstatut kuitukankaat valmistetaan keskimääräisesti 38–100 mm pituisista kuiduista (Russell 2022, 91), kun taas Räisänen ym. rajaa keskimääräisen pituuden noin 25–60 mm pituisiin kuituihin (Räisänen ym. 2017, 11) ja Albrecht ym. puolestaan 15–50 mm pituisiin kuituihin (Albrecht ym. 2003, 83). Vaikka lukemat vaihtelevat hieman lähteestä riippuen, varmaa kuitenkin on, että yleisesti kuitukankaiden karstauksessa käytetään lyhyempiä kuituja. Kuitu ei kuitenkaan saa olla liian lyhyt. Jotta kuitukankaan verkkorakenne saadaan muodostettua, kuidun tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta se pystyy kiertymään ja kiinnittymään toisiin kuituihin, mutta samalla tarpeeksi lyhyt, jotta se ei jää kiertämään sylinteriä vaan karstautuu. Käytettävä karstauskone rakenteineen määrää tarkat pituusvaatimukset kuiduille. Pidempienkin kuitujen karstaus on mahdollista, kunhan karstauskoneen asetukset sekä rakenne sallivat sen.

Karstausprosessi asettaa vaatimuksia myös kuidun lineaaritiheydelle. Lineaaritiheys ilmoitetaan yleensä tex- tai dtex-arvona, mikä suhteuttaa kuidun massan sen pituuteen. Lineaaritiheys kertoo kuidun hienoudesta. Mitä hienompaa kuitu on, sitä pienempi sen tex-arvo on. Sama toimii myös toiseen suuntaan: mitä suurempi tex-arvo on, sitä karkeampi kuitu on kyseessä. (Räisänen ym. 2017, 11-12). Jotta kuitu soveltuu karstausprosessiin, sen lineaaritiheyden tulee olla välillä 1–300 dtex (Russell 2022, 90). Jos kuitu on tätä karkeampi, se on luultavasti liian jäykkä ja paksu taipuakseen karstauksen ja kuituverkon muodostamiseen tarvittavalla tavalla. Karstauksen asettamat vaatimukset kuidun ominaisuuksille on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Karstauksen asettamat vaatimukset kuidun ominaisuuksille

KARSTAUKSEN ASETTAMAT VAATIMUKSET KUIDUN OMINAISUUKSILLE	
Pituus	38-100 mm <i>Russell 2022, 91</i> 25-60 mm <i>Räisänen ym. 2017, 11</i> 15-50 mm <i>Albrecht ym. 2003, 83</i>
Lineaariiheys	1-300 dtex <i>Russell 2022, 90</i>
Venymän minimivaatimus	2-5 % <i>Russell 2022, 90</i>

Kuitujen kiharuus vaikuttaa karstausprosessiin lisäämällä kitkaa, ilmavuutta sekä verkon koheesiota. Kuitupinnan käsittelyllä voidaan muokata kuitujen kitkaominaisuuksia sekä vaikuttaa kuitujen ehjänä pysymiseen. Kuidun pinnan tulisi olla sellainen, että kuidut liukuisivat helposti, mutta samalla hallitusti toisiaan vasten. Kitkaa siis ei tule olla kuitujen välillä liikaa, mutta silti tarpeeksi koheesiota varten. Kuitujen murtolujuus on myös tärkeä ominaisuus, koska kuitujen tulee kestää karstauksen aiheuttama mekaaninen rasitus rikkoutumatta. Mekaanista rasitusta aiheutuu karstauksessa esimerkiksi vetämisen, venyttämisen ja erottelemisen vuoksi. Mitä heikompi kuitu on murtolujuudeltaan, sitä vähemmän rasitusta kuitu kestää katkeamatta. (Russell 2022, 89-92)

3.3 Karstauksessa yleisimmin käytetyt kuidut

Kuituja voidaan karstata joko yksinään tai erilaisina sekoitteina. Kuitujen sekoittaminen toisiinsa mahdollistaa yhä useampien eri kuitupituuksien ja hienousasteiden käytön karstauksessa. Russell arvioi kirjassaan ”Handbook of nonwovens” (2022, 89), että käytännössä karstattujen kuitukankaiden valmistuksessa voidaan käyttää mitä tahansa kuitua, kunhan se vain soveltuu karstaukseen. Tähän arvioon hän luki mukaan myös esimerkiksi erilaiset keraamiset materiaalit sekä lasin. Hän lisää myös, että todennäköisesti suurin osa soveltuvista kuiduista on jo joissain määrin käytössä. (Russell 2022, 89.)

Synteettisiä kuituja käytetään kuitukankaiden karstauksessa määrällisesti eniten. Polyesteri (PES) ja polypropeeni (PP) muodostavat valtaosan karstauksessa käytettävistä kuiduista, mutta näistä kahdesta polyesteri on vielä suositumpi. (Russell 2022, 89-92.) Myös muita synteettisiä tekokuituja käytetään. Esimerkiksi opinnäytetyötä varten haastateltu yritys valmistaa karstattuja kuitukankaita polyamidista (PA66). Tästä huolimatta käytetyimmät kuidut tähän tarkoitukseen ovat polyesteri ja polypropeeni. Tekstiileissä käytettävä polyesteri on yleisimmin rakenteeltaan polyeteenitereftalaatti, jonka raaka-aineina toimii tereftaalihappo sekä etyleeniglykoli. Lähtöaineet ovat peräisin raakaöljyn tislauksesta. Polyesteri on elastinen, vahva ja kimmoisa kuitu, joka omaa hyvän mekaanisen ja kemiallisen kestävyuden. Polyesterin suosiota selittää sen muokattavuus, soveltuvuus todella erilaisiin käyttökohteisiin sekä edullisuus. (Räisänen ym. 2017, 74-78.) Polypropeeni eli PP koostuu puolestaan propeeni-monomeereista. Polypropeenin raaka-aineet ovat peräisin maaöljyn ja maakaasun jalostuksesta. Polypropeeni on luja, mutta kevyt kuitu, joka omaa hyvän lämmöneristyskyvyn ja kemikaalien vastustuskyvyn. Polypropeenin suosiota selittää sen ominaisuuksien lisäksi myös sen edullisuus. (Polypropeeni n.d.)

Polyesterin ja polypropeenin käytön negatiivisena puolena on kuitenkin kyseisten kuitujen negatiiviset ympäristövaikutukset. Molempien kuitujen raaka-aineet ovat peräisin uusiutumattomista luonnonvaroista eikä kumpikaan kuitu ole biohajoava. Biohajoamattomuuden vuoksi esimerkiksi tekstiileistä irtoava nukka voi kerryttää vesistöjen ja maaperän mikromuovien määrää. Polyesterin tuotantoon kuluu myös paljon energiaa. Polypropeenin tuotanto on käytetyn energian kannalta hieman ympäristöystävällisempää. Molempia kuituja on kuitenkin mahdollisuus kierrättää sekä kuituja on mahdollista tuottaa myös biopohjaisina. Täysin biopohjaisten kuitujen tuotanto on vielä hyvin vähäistä, mutta osittain biopohjaista polyesteriä tuotetaan jo kaupallisesti. (Räisänen ym. 2017, 74-78, 88-90).

Kuitukankaita valmistetaan karstauksen avulla myös erilaisista selluloosamuuntokuiduista. Viskoosi on näistä yleisimmin käytössä. Se omaa hyvän kosteuden imukyvyn, joten se on suosiossa varsinkin erilaisissa hygieniatuotteissa. (Russell 2022, 89-92.) Viskoosikuidun valmistus vaatii paljon kemikaaleja, vettä ja energiaa. Osa käytettävistä kemikaaleista on myrkyllisiä. Jollei veden ja kemikaalien kierrätykseen kiinnitetä tuotannossa huomiota,

viskoosikuidun valmistuksen hiilidioksidipäästöt voivat olla todella korkeat. Viskoosin ympäristöystävällisyys riippuu erittäin paljon tuotantotavasta. (Räisänen ym. 2017, 94.)

Myös luonnonkuidut ovat esillä kuitukankaiden valmistuksessa. Itseasiassa villaa ja puuvillaa on karstattu jo karstauksen varhaisimmista vaiheista asti. Näitä kuituja karstataan usein erilaisina sekoitteina esimerkiksi pellavan ja hampun kanssa. Nykyisin karstauksessa eniten käytetty kasvikuitu on puuvilla. Puuvilla ei kuitenkaan ole ympäristöystävällisimmistä päästä, vaan sen viljely vaatii erityisen paljon maapinta-alaa, erilaisia kemikaaleja sekä vettä. Vaikka karstauksessa olisi mahdollista käyttää monipuolisesti eri kuituja, tällä hetkellä valtaosan kuitukangasteollisuuden käyttämistä kuiduista muodostaa polyesteri, polypropeeni, viskoosi sekä puuvilla. Taulukossa 2 on esitetty karstauksen näkökulmasta näiden kuitujen tärkeimmät dimensiot.

TAULUKKO 2. Yleisesti karstauksessa käytetyt kuidut nykyaikana ja niiden dimensioita

KARSTAUKSESSA KÄYTETTÄVIÄ KUITUJA JA NIIDEN OMINAISUUKSIA					
Kuidun nimi	Pituus (mm)	Halkaisija (µm)	Kuidun lineaaritiheys (dtex)	Kuidun murtolujuus (cN/tex)	Kuidun murtovenymä (%)
Puuvilla <i>Gossypium</i>	10-60 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 33</i>	10-20 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 33</i>	1,1-2,9 <i>Räisänen ym 2017, 31</i>	25-40 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 33</i>	5-10 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 33</i>
Viskoosi	Muokattavissa	Muokattavissa	0,5-68 <i>Räisänen ym. 2017, 92</i>	20-30 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 152</i>	15-40 <i>Räisänen ym 2017, 92</i>
Polyesteri	Muokattavissa	Muokattavissa	Muokattavissa	Katkokuidut: 25-55 Erikoislujat kuidut: 100 <i>Räisänen ym. 2017, 75</i>	Katkokuidut: 25-55 Erikoislujat kuidut: 8-20 <i>Räisänen ym. 2017, 75</i>
Polypropeeni	Muokattavissa	Muokattavissa	0,8-400 <i>Räisänen ym. 2017, 88</i>	30-80 <i>Räisänen ym 2017, 16</i>	15-35 <i>Räisänen ym 2017, 16</i>

4 KARSTAUKSEEN SOVELTUVAT BIOPOHJAISET JA KIERRÄTETYT KUIDUT

4.1 Yleistä tarkasteltavista kuiduista

Tässä opinnäytetyössä kuitujen sopivuutta karstaukseen arvioidaan luvusta 3.2 löytyvän taulukon 1 esittämien ominaisuuksien avulla. Tärkeimpiä tarkasteltavia ominaisuuksia ovat kuitupituus, lineaaritiheys sekä murtovenymä. Tarkasteltavista kuiduista otetaan huomioon myös murtolujuus sekä kuidun halkaisija, koska myös näillä ominaisuuksilla on roolinsa karstauksen onnistumisessa. Kuitupituutta sekä halkaisijaa tarkastellaan niin peruskuidun kuin kuitukimpunkin kannalta. Täytyy myös muistaa, että varsinkin luonnonkuitujen suhteen kuidut eroavat paljon toisistaan esimerkiksi pituudeltaan ja hienoudeltaan jopa saman kuitulaadun sisällä. Yksittäisissä luonnonkuiduissa on eroavaisuuksia johtuen esimerkiksi niiden kasvuolosuhteista sekä biologisesta perimästä.

Käytännössä kuitujen käyttöä rajaa myös esimerkiksi niiden hinta sekä saatavuus. Tässä opinnäytetyössä hinta on lähinnä huomioitu eläinkuitujen kohdalla, joista esimerkiksi mohair, kashmir ja alpukka on jätetty kartoituksen ulkopuolelle korkean hintansa vuoksi. Vaikka kyseiset kuidut mahdollisesti sopisivatkin ominaisuuksiltaan karstaukseen, ei ole realistista, että todella arvokkaista kuiduista karstattaisiin kuitukankaita, joita käytetään usein kertakäyttökohteissa. Muiden kuituryhmien kohdalla hintaa ei ole pidetty yhtä rajaavana tekijänä, koska usein niiden hinnat ovat paljon edullisempia.

Yritysten näkökulmasta luonnonkuitujen ja kierrätettyjen kuitujen käyttö on haasteellista kuitukankaiden karstauksessa niiden pölyväisyyden vuoksi. Yritysten mukaan luonnonkuitujen kohdalla ongelmiksi voi muodostua myös esimerkiksi kuidun kiharus sekä vetolujuus, joita tässä opinnäytetyössä ei tutkita.

4.2 Runkokuidut

Kasvikuidut jakautuvat edelleen runko-, siemen-, lehti- ja hedelmäkuituihin. Taulukossa 3 on esitetty runkokuituihin kuuluvia kuituja sekä näiden kuitujen tärkeimpiä ominaisuuksia karstauksen kannalta. Tarkasteltavia kuituja on pellava, hamppu, rami, juutti, kenaf sekä nokkonen. Näistä kuiduista osa sopii ominaisuuksiensa kannalta karstaukseen paremmin kuin toiset.

TAULUKKO 3. Runkokuituihin kuuluvien kuitujen ominaisuuksia

RUNKOKUITUJEN DIMENSIOITA							
Kuidun nimi	Peruskuitu		Kuitukimppu		Kuidun lineaaritiheys (dtex)	Kuidun murtolujuus (cN/tex)	Kuidun murtovenymä (%)
	Pituus (mm)	Halkaisija (µm)	Pituus (cm)	Halkaisija (mm)			
Pellava <i>Linum utitatisimum</i>	20-40 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 4-77 Räisänen ym. 2017, 43	10-20 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 5-76 Räisänen ym 2017, 43	45-60 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 20-140 Räisänen ym 2017, 43	0,04-0,62 Räisänen ym 2017, 43	1-5 Nousiainen & Rissanen 2019, 25	50-60 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	1,5-2 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Hamppu <i>Cannabis sativa</i>	10-30 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 5-55 Räisänen ym. 2017, 43	5-50 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 10-51 Räisänen ym. 2017, 43	50-60 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 100-300 Räisänen ym. 2017, 43	-	2,5-3,8 Ahrwar & Behera 2021, 2	50-65 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 38-62 Räisänen ym. 2017, 43	1,5 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 1-6 Räisänen ym 2017, 43
Rami <i>Boehmeria nivea</i>	120-150 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 40-250 Räisänen ym. 2017, 43	40-60 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 16-126 Räisänen ym. 2017, 43	80-100 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	0,06-0,9 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	-	45-88 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	3-7 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Juutti <i>Corchorus capsularis, C. olitorius</i>	1-6 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	10-25 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	150-350 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	0,03-0,14 Räisänen ym. 2017, 43	14-30 Franck 2005, 10	30-45 Nousiainen & Rissanen 2019, 34 25-62 Räisänen ym. 2017, 43	1,7 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Kenaf <i>Hibiscus cannabinus</i>	6 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	13-18 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	-	-	19-22 Franck 2005, 10		2,7 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Nokkonen <i>Urtica</i>	50 Nousiainen & Rissanen 2019, 40	30-35 Nousiainen & Rissanen 2019, 40	-	-	-	25-60 Nousiainen & Rissanen 2019, 40	2,5 Nousiainen & Rissanen 2019, 40

Pellavaa saadaan *Linum utitatisimum* -kasvin eli pellava-kasvin rungon kuiduista. Pellava on suosittu kuitu vaatetustekstiileissä sekä sisustustuotteissa, mutta se sopii myös käytettäväksi erilaisiin teknisiin tarkoituksiin. Muita

kasvikuituja korkeamman hintansa vuoksi, pellavaa käytetään usein sekoitteina muiden kuitujen kanssa. (Räisänen ym. 2017, 39-41) Taulukossa 3 esitettyjen ominaisuuksien kannalta pellava sopii karstaukseen hyvin. Peruskuidun pituus on riittävällä tasolla, jotta kuitua voidaan karstata. Tämän lisäksi pellavalla on korkea murtolujuus, joten pellava kestää karstauksen aiheuttaman mekaanisen rasituksen hyvin. Pellavan murtovenymä kuitenkin hipoo vain juuri ja juuri karstauksen asettamia minimirajoja ja kuidun lineaaritehiyskin on suhteellisen alhainen. Lineaaritehiys riittää kuitenkin täyttämään karstauksen asettamat vaatimukset ja kokonaisuudessaan pellava on ominaisuuksiensa puolesta oiva raaka-aine karstattuihin kuitukankaisiin.

Hamppukuitua saadaan puolestaan *Cannabis sativa* -nimisen kasvin rungosta. Lääke- ja öljyhamppu eivät ole kuituhamppulajikkeita. Kuituhamppulajikkeet ovat pitkävartisia, haaroittumattomia, eivätkä sisällä juuri ollenkaan tetrahydrokannabinolia (THC). Pellavaan verrattuna hamppukuidut ovat karkeampia, jäykempiä sekä usein myös pidempiä, mutta lujuudeltaan hamppu on samaa luokkaa pellavan kanssa. Hamppua käytetään yleisimmin naruissa, köysissä sekä vaatetuksessa. (Räisänen ym. 2017, 44-45) Karstaukseen hamppu sopii taulukossa 3 ilmoitettujen ominaisuuksiensa kannalta hyvin. Kuitu on tarpeeksi pitkää, tarpeeksi lujaa sekä sillä on sopiva lineaaritehiys karstausta varten. Pienimillään ollessaan hampun murtovenymä voi kuitenkin muodostaa ongelmia karstauksessa, jolloin kuitu voi katketa helposti telojen vetäessä kuituja eri suuntiin. Murtovenymä voi kuitenkin olla kuidusta riippuen myös täysin karstaukseen soveltuva, minimivaatimus on 2–5 %.

Ramia saadaan *Boehmeria nivea* -kasvin rungosta. Kyseinen kasvi on erittäin nopeasti kasvava ja monivuotinen nokkoskasveihin kuuluva kasvi, josta saadaan useampiakin satoja vuoden aikana. Kuitua on kuitenkin vaikea erottaa kasvinrungosta ja tämä osittain rajoittaa kyseisen kuidun käyttöä laajamittaisemmin. Tekstiilikuituna rami on todella luja kuitu, itseasiassa kaikista kasvikuiduista lujin. Ramia käytetään vaatteissa, sisustustekstiileissä sekä köysissä ja verkoissa. (Räisänen ym. 2017, 45) Karstauksessa ramin ongelmaksi muodostuu pituus. Rami on pitkä kuitu, jota mahdollisesti pystyttäisiin karstaamaan pitkille kuiduille tarkoitetulla karstalla. Myös murtovenymän ja lujuuden puolesta karstaus olisi mahdollista. Kuitukankaiden karstauksessa

valtavirtaa on kuitenkin lyhyemmille kuiduille tarkoitettut karstauskoneet, joihin rami pisimillään on liian pitkä kuitu. Räisäsen ym. (2017) mukaan on kuitenkin mahdollista, että ramin pituus vaihtelee välillä 40-250 mm, jolloin tämän vaihteluvälin lyhyimmät kuidut sopisivat kuitenkin hyvin karstaukseen.

Juuttia kerätään *Corchorus capsularis* sekä *C. olitorius* kasvien rungoista. Juutti on toiseksi eniten viljelty kasvikuitu, joka tarvitsee kasvaakseen runsaasti vettä ja lämpöä. Pellavaan verrattuna juutti ei ole yhtä lujaa eikä se kestä valoa yhtä hyvin. Juutin pääasialliset käyttökohteet ovat mattojen taustamateriaalit, sänkyjen täytemateriaalit sekä erilaiset tekniset tarkoitukset, kuten suodattimet ja geotekstiilit. Juutin alkumoduuli on suhteellisen korkea, joten sitä voidaan käyttää myös lujitekuituna komposiittimateriaaleissa. Aikanaan juuttia on käytetty paljon myös pakkausmateriaalina, nykyisin näihin käyttötarkoituksiin käytetään enemmän synteettisiä materiaaleja. (Nousiainen & Rissanen 2019, 37-38) Karstauksessa juutin kohdalla ongelmia voi luoda juutin pituus, joka peruskuidulla on alhainen ja kuitukimpulla erittäin korkea. Kuidun murtovenymäkin jää hieman karstauksen asettamien vaatimusten alapuolelle, mutta hipoo alarajaa 1,7 % arvollaan. Juutti ei siis sovellu karstaukseen ainakaan yksinään. Mahdollisuuksia voi olla jos juuttia sekoitetaan toisiin karstattavissa oleviin kuituihin.

Kenafia saadaan *Hibiscus cannabinus* sekä *H. sabdariffa* -lajien kasvien rungon kuiduista. Kyseiset kasvit kuuluvat malvakasvien heimoon. Juuttiin verrattuna Kenaf voi kasvaa kuivemmillä aluella, mutta kestää mekaanista rasitusta huonommin. Kenafilla on saman tyyppiset käyttökohteet kuin muillakin runkokuiduilla, eli sitä käytetään ensisijassa erilaisten köysien, narujen ja säkkikankaiden raaka-aineena. Teknisissä tarkoituksissa kenafia voidaan käyttää myös esimerkiksi geotekstiilien ja suodatinkankaiden raaka-aineena ja mahdollisesti myös komposiittien lujitemateriaalina. Kenaf sopii myös sellun ja paperin valmistukseen. (Nousiainen ja Rissanen 2019, 38-39) Karstausta ajatellen kenafin tilanne ominaisuuksiensa suhteen on saman tyyppinen kuin juutin. Kenafin peruskuitu on suhteellisen lyhyttä, jonka vuoksi pituus voi muodostua ongelmaksi varsinkin tilanteessa, jossa kenafia karstattaisiin yksinään. Muuten kenafin ominaisuudet sopisivat karstaukseen, ainoana rajoittavana tekijänä on tosiaan kuidun lyhyt pituus.

Nokkoskuitua saadaan *Urtica*-suvun kasveista. Karstaukseen nokkonen sopii taulukossa 3 esitettyjen ominaisuuksiensa puolesta loistavasti. Kuitu on sopivan pituista sekä sen lineaaritiheys on 1–300 dtex:in sisällä. Murtovenymä on suhteellisen alhainen, mutta se silti täyttää karstauksen asettamat minimivaatimukset. Nokkonen on myös luja kuitu, joten se kestäisi karstauksen aiheuttaman mekaanisen rasituksen. Nokkoskuidun lujuus on itseasiassa samaa luokkaa paljon karstattavan puuvillan kanssa. Nokkonen on erittäin potentiaalinen vaihtoehto uudeksi karstattujen kuitukankaiden raaka-aineeksi laajemminkin. Nokkosen puolesta puhuu myös sen vaatimattomuus kasvuympäristönsä suhteen. Nokkonen kasvaa monenlaisissakin erilaisissa ympäristöissä. Nokkosen viljely myös Suomen olosuhteissa on mahdollista, jolloin kuitukankaiden raaka-aine olisi mahdollista tuottaa kotimaisena. Nokkosen viljelyssä ei tarvitse käyttää erillisiä keinotekoisia lannoitteita tai torjunta-aineita, jonka lisäksi nokkonen kasvaa hyvin vähällä veden tarpeella. Viljelyn kannalta nokkonen on helppohoitoinen kasvi, jota voidaan korjata samasta pellostasta useita vuosia peräkkäin ilman pelloille tehtäviä suuria muokkauksia. Kaiken tämän lisäksi nokkonen sitoo ilmakehästä hiilidioksidia huomattavia määriä ja omaa ylipäättään todella alhaisen ympäristökuormituksen. (Nokkonen n.d.)

4.3 Lehti-, siemen- ja hedelmäkuidut

Runkokuitujen lisäksi kasvikuituihin kuuluu myös lehti-, siemen- ja hedelmäkuituja. Taulukossa 4 on esitetty lehtikuituihin kuuluvien sisalin, manillan sekä ananaksen, siemenkuituihin kuuluvan kapokin ja hedelmäkuituihin kuuluvan kookoksen ominaisuuksia karstausta ajatellen.

TAULUKKO 4. Lehti-, siemen- ja hedelmäkuitujen ominaisuuksia

SIEMEN-, LEHTI- JA HEDELMÄ KUITUJEN DIMENSIOITA							
Kuidun nimi	Peruskuitu		Kuitukimppu		Kuidun lineaaritiheys (dtex)	Kuidun murtolujuus (cN/tex)	Kuidun murtovenymä (%)
	Pituus (mm)	Halkaisija (µm)	Pituus (cm)	Halkaisija (mm)			
Sisal <i>Avage sisalana</i>	1-5 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	10-40 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	60-100 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	0,1-0,46 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	-	35-45 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	2-3 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Manilla / Abaca <i>Musa textilis</i>	3-12 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	6-46 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	100-200 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	0,01-0,28 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	42-444 Franck 2005, 10	35-65 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	2-4,5 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Kapokki <i>Bombax, Ceiba, Ochrama</i>	10-30 Nousiainen & Rissanen 2019, 33	20-45 Nousiainen & Rissanen 2019, 33	-	-	0,4-0,8 Yan ym. 2012, 3	-	1,5-3,0 Yan ym. 2012, 3
Kookos <i>Cocos nucifera</i>	20 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	12-24 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	10-30 Räisänen ym. 2017, 43	0,1-0,45 Räisänen ym. 2017, 43	500 Franck 2005, 10	20 Nousiainen & Rissanen 2019, 34	16 Nousiainen & Rissanen 2019, 34
Ananas <i>Ananas comosus</i>	3-8 Franck 2005, 325	7-18 Franck 2005, 325	1-9 Franck 2005, 325	-	15-23 Franck 2005, 10	Kuitukimppu: 30-40 Franck 2005, 325	2,4-4,9 Franck 2005, 10

Sisalkuitu kuuluu lehtikuituihin ja se on peräisin *agave sisalana* -kasvin lehdistä. Myös *Henequen* -kasvista saadaan ominaisuuksiltaan ja käyttökohteiltaan sisalkuitua vastaavaa kuitua. Sisalkuidut ovat jäykkiä sekä karkeita. Sisalkuitua käytetään pääasiallisesti erilaisten köysien valmistukseen, mutta myös mattoihin ja säkkeihin sekä jonkin verran lujitekuituna komposiittien ja betonin valmistukseen. (Räisänen ym. 2017, 46) Taulukon 4 mukaan sisalkuitu voisi soveltua karstaukseen muiden ominaisuuksiensa perusteella, mutta ei pituutensa kannalta. Sisalkuitu on peruskuituna liian lyhyttä ja kuitukimppuna aivan liian pitkää.

Manillaa voidaan kerätä *Musa textilis* -kasvin lehtiruodista, eli kyseessä on lehtikuituihin kuuluva kuitu. Kyseinen kasvi kuuluu banaanikasveihin. Monista muistakin banaanikasveista voidaan kerätä kaupallisissa tarkoituksissa kuitua. Manillaa voidaan kutsua myös abacaksi. Manillakuidut ovat lujia, karkeita sekä joustavia. Kuidun laadukkuudesta kertoo sen väri. Kermanvaalea kuitu on laadukas ja harmaa tai ruskea väri puolestaan kertoo huonommasta laadusta. Pääasiallisia käyttökohteita manillakuidulle ovat köydet, säkit, matot sekä korkealuokkainen, vahva paperi. (Räisänen ym. 2017, 46-47) Karstaukseen manillakuidut soveltuvat muilta ominaisuuksiltaan erittäin hyvin, mutta

peruskuidunpituus jää suhteellisen alhaiseksi. Kuitukimpun pituus puolestaan on liian pitkä karstaukseen. Karstauksen asettamat vaatimukset kuitupituudelle vaihtelevat lähteestä riippuen paljonkin ja esimerkiksi Albrecht ym. mukaan 15–50 mm kuitupituus riittäisi karstaukseen (Albrecht ym. 2003, 83). Manillan peruskuidut yltyvätkin melkein tälle asteikoille. Karstauskoneen rakenne ja asetukset määrittävät Manillan tapauksessa paljon. Kuidun sekoittaminen toisiin karstattavissa oleviin kuituihin voi mahdollistaa myös manillan käytön karstatuissa kuitukankaissa.

Kapokkia saadaan malvakasvien heimon puumaisien kasvien siemenkuiduista. Kapokkia käytetään siis yleisnimityksenä. Tekstiiliteollisuudessa käytetään usein *Bombax*, *Ceiba* ja *Ochrama* -kasvien siemenistä saatavia kuituja. Kapokkikuitua käytetään yleensä eri tekstiilituotteiden täytteinä, kuten esimerkiksi patjojen ja tyynyjen täytteenä. Kapokkia voidaan käyttää myös esimerkiksi pelastusliivien ja -renkaiden täytteenä, koska se on äärettömän kevyttä eikä ime itseensä vettä. (Nousiainen & Rissanen 2019, 35) Kapokki on suhteellisen lyhyt sekä kevyt kuitu, jonka lineaaritiheys on taulukon 4 mukaan todella alhainen. Karstauksessa kuidun alhainen lineaaritiheys voi aiheuttaa epätasaista formaatiota sekä kuitujen takkuuntumista ja katkeilua. Kapokkia voikin olla erityisen vaikea, ellei mahdoton, karstata yksinään. Tämä ei silti tarkoita, ettei kapokkia voisi karstata sekoitteena jonkin muun kuidun kanssa.

Kookoskuitu on hedelmäkuitu, jota saadaan *Cocos nucifera* nimisen kasvin hedelmän kuorikerroksesta. (Räisänen ym. 2017, 47) Kookoskuitu soveltuisi karstaukseen erittäin hyvin pituutensa, murtolujuutensa sekä murtovenymänsä kannalta. Ongelmia luo kuitenkin kuidun todella korkea lineaaritiheys, joka on reilusti vaaditun 1–300 dtexin ylitse. Korkean lineaaritiheyden vuoksi kuitu on karkea ja jäykkä, eikä välttämättä taivu karstauksen vaatimalla tavalla.

Ananaskuitua saadaan *Ananas comosus* -kasvin lehdistä, eli kyseessä on lehtikuitu (Franck 2005, 322). Taulukon 4 esittämien ominaisuuksien mukaan, myös ananaskuitu voisi joissain tapauksissa soveltua karstattavaksi, varsinkin sekoitteena muiden kuitujen kanssa. Yksinään ananaskuidun peruskuitu on karstausta ajatellen liian lyhyttä, mutta kuitukimpun pituus kuitenkin on

karstaukseen sopivaa. Ananaskuidun lineaaritiheys, murtolujuus sekä murtovenymä on karstauksen asettamien vaatimusten mukaisia.

4.4 Eläinkuidut, muuntokuidut sekä biopohjaiset synteettiset kuidut

Kasvikuitujen lisäksi muita karstaukseen sopivia biopohjaisia kuituja löytyy niin eläin- ja muuntokuiduista sekä biopohjaisista synteettisistä kuiduista. Taulukossa 5 on esitetty eläinkuituihin kuuluvien villan ja kamelin, muuntokuituihin kuuluvan lyocellin sekä biopohjaisiin synteettisiin kuituihin kuuluvan PLA:n tärkeimpiä ominaisuuksia karstauksen kannalta.

TAULUKKO 5. Muiden biopohjaisten kuitujen ominaisuuksia

MUIDEN BIPOHJAISTEN KUITUJEN DIMENSIOITA					
Kuidun nimi	Peruskuitu		Kuidun lineaaritiheys (dtex)	Kuidun murtolujuus (cN/tex)	Kuidun murtovenymä (%)
	Pituus (mm)	Halkaisija (µm)			
Villa <i>Ovis aries</i>	60-250 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 43</i>	15-41 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 43</i>	1-8 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 25</i>	9 -- 15 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 43</i>	25-35 <i>Nousiainen & Rissanen 2019, 43</i>
Kameli <i>Camelus bactrianus</i>	35-400 <i>Räisänen ym. 2017, 56</i>	16-120 <i>Räisänen ym. 2017, 56</i>	-	17 <i>Räisänen ym. 2017, 59</i>	30 <i>Räisänen ym. 2017, 59</i>
Lyocell	-	-	1,7 <i>Blackburn 2005, 172</i>	38-42 <i>Blackburn 2005, 172</i>	14-16 <i>Blackburn 2005, 172</i>
PLA	Muokattavissa	Muokattavissa	-	320-360 <i>Blackburn 2005, 198</i>	50-55 <i>Blackburn 2005, 199</i>

Villaa saadaan lampaasta (*Ovis aries*) keritsemällä. Villa on tuotetuin eläinkuitu ja nykyään, osin jalostuksenkin vuoksi on olemassa kymmeniä eri lammasrotuja, jotka voivat tuottaa villaa. Eri lammasrodut tuottavat kuitenkin esimerkiksi pituudeltaan, hienoudeltaan, lujuudeltaan, kiilloiltaan sekä kiharuudeltaan erilaista villaa. Lampaiden villa koostuu usein joko pelkästään hienommasta alusvillasta, karkeammasta ja pidemmästä peitinvillasta tai näiden välimallista eli välivillasta. Hienoksi villaksi voidaan kutsua halkaisijaltaan noin 14–23 µm kokoista villaa, jota tuottaa enimmäkseen merinolampaat. Merinovillan käyttökohteita on esimerkiksi korkealaatuiset neule- ja pukukankaat sekä flanellit.

Keskihieno villa on puolestaan halkaisijaltaan hieman isompaa, nimittäin noin 24–34 μm . Peitinvilla on halkaisijaltaan keskihienoakin villaa isompaa, halkaisija voi olla nimittäin jopa yli 40 μm . Peitinvillan kuidut ovat pitkiä, maksimissaan kuitenkin noin 30 cm. Peitinvillasta tehdään karkeampia puku- ja takkikankaita. On olemassa myös lammassrotuja, jotka tuottavat sekavillaa eli peitin- ja alusvillan sekoitusta. (Räisänen ym. 2017, 47-51) Kuitukankaiden karstaukseen villa sopii ominaisuuksiensa puolesta hyvin. Villa on kuitupituudeltaan sekä lineaaritiheydeltään juuri karstauksen asettamien vaatimusten mukaista ja kuidun murtovenymäkin on korkea. Villalla on suhteellisen alhainen murtolujuus, mutta korkean murtovenymän vuoksi villa on kuitenkin kestävä ja kestää karstauksen aiheuttaman mekaanisen rasituksen.

Kaksikyttyräisen **kamelin** (*Camelus bactrianus*) karvasta saadaan myöskin karstaukseen sopivaa tekstiilikuitua. Samalla tavalla kuin lampaistakin, kamelista saadaan niin hienompaa alusvillaa kuin karkeampaa peitinkarvaakin. (Räisänen ym. 2017, 59) Taulukosta 5 nähdään, että kamelista saatava tekstiilikuitu on myös ominaisuuksiltaan samankaltaista kuin villa. Kuidun pituus, lineaaritiheys sekä murtolujuus ovat myös täysin karstauksen asettamien vaatimusten mukaisia. Murtolujuus on tässäkin tapauksessa suhteellisen alhainen, mutta korkea murtovenymä tekee kuidusta kestävä myös karstausta ajatellen.

Lyocell kuuluu selluloosapohjaisiin muuntokuituihin, joka valmistetaan orgaanisten liuottimien avulla kehrumenetelmällä. Viskoosiin verrattuna Lyocell-kuitu on huomattavasti ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Lyocell-kuidun tuotantoprosessiin kuluu aikaa noin viidesosa siitä, mitä viskoosin valmistukseen kuluu eikä lyocellin tuotannossa käytetä myrkyllisiä kemikaaleja. (Räisänen ym. 2017, 95) Lyocellin ekologisuutta puoltaa myös mahdollisuus toteuttaa valmistusprosessi suljetussa kierrossa. (Lyocell n.d) Lyocell soveltuu taulukossa 5 esitettyjen ominaisuuksiensa puolesta kuitukankaiden karstaukseen täydellisesti. Lyocell valmistetaan filamenttikuituna, mutta se voidaan leikata käyttötarkoituksen vaatimaan mittaan. Kuitupituus ei ole siis karstauksen kannalta ongelma. Lyocell omaa myös hyvän murtolujuuden sekä murtovenymän, joten se kestää hyvin karstauksen aiheuttaman mekaanisen rasituksen.

PLA eli **polylaktidi** on biopohjainen polymeeri, joka valmistetaan maitohaposta. Maitohappo voidaan valmistaa erilaisten bakteerikantojen avulla, joita on jalostettu teollisesti. Nämä bakteerikannat käyttävät glukoosia tai sakkaroosia ravintonaan. Maitohappoa voidaan saada myös elintarviketeollisuuden sivuvirroista tai maataloustuotteista. Polylaktidi on monilta ominaisuuksiltaan perinteisten muovien kaltaista ja sitä voidaan myös valmistaa samoilla menetelmillä. (Nousiainen & Rissanen 2019, 89; Pylkkänen, Levón & Kankkunen 2021, 73) Polylaktidi soveltuu kuitukankaiden karstaukseen taulukossa 5 esitettyjen ominaisuuksiensa kannalta erittäin hyvin. PLA on luonnonkuituja lujempaa kuitua, jolla on myös korkea murtovenymä sekä sen kuitupituus on muokattavissa. PLA voidaan valmistaa myös biohajoavana, jolloin se vähentäisi esimerkiksi kertakäyttöisten karstattujen kuitukangastuotteiden hävittämiseen liittyviä ongelmia. Polylaktidista valmistetaan kuitenkin tekstiilikuituja vielä suhteellisen vähän, koska kyseisen kuidun valmistamiseen tarvittava teknologia on kallista sekä kuidun varastointi on hankalaa. Varastoinnin hankaluus johtuu siitä, että polylaktidit hajoavat todella helposti lämmön ja kosteuden vaikutuksesta. (Pylkkänen ym. 2021, 73) Ekologisuutensa ja ominaisuuksiensa vuoksi polylaktidilla on kuitenkin erittäin paljon potentiaalia tekstiilikuituna.

4.5 Kierrätetyt kuidut

Kierrätettyjen kuitujen ominaisuuksia on vaikea määrittellä vielä nykyisinkin. Kierrätyskuidut ovat usein monen eri kuitutyypin, -pituuden ja -laadun seoksia, joiden seassa voi olla myös runsaasti lyhyitä kuituja, katkeamattomia lankoja sekä kangaspaloja. Kierrätyskuitujen sekalainen koostumus hankaloittaa ominaisuuksien mittausta sekä määrittelyä. Kierrätyskuitujen ominaisuuksiin vaikuttaa niiden alkuperä, aiempi tuotantoprosessi ja käyttötarkoitus, tekstiilijätteen laatu sekä käytetty kierrätysprosessi. Usein kierrätyskuidut ovat neitseellisiä kuituja lyhyempiä sekä heikompia, mikä voi osaltaan hankaloittaa kuitujen käyttöä tekstiilisovelluksissa ja etenkin karstauksessa.

Haastateltujen yritysten mukaan mekaanisesti kierrätetyn kuidun käyttö kuitukankaiden valmistuksessa on haasteellista materiaaliyakeen puhtauden ja tasalaatuisuuden varmistamisen ja pölyävyyden vuoksi. Käytettävän materiaalin puhtauden varmistaminen olisi äärettömän tärkeää, mutta mekaanisesti

kierrätettyjen kuitujen tapauksessa vaikeaa. Yritysten mukaan kemiallisesti kierrätetystä kuidusta valmistetut lopputuotteet puolestaan vastaavat usein neitseellisestä materiaaleista valmistettuja tuotteita, mutta haasteen luo kemiallisesti kierrätetyn kuidun saatavuus sekä lopputuotteiden korkea hinta. Yleisesti kierrätyskuitujen yleistymisen haasteena nähtiin myös koko arvoketjun kattavan tuotannon puuttuminen Euroopassa sekä toimijoiden ja kumppanien vähäisyys.

Kierrätetyt kuidut voivat soveltua karstattujen kuitukankaiden raaka-aineeksi, kunhan kierrätyskuidut ovat säilyttäneet noin 15–50 mm kuitupituuden eikä kuitujen seassa ole suurta määrää lyhyitä kuituja mukana. Jotta kierrätyskuidut soveltuvat karstaukseen on myös äärimmäisen tärkeää, että tekstiili on kierrätysprosessissa saatu avattua hyvin eikä kuitujen seassa ole karstausta häiritseviä kankaan paloja tai lankoja. Tällaiset ei-toivotut komponentit eivät karstaudu ja hankaloittavat tasaisen kuituverkon muodostumista. Koska kierrätyskuitujen ominaisuuksia on vaikea määrittellä, on tärkeää, että kierrätyskuitujen valmistaja on selvittänyt ennen kierrätystä kierrätettävän poistotekstiilin materiaaliosuudet sekä jaotellut tekstiilit materiaalijakeiden mukaisesti.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe syntyi tarpeesta kartoittaa uusia ympäristöystävällisempiä raaka-aine vaihtoehtoja kuitukangasteollisuudelle. Tällä hetkellä karstattujen kuitukankaiden valmistuksessa käytetään pääasiassa synteettisiä, uusiutumattomista luonnonvaroista peräisin olevia kuituja, kuten polypropeenaa ja polyesteriä. Uusien ympäristöystävällisempien kuitujen löytäminen fossiilisten tilalle on kuitenkin välttämätöntä kestävämmän tulevaisuuden kannalta. Karstattujen kuitukankaiden valmistuksessa kuituinnovaatioiden testaus päättyy usein siihen, etteivät kuidut sovellu karstaukseen. Mekaanisena prosessina karstausta vaatii kuidulta paljon. Kuidun tulee olla noin 15–50 mm pitkä, lineaariteheydeltään välillä 1–300 dtex sekä sen murtovenymän tulee olla vähintään 2–5 %. Karstauskoneen rakenteella ja asetuksilla voidaan myös vaikuttaa jonkin verran siihen, millaisia kuituja on mahdollista karstata.

Opinnäytetyössä vertailtiin monia biopohjaisia kuituja edellä mainittujen ominaisuuksien kannalta. Potentiaalisimmiksi biopohjaisiksi kuituiksi nousi karstattujen kuitukankaiden näkökulmasta nokkonen sekä polylaktidi. Molemmat kuidut täyttävät karstauksen asettamat vaatimukset täydellisesti sekä omaavat runsaasti muitakin hyviä ominaisuuksia. Nokkonen ei esimerkiksi ole vaativa kasvuympäristönsä suhteen, jolloin se voi kasvaa monenlaisessakin ympäristössä. Myös Suomen olosuhteissa on mahdollista viljellä nokkosta, jolloin kuituraaka-aine karstaukseen olisi mahdollista tuottaa kotimaisena. Nokkonen on helppo viljelykasvi, koska se pärjää vähällä vedellä, eikä se vaadi lisä- ja torjunta-aineiden käyttöä. Nokkosen ympäristökuormitus on alhainen. Polylaktidi on puolestaan maitohaposta valmistettava biopohjainen polymeeri ja se muistuttaa monilta ominaisuuksiltaan täysin perinteisiä muoveja. Käytettävyytensä ja muokattavuutensa vuoksi polylaktidi onkin erittäin kiinnostava tulevaisuuden raaka-aine, jolla on hurja määrä potentiaalia. Polylaktidia voidaan valmistaa myös biohajoavana, jolloin se olisi loistava valinta esimerkiksi kertakäyttöisten kuitukangastuotteiden raaka-aineeksi, vähentäen samalla niiden hävittämiseen liittyviä ongelmia. Polylaktidin käyttöön liittyviä haasteita on kuitenkin vielä olemassa. Polylaktidi esimerkiksi hajoaa lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa, minkä vuoksi esimerkiksi sen varastoiminen on hankalaa.

Ominaisuuksiensa kannalta kuitukankaiden karstaukseen sopivia biopohjaisia kuituja on myös esimerkiksi villa, kameli, lyocell, pellava, hamppu, ananas ja rami. Sekoitteena karstaukseen sopii myös esimerkiksi juutti, kenaf, sisal, manilla, kookos ja kapokki. Luonnonkuituja on olemassa lukematon määrä ja niiden seassa lukemattomia karstaukseen soveltuvia kuituja, joita ei tässä opinnäytetyössä vielä kartoitettu. Opinnäytetyötä varten haastatellut yritykset kuitenkin kertoivat luonnonkuitujen käytännössä pölyävän karstauksessa paljon, mikä hankaloittaa niiden käsittelyä.

Kierrätettyjen kuitujen kannalta ongelmia luo se, että niiden ominaisuuksia on hankala mitata. Yritysten mukaan kierrätetytkin kuidut pölyävät käytännön tuotannossa paljon, mikä osaltaan myöskin hankaloittaa niiden käyttöä. Kierrätettyjen kuitujen kohdalla ongelmia ratkoisi mittausjärjestelmän kehittäminen, jolla näiden kuitujen ominaisuuksia ja materiaaliyhteisyyksiä olisi mahdollista mitata. Tämä auttaisi löytämään uusia käyttömahdollisuuksia kierrätyskuiduille, kun niiden ominaisuudet olisivat selkeästi tiedossa. Kierrätys on tärkeä osa kestävästä kehityksestä ja pikamuodin sekä yleisen kulutuksen jatkuvasti kasvaessa tekstiilien kierrätyksen tehostaminen tulee entistä tärkeämmäksi. Opinnäytetyössä huomattiin, että myös poistotekstiilien keräysjärjestelmät ovat suhteellisen tehottomia ja suurin osa tekstiilijätteestä päätyi polttoon tai kaatopaikalle. Kierrätyksen tehostamiseksi on tehtävä paljon töitä, jotta resursseja ja potentiaalista materiaalia ei hukata savuna ilmaan. Haastateltujen yritysten mielestä haasteita kierrätyskuidun käyttöön luo Euroopassa myös se, ettei koko arvoketjun kattavaa tuotantoa oikein löydy. Toimijoita tarvittaisiin kipeästi lisää. Jotta toimijoita alalle saataisiin lisää, tulisi toiminnan olla kannattavaa. Kannattavuutta parantaisi varmasti se, että kierrätyskuiduille löydettäisiin uusia käyttömahdollisuuksia, jota puolestaan helpottaisi esimerkiksi mahdollisuus tutkia kierrätyskuidun ominaisuuksia paremmin, toimivien mittajärjestelmien avulla.

Kun pohditaan karstattujen kuitukankaiden ympäristöystävällisyyttä kokonaisuutena, tulee kuituraaka-aineen lisäksi pohtia esimerkiksi hukkaa sekä lopputuotteen hävittämistä. Haastateltavien yritysten mukaan sellaiset hukkakuidut, joihin ei ole lisätty mitään kemikaaleja, vaan ovat pelkästään puhdasta kuitua, on helppo palauttaa uudelleen käytettäväksi karstalle.

Haasteena on kuitenkin puolivalmiit materiaalit, jotka sisältävät kuitujen lisäksi myös kemikaaleja. Kuidut tulisi erotella kemikaaleista ennen uudelleen karstausta, mutta tämä on usein hieman hankalaa. Mitä tulee lopputuotteen hävittämiseen käytön jälkeen, niin kierrätys, kompostoitavuus ja biohajoavuus ovat tulevaisuuden termejä. Raaka-aineet ja tuotantotavat tulee tulevaisuudessa pystyä valitsemaan niin, että jokin näistä ehdoista täyttyy.

Biopohjaisten ja kierrätettyjen kuitujen käyttö karstattujen kuitukankaiden valmistuksessa on vielä nykypäivänä suhteellisen vähäistä, mutta tutkimusta aiheen tiimoilta tehdään jatkuvasti. Tämä opinnäytetyö on tehty kirjallisuuskatsauksena, jossa käytännön näkökulmaa antoi sähköpostitse haastatellut yritykset. Tämä työ toimii loistavasti kartoituksena siitä, millaisia biopohjaisia kuituja on olemassa, jotka ominaisuuksiensa kannalta soveltuisivat karstaukseen. Jatkossa aihetta voisi tutkia lisää nimenomaan kierrätyskuitujen näkökulmasta ja enenevässä määrin yhteistyössä yritysten kanssa. Jatkotutkimuksena voisi olla myös tässä työssä löydettyjen potentiaalisten kuitujen toimivuuden testaaminen käytännössä laboratoriomittakaavassa.

LÄHTEET

A new textiles economy. n.d. Redesigning fashion's future. Viitattu 12.05.2025. https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/6d5071bb8a5f05a2/original/A-New-Textiles-Economy-Redesigning-fashion-future.pdf?_gl=1*e2zmoc*_ga*NDA0NTc5NjguMTc0NzA1NjMwMQ..*_ga_V32N675KJX*_czE3NDcwNTYyOTgkbzEkZzAkDDE3NDcwNTYzMDQkajU3JGwwJGgw*_gcl_au*MzYyMjM5NDM5LjE3NDcwNTYzMDI.

Ahirwar, M., Behera, B.K. 2021. Development of hemp-blended cotton fabrics and analysis on handle behavior, low-stress mechanical and aesthetic properties. Viitattu 19.04.2025. <https://doi.org/10.1080/00405000.2021.1909799>

Albrecht, W., Fuchs, H., Kittelmann, W. 2003. Nonwoven Fabrics. Weinheim: Wiley-VCH.

Blackburn, R.S. 2005. Biodegradable and sustainable fibers. England: Woodhead publishing limited.

Dahlbo, H., Rautiainen, A., Savolainen, H., Oksanen, P., Nurmi, P., Virta, M., Pokela, O. 2021. Textile flows in Finland 2019. Viitattu 12.05.2025. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/818466/isbn9789522167873.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

EDANA. n.d. How are nonwovens made? Verkkosivu. Viitattu 25.04.2025. <https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made>

EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles. 2022. Euroopan komissio. Viitattu 12.05.2025. https://environment.ec.europa.eu/document/download/74126c90-5cbf-46d0-ab6b-60878644b395_en?filename=COM_2022_141_1_EN_ACT_part1_v8.pdf

Euroopan parlamentti. 2023. Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? Viitattu 20.04.2025. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>

European Commission. n.d. Bio-based products. Verkkosivu. Viitattu 20.04.2025. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/biotechnology/bio-based-products_en

European Environment Agency. n.d. Biodegradable. Verkkosivu. Viitattu 20.04.2025. <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/biodegradable>

Frank, R.R. 2005. Bast and other plant fibres. England: Woodhead publishing limited.

Ilmasto-opas. n.d. Globaalit nielut. Verkkosivu. Viitattu 20.04.2025. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/globaalit-nielut>

Kamppuri, T. n.d. Biopohjaiset kuidut. Telaketju. Viitattu 20.04.2025.
<https://telaketju.turkuamk.fi/uploads/2020/12/6b05eb88-biopohjaiset-kuidut-selvitys-draft.pdf>

Kamppuri, T., Pitkänen, M., Heikkilä, P., Saarimäki, E., Cura, K., Zitting, J., Knuutila, H., Mäkiö, I. 2019. Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen. Viitattu 20.04.2025.
https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/24225719/VTT_R_00091_19.pdf

Knuutila, K. 2020. Uudet bio- ja kierrätyspohjaiset tekstiilimateriaalit ja niiden ominaisuuksien testaaminen. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja-sarja. Viitattu 20.04.2025.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/344627/JAMKJULKAISUJA2822020_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Lyocell. n.d. Tekstiilikuituopas. Suomen tekstiili & muoti. Viitattu 12.03.2025.
<https://www.stjm.fi/tekstiilikuidut/lyocell/>

Materials Market Report. 2023. Textile Exchange. Viitattu 12.05.2025.
<https://textileexchange.org/app/uploads/2023/11/Materials-Market-Report-2023.pdf>

Nokkonen. n.d. Suomen tekstiili & muoti. Verkkosivu. Viitattu 29.04.2025.
<https://www.stjm.fi/tekstiilikuidut/nokkonen/>

Nousiainen, P., Rissanen, M. 2019. Tekstiilikuidut – tekniset ja älykkäät tekstiilit. Tampere: Tammertekniikka.

Polypropeeni. n.d. Tekstiilikuituopas. Suomen tekstiili & muoti. Viitattu 12.03.2025. <https://www.stjm.fi/tekstiilikuidut/polypropeeni/>

Pylkkänen, K., Levón, S., Kankkunen, E. 2021. Tekstiilikuituopas. Suomen tekstiili & muoti. Viitattu 29.04.2025. https://www.stjm.fi/wp-content/uploads/2022/02/Tekstiilikuituopas_korjattu.pdf

Quist, Z. 2021. Does 'Biobased' Always Mean 'More Sustainable'? Viitattu 20.04.2025. <https://ecochain.com/blog/is-biobased-always-sustainable/>

Räsänen, R., Rissanen, M., Parviainen, E., Suonsilta, H. 2017. Tekstiilien materiaalit. Helsinki: Oy Finn Lectura Ab.

Russel, S.J. 2022. Handbook of Nonwovens (2nd Edition). E-kirja. Uud. painos. Chantilly: Elsevier.

Sinijärvi, T., Peltoniemi, S., Jyrälä, M., Sahimaa, O., Pylkkänen, K., Tchitcherin, M. 2024. Kierrätystekstiilikuituselvitys. Suomen Tekstiili & Muoti ry. Viitattu 25.04.2025. https://www.stjm.fi/wp-content/uploads/2024/03/STJM_Kierratyskuituselvitys_2024-03-26_WEB.pdf

Yan, J., Xu, G., Wang, F. 2012. A study on the quality of kapok blended yarns through different processing methods. Viitattu 19.04.2025.
<https://doi.org/10.1080/00405000.2012.746270>

Zuiderveen, E. A. R., Kuipers, K.J.J., Caldeira, C., Hanssen, S.V., Hulst, M.K., Jonge, M.M.J., Vlysidis, A., Zelm, R., Sala, S., Huijbregts, M.A.J. 2023. The potential of emerging bio-based products to reduce environmental impacts. Viitattu 20.04.2025. <https://www.nature.com/articles/s41467-023-43797-9>