



# Kuitukangasprosessit ja niiden erityspiirteet

Silja Ritanen

OPINNÄYTETYÖ  
Syyskuu 2021

Biotuote- ja prosessiteknikan tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikan tutkinto-ohjelma

RITANEN, SILJA:  
Kuitukangasprosessit ja niiden erityispiirteet

Opinnäytetyö 83 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Syyskuu 2021

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli koostaa kattava selvitys kuitukankaiden valmistusmenetelmistä. Työn toimeksiantajana oli Valmet Automation Oy, jossa halutaan oppia ymmärtämään kuitukangasprosesseja ja niiden ominaisuuksia. Työn sisältöä on tarkoitus käyttää koulutusmateriaalina. Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa pääasiallisina lähteinä käytettiin alan kirjallisuutta.

Kuitukankaiden valmistusprosessi jaetaan neljään osaan, jotka ovat raaka-aineen valmistelu, rainan muodostus, rainan sidonta ja tarvittaessa viimeistely. Rainan muodostus voidaan suorittaa drylaid-menetelmillä, joihin kuuluvat karstaus- sekä airlaid-prosessit, wetlaid-menetelmillä tai spunmelt-menetelmillä, joihin kuuluvat spunbond- ja meltblown-prosessit. Rainan sidontamenetelmät jaetaan mekaanisiin, kemiallisiin ja termisiin prosesseihin. Viimeistelyillä saadaan lisäarvoa jatkojalostajille toimitettaville kuitukankaalle, ja viimeistelyt riippuvat käyttökohteesta. Kuitukankaalle yleisesti on monia testausstandardeja, joista Suomessa käytetään EN-ISO- ja NWSP-standardeja. Loppukäyttökohteet määräävät kuitukankaalta vaaditut ominaisuudet, ja monille eri tuotekategorioille on omat testausstandardinsa.

Kuitukankaiden tuotanto ja tarve tulee kasvamaan tulevaisuudessa muun muassa väestön ikääntymisen ja maailmantalouden kasvun myötä. Myös COVID-19 on lisännyt kuitukankaasta valmistettujen kasvomaskien kysyntää. Kuitukankaat ovat erittäin ajankohtainen aihe, mutta suomenkielistä kirjallisuutta on hyvin vähän. Jatkoselvityksenä olisi hyvä kartoittaa Suomessa toimivien jatkojalostajien laatuvaatimukset ostamilleen kuitukankaalle. Myös uusien menetelmien ja raaka-aineiden tarkemmat kuvaukset ovat tarpeen.

## **ABSTRACT**

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

RITANEN, SILJA:  
Nonwoven Processes and Their Special Features

Bachelor's thesis 83 pages, appendices 5 pages  
September 2021

---

The purpose of this thesis was to create a comprehensive report of nonwoven manufacturing processes. The commissioner of this thesis was Valmet Automation Oy where they wish to learn the theory behind nonwoven processes and to understand the special features of each process. The contents of this thesis are meant to be used as a training material. The thesis was conducted as a literature review and the main source of information was books and reliable internet sources.

Nonwoven manufacturing process is divided into four parts, which are raw material preparation, web forming, web bonding and finishing if necessary. The web formation can be carried out by using drylaid methods, which include carding and airlaid processes, wetlaid methods or spunmelt methods, which include spunbond and meltblown processes. Web bonding methods are divided into mechanical, chemical, and thermal methods. Nonwoven finishing is done to give extra value to the fabric and the finishing treatments depend on the end use. It was found out that there are many standards for nonwovens. The product determines the needed properties and many different product categories have their own standards.

Nonwoven production and demand are bound to grow in the future because of the aging population and economic growth. Nonwovens are a very topical issue but there is not much written in Finnish about the theory. Next it would be beneficial to find out what manufacturing processes Finnish nonwoven producers use and which properties the downstream producers require of the nonwovens they use. Also, information about the newest methods and technologies, and fibers need to be researched.

---

Key words: nonwoven, process, textile industry

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VALMET AUTOMATION OY .....	7
3	KUITUKANKAAT .....	8
	3.1 Yleistä.....	8
	3.2 Raaka-aineet.....	11
	3.3 Tuotanto maailmalla ja Suomessa .....	14
4	RAINAN VALMISTUS.....	17
	4.1 Drylaid.....	17
	4.1.1 Karstaus .....	18
	4.1.2 Airlaid .....	24
	4.2 Wetlaid.....	28
	4.3 Spunmelt.....	34
	4.3.1 Spunbond.....	35
	4.3.2 Meltblown .....	40
5	RAINAN SIDONTA .....	46
	5.1 Mekaaninen sidonta .....	47
	5.1.1 Neulaus .....	47
	5.1.2 Ommelsidonta .....	52
	5.1.3 Vesineulaus.....	54
	5.2 Kemiallinen sidonta .....	58
	5.3 Terminen sidonta .....	64
	5.3.1 Kuuma- ja hihnakalanterointi .....	65
	5.3.2 Kuumailmasidonta .....	68
	5.3.3 Ultraääni- ja lämpösäteilysidonta .....	69
6	VIIMEISTYKSET.....	71
7	KUITUKANKAIDEN LAATU .....	72
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	74
	LÄHTEET .....	76
	LIITTEET .....	79
	Liite 1. SFS-EN ISO -standardit .....	79
	Liite 2. NWSP-testaukset .....	80

**ERITYISSANASTO**

kuitu	säie, syy
filamentti	pitkä, jatkuva kuitu
polymeeri	suuri ketjuuntunut molekyyli, muovi
raina	kuitukankaan valmistuksessa syntyvä jatkuva tasomainen tuote
(kuitu)orientaatio	(kuitujen) suuntautuminen
formaatio	pienimittakaavainen neliömassavaihtelu
ekstruuder	suulakepuristin, käytetään polymeerien prosessointiin
synteettinen kuitu	tekokuitu
sylinteri	tela, valssi
perforoitu	rei'itetty
dispersio	seos, jossa hienokajoinen aine on sekoitettu toiseen aineeseen
silloittaminen	poikittaisten sidosten eli siltojen muodostaminen ketju- maisten molekyylien välille

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Valmet Automation Oy, jonka tarpeisiin työ tehdään. Valmet Automation on tuottanut mittalaitteita paperiteollisuuden käyttöön ja yrityksellä on nyt kiinnostusta mittalaitteiden valmistamiseen myös kuitukangasteollisuuteen. Ymmärrys kuitukankaiden valmistusprosesseista on tällöin tarpeen.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia koulutusmateriaali, joka käsittelee kuitukankaiden valmistusmenetelmiä ja prosessien ohjausta sekä laatua. Työssä luodaan myös katsaus uusiin innovaatioihin, kuten uusiin raaka-aineisiin. Työssä tavoitteena on selvittää mahdolliset ongelmakohdat eri prosesseissa sekä prosesseissa mahdollisesti ilmeneviä laatuongelmia. Työssä pohditaan joidenkin tuotekategorioiden tärkeimpiä laatuominaisuuksia ja miten näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa valmistusprosessin aikana.

Opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus, jossa koostetaan selkeä ja tarpeeksi kattava kokonaisuus kuitukankaiden valmistusprosesseista. Lähteenä on pyritty käyttämään mahdollisimman tuoretta tietoa. Työssä kerrotaan ensin kuitukankaista yleisesti raaka-aineet ja käyttökohteita. Tarkastellaan myös hieman kuitukankaiden tuotantoa maailmanlaajuisesti ja Euroopassa, sekä kartoitetaan Suomen kuitukangasvalmistajia ja jatkojalostajia. Työn pääpaino on kuitukankaiden valmistusmenetelmissä, joista käsitellään ensin kuitukangasrainan valmistusmenetelmät ja sen jälkeen rainan sidontamenetelmät. Menetelmien kuvauksessa keskitytään selittämään prosessi kokonaisuudessaan selkeästi ja ymmärrettävästi ja jätetään esimerkiksi tuotantoon liittyvät laskut ja kaavat käsittelemättä. Lopuksi luodaan katsaus viimeistykseen ja laadunhallintaan erilaisten lopputuotekategorioiden vaatimusten perusteella.

## 2 VALMET AUTOMATION OY

Valmet-konserni toimittaa ja kehittää teknologiaa, automaatiota ja palveluja paperi-, sellu- ja energiateollisuuden tarpeisiin. Palveluihin kuuluu muun muassa kunnossapito ja voimalaitosten parannukset ja varaosat. Työntekijöitä on 14000 ympäri maailmaa. Joulukuussa 2013 sellu-, paperi- ja voimantuotannon liiketoimintalinjat irtautuivat Metso Oyj:stä ja nimi vaihtui Valmet Oyj:ksi. Valmetilla on neljä liiketoimintalinjaa, jotka ovat palvelut, automaatio, sellu- ja energia ja paperit. (Valmet 2021.) Valmet valmistaa myös kuitukangasteollisuudelle teknologiaa esimerkiksi hunajakennoteloja, kuivausjärjestelmiä, kuumailmasidontakoneita sekä rullaimia ja uudelleenrullaimia. (Valmet n.d.)

Valmet Automation Oy on Valmetin automaatioliiketoimintalinja, joka työllistää 1917 henkilöä. Tärkein markkina-alue on EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka), Pohjois-Amerikan ollessa toiseksi merkittävin. Valmet Automationin asiakkaat ovat sellu-, paperi- ja kartonki-, energia- ja prosessiteollisuuden yrityksiä, joille toimitetaan automaation ja tiedonhallinnan järjestelmiä, sovelluksia ja palveluja. Merkittävimmät tuoteratkaisut ovat automaatiojärjestelmät (DCS), teollisuuden sovellukset, laadunhallintajärjestelmät (QCS), mittalaitteet, teollisen internetin ratkaisut ja automaatiopalvelut. Automaation myynti kattaa noin 20 prosenttia liiketoimintalinjan liikevaihdosta ja loput 80 prosenttia tulee ratkaisujen ja palvelujen myynnistä. (Valmet 2021.)

### 3 KUITUKANKAAT

Standardin SFS-EN ISO 9092 Nonwovens. Vocabulary mukaan kuitukangas on kuiduista valmistettu, pääasiallisesti tasomainen rakenne, joka on saatu pysymään koossa fyysisin tai kemiallisin menetelmin. Neulotut tuotteet, kudotut kankaat tai paperinvalmistusmenetelmillä valmistetut tuotteet eivät lukeudu kuitukankaisiin.

#### 3.1 Yleistä

Tekstiilituotteet voivat olla valmistettu langoista tai kuiduista. Perinteisissä tekstiilien valmistusprosesseissa kuiduista valmistetaan ensin lankaa, jota sitten käytetään neulonnassa tai kudonnassa. Tästä poiketen kuitukankaat valmistetaan suoraan kuiduista. Koska kuitukankaiden valmistamiseen ei tarvitse kuluttaa aikaa langan valmistukseen, kuitukankaiden tuotantonopeus on korkeampi verrattuna perinteisten tekstiilien valmistukseen. Lisäksi kuitukankaiden valmistus on hyvin pitkälle automatisoitua ja täten tarvitaan vähemmän työvoimaa sekä energiaa. (Karthik, Praba Karan & Rathinamoorthy 2016, 1.) Verrattuna muihin tekstiilituotteisiin, kuitukankailla on monimutkaisempi kolmiulotteinen rakenne ja kuitujen sijoittuminen, sillä kone- tai poikkisuunnan lisäksi kuidut voivat olla orientoituneet myös pystysuoraan. Kuitukankaat voivat olla hyvin ohuita harsomaisia kankaita tai paksuja kerrostettuja mattoja ja tyypillisesti kuitukankaat ovat huokoisia ja läpäisykykyisiä. (Horrocks, Anand & Subhash 2016, 164.) Kuitukankaat, rainat ja niistä valmistetut tuotteet voidaan jaotella niiden valmistustavan, rakenteen tai käyttöön perusteella. Jaottelu on esitetty taulukossa 1.

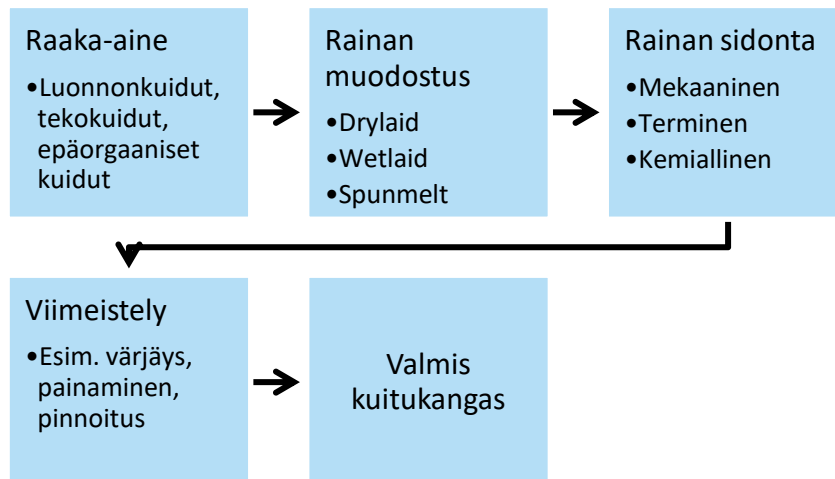
TAULUKKO 1. Kuitukankaiden jaottelu (Nurmi & Tuomisto 1993, 11–13).

Valmistustavan mukaan	Rakenteen mukaan	Käyttöön mukaan
Drylaid	Samansuuntaisrainat	Kertakäyttötuotteet
Wetlaid	Ristikkäisrainat	Kestotuotteet
Spunmelt	Sekarainat	



Valmistustavan mukaan lajittelu tehdään sen mukaan, mitä rainan valmistusmenetelmää on käytetty. Rakenteen mukainen jaottelu tehdään kuitujen sijoittumissuunnan mukaan. Käyttöään mukaan jaetut tuotteet ovat joko kertakäyttötuotteita, jotka hävitetään käytön jälkeen tai kestotuotteita, joita voidaan käyttää moneen kertaan. Kertakäyttötuotteita ovat muun muassa vaipat, suojavaatetus (takit, kasvot, pää), terveydenhoitotuotteet, leikkaussalituotteet, kosteuspyyhkeet, sideharsot, siivousliinat ja siivouspyyhkeet sekä suodattimet. Kestotuotteisiin kuuluvat esimerkiksi takkien välivuorit, sisustuskaikat, geotekstiilit ja kestopaperit. (Nurmi & Tuomisto 1993, 11–13, 42–45.)

Kuitukankaiden valmistusprosessi jaetaan neljään perusvaiheeseen, jotka ovat raaka-aineen valmistelu ja syöttö, rainan muodostus, rainan sidonta ja viimeistely (Albrecht, Fuchs & Kittelmann 2003, 139). Kuitukankaiden valmistus on yksinkertaistettuna kuvattu kuviossa 1.



KUVIO 1. Kuitukankaan valmistusprosessi.

Perinteisesti rainan valmistusprosessit on jaettu drylaid eli kuivamenetelmiin (karstaus ja airlaid), wetlaid eli märkämenetelmiin ja spunmelt eli kehrumenetelmiin (spunbond ja meltblown), mutta uusien tekniikoiden kehittyessä, on lajittelusta tullut monimutkaisempaa. Rainan sidonta voidaan toteuttaa lämmön avulla (koheesiosidonta tai terminen sidonta), mekaanisesti tai kemiallisesti (adheesiosidonta). Sidonnan tavoitteena on saada valmistusprosessista tullut kuituraina pysymään kasassa ja säilyttämään rakenteensa. (Horrocks ym. 2016, 165.) Jatkojalostajat valmistavat rullatavarana myydyistä kuitukankaista lopulliset tuotteet

erinäisin keinoin, kuten pituusleikkaamalla, laminoimalla, pinnoittamalla, painamalla tai taittamalla. Tuotteet pakataan ja toimitetaan jälleenmyyjille tai loppukäyttäjille. (Horrocks ym. 2016, 164.)

Useilla kuitukankaiden valmistuksessa käytetyillä menetelmillä on juurensa tekstiiliteollisuuden keksinnöissä. Esimerkkeinä tällaisista ovat karstaus, kuitujen sidonta neulaamalla sekä kemiallinen kuitujen sidonta. Kuitukankaiden kehitys alkoi vuonna 1936 Weinheimissä. Drylaid-menetelmä kehitettiin ensimmäisenä ja drylaid-kuitukankaiden tuotanto alkoi vuonna 1948. Vuonna 1956 kehitettiin ensimmäiset spunbond-menetelmät, joissa käytettiin polyamidia. Wetlaid-kuitukankaiden tuotanto aloitettiin vuonna 1973. Vesineulausmenetelmän kehitys alkoi vuonna 1988 ja vuonna 1999 kehitettiin ensimmäinen jatkuva vesineulattu mikrokuitukangas. (Karthik ym. 2016, 5–6.)

Kuitukankaat ovat erittäin monipuolisia ja niillä on monia erilaisia käyttökohteita. Niitä käytetään imukykyisissä hygieniatuotteissa, kuten vaiפוissa, inkontinenssisuojissa ja terveysiteissä, maataloudessa muun muassa kasvien ja viljelysten suojaukseen, rikkaruohojen kasvun estämiseen ja maisemointikankaana. Auto-teollisuudessa kuitukankailla on käyttökohteita autojen sisätiloissa esimerkiksi akustiikan hallinnassa, eristyksissä, matoissa, verhoilussa, turvatyynyissä ja ilmansuodattimissa, sekä autojen moottoreissa muun muassa öljyn suodattimissa. Vaatteissa ja jalkineissa kuitukankaita käytetään väliliinoina, kenkien ja laukkujen eri osissa, pesuohjelapuissa ja kertakäyttöalusvaatteissa. Rakennusteollisuudessa käyttökohteita ovat muun muassa lämmön- ja äänieristykset, tuulensuojakankaat ja aluskatteet. Elektroniikkatuotteissa kuitukankaita hyödynnetään esimerkiksi kaapeleissa, polttokennoissa ja akuissa. Elintarviketeollisuudessa kuitukangasta käytetään elintarvikekääreissä, teepusseissa, kahvisuodattimissa, säkeissä ja pusseissa. Kuitukankaat soveltuvat käytettäväksi myös erilaisissa rakennusteknisissä kohteissa, kuten teiden ja raiteiden rakennuksessa, patojen, kanaalien ja lampien vuorauksessa, putkistoissa, sedimentaation ja eroosion hallinnassa, urheilukenttien pinnoitteissa sekä asfaltin pinnassa. Kotitalouksissa merkittäviä käyttökohteita ovat petivaatteiden osat, verhot, matot ja mattojen pohjat, suojapeitteet, mopit, pöytäliinat, pölynimuripussit ja pyyheliinat. (Nonwovens in daily life n.d)

### 3.2 Raaka-aineet

Tärkeimpänä kuitukankaiden raaka-aineena ovat nimensä mukaisesti erilaiset kuidut. Kuitujen lisäksi muita kuitukankaiden valmistuksessa käytettäviä aineita ovat sideaineet eli binderit sekä lisä- ja viimeistysaineet. Sideaineilla kuidut sidotaan kiinni toisiinsa. Viimeistystoimenpiteet ja -aineet taas riippuvat loppukäyttökohteesta. Kuitukankaissa erilaiset lisäaineet voivat olla hyvin merkittävässä roolissa. Lisäaineet voidaan lisätä kuituihin tai filamentteihin rainan levityksen aikana. Esimerkkejä käytetyistä lisäaineista ovat lämmöstä aktivoituvat jauheet ja absorbentit. Monet lisäaineet lisätään kuitenkin vasta kuiturainan sitomisen jälkeen. Raaka-aineiden valinta on lopputuotteen kannalta hyvin merkittävä, sillä sen ominaisuudet määräytyvät hyvin pitkälle raaka-aineiden ominaisuuksien perusteella. (Karthik ym. 2016, 27.)

Kuidut voivat olla luonnonkuituja, kuten puuvilla, tai tekokuituja, joista polypropeeni ja polyesteri ovat käytetyimmät. Tekokuitujen suosio selittyy sillä, että niitä voidaan valmistaa juuri tiettyyn käyttökohteeseen sopivaksi. (Wulfhorst, Gries & Veit 2006, 167.) Lähes kaikkia tunnettuja kuituja on jossain vaiheessa käytetty kuitukankaiden valmistusmateriaalina.

Viskoosi ja muut selluloosapohjaiset muuntokuidut, kuten lyocell, ovat myös usein käytettyjä kuituja ja niiden osuus on ollut kasvussa. Luonnonkuidut ja muut tekokuidut kuin polypropeeni ja polyesteri ovat jääneet vähäisemmälle käytölle, mutta joissakin erityiskohteissa etenkin luonnonkuiduilla on kysyntänsä. Raaka-aine määrää kuidun, ja hyvin pitkälle myös valmiin kankaan, ominaisuudet ja valmistusprosessin vaikutus on pienempi. (Wulfhorst, Gries & Veit 2006, 167.) Taulukossa 2 on joidenkin kuitumateriaalien ominaisuuksia.

TAULUKKO 2. Kuituja ja niiden ominaisuuksia (Karthik ym. 2016, 15–19; Nurmi & Tuomisto 1993, 32–34; Russell 2007, 9–10; Suomen Tekstiili & Muoti n.d).

Kuitu	Ominaisuudet
Polypropeeni (PP)	Edullinen, reagoimaton, homeenkestävä, helppo lämpösidoittava, vettähylyvä
Polyesteri (PES)	Erittäin luja, huono hengittävyys, sileä ja viileä tuntu, helposti nyppyyntyvä, kohtalainen venyvyys, sähköistyvä
Polyeteenitereftalaatti (PET)	Edullinen, vettähylyvä, kimmoisa, erittäin luja, hyvä hankauslujuus
Polyamidi (PA)	Luja, vettähylyvä, korkea repäisylujuus, hyvä hankauslujuus, sähköistyvä, huono hengittävyys
Polylaktidi (PLA)	Kompostoitava, hyvä lujuus, hyvä UV-kesto
Viskoosi (CV tai VI)	Pehmeä, biohajoava, imukykyinen, ei sähköisty, hengittävä, keskinkertainen venyvyys
Lyocell (CLY)	Pehmeä tuntu, suhteellisen kestävä, ei sähköisty, hengittävä, keskinkertainen venyvyys
Puuvilla (CO)	Imukykyinen, helppo työstettävyys
Raakasellu	Imukykyinen, edullinen, Wetlaid-kankaissa esisidonnassa
Lasi (GF tai GL)	Luja, jäykkä, hyvä sään-, palon- ja lämmönkesto, reagoimaton, eristyskykyinen, vaikea sitoa
Nanokuidut	Pieni tiheys, suuri pinta-alan ja painon suhde, korkea huokostilavuus, pienihuokoinen

Yleisesti voidaan sanoa, että luonnonkuidut ovat imukykyisempiä kuin tekokuidut, jotka puolestaan ovat vahvempia ja tasalaatuisempia. Tekokuitujen pituus ja poikkileikkauksen muoto voidaan valita niiden valmistuksessa, mikä selittää niiden suosion. (Turbak 1993, 142.)

Nanokuidut ovat erittäin ohuita, halkaisijaltaan alle 100 nm, kuituja. Ne ovat suhteellisen uusia materiaaleja kuitukankaissa. Niillä on monia tärkeitä käyttökohteita, kuten lääketieteelliset tuotteet, suodattimet, pyyheliinat, henkilökohtaisen hygienian tuotteet, komposiitit, asusteet, eristeet sekä käyttö energian varastoinnissa. Erityisesti suodatuksessa niiden ominaisuudet ovat eduksi, joten aerosolisuodattimet, kasvomaskit ja suojavaatetus ovat esimerkkejä nanokuitupohjaisista kuitukangastuotteista. (Karthik ym. 2017, 18.)

Eryityisesti imukykyä tarvitsevilla käyttökohteilla käytetään usein erittäin imukykyisiä polymeerejä eli SAP:eja (Superabsorbent Polymers). SAP-materiaali pystyy imemään jopa 300 kertaa oman painonsa verran nestettä ja pitävät sen sisällään. Suurin osa SAP:eista on natrium polyakrylaattia ja niitä on saatavilla rakeisessa muodossa sekä kuituina. (What is SAP – superabsorbent polymers n.d.)

Viime aikoina on ollut Suomessakin kehitteillä uusia ekologisia tekstiilikuituja. Näitä ovat Spinnovan Spinnova-kuitu, Infinited Fiberin Infinna-kuitu, Aalto-yliopiston ja Helsingin yliopiston Ioncell-kuitu, Metsä Springin Kuura-kuitu, Fortumin Bio2Textile-kuitu sekä Biocelsol. Kuiduilla on paljon yhteistä, mutta valmistustavat ovat erilaiset. (Suomen Tekstiili & Muoti 2021.)

Spinnova-kuitu saadaan hienontamalla sellumassaa mikrofibrilloiduksi selluloosaksi. Kuitu on luja ja sillä on hyvä lämmöneristävyys. Infinna-kuitu valmistetaan selluloosakarbonaattimenetelmällä tekstiilijätteestä tai selluloosapitoisesta jätteestä. Kuitu on biohajoavaa ja sitä voidaan käyttää kuten mitä tahansa tekstiilikuitua langan tai kankaan valmistuksessa. Ioncell-kuidut valmistetaan tekstiilijätteestä, puusta tai kierrätyspaperista ja -pahvista. Valmistusprosessissa liuotetaan selluloosa ioniseen nesteeseen ja kuidut kehrätään ilmarakokehruumenetelmällä. Ioncell-kuitu on pehmeä, silkkimäinen ja sillä on erinomainen lujuus myös märkänä. Kuura-kuidun valmistus perustuu kuivaamattoman paperisellun suoraliuotukseen uudella ionisella nesteellä. Ominaisuuksiltaan kuitu muistuttaa lyocellia. Bio2Textile-kuidun raaka-aineena on oljesta erotettu selluloosa. Biocelsol valmistetaan pääasiassa puun liukosellusta, mutta myös paperisellusta ja selluloosasta, joka on erotettu puuvillaa sisältävästä tekstiilijätteestä. Selluloosa käsitellään entsyymeillä, liuotetaan ja kehrätään kuiduksi märkäkehruumenetelmällä. Kuitu muistuttaa ominaisuuksiltaan viskoosia, mutta sillä on huomionpi kosteudenimukyky. Kuidusta valmistettu materiaali on lämmin ja hyvin laskeutuva. (Suomen Tekstiili & Muoti 2021.)

### **Sideaineet**

Kuitukankaiden sidonnassa käytettävät sideaineet ovat tavallisesti polymeerisiä yhdisteitä. Sideainetta valittaessa tulee huomioida, että sideaineen pitää pystyä kastelemaan kuitu ja lisäksi sideaineella ja kuidulla tulisi olla mahdollisimman samanlainen polaarisuus, jotta sideaine tarttuu kuituun. (Karthik ym. 2016, 20)

Sideaineet voivat olla nesteitä, jauheita tai kuituja. Nestemäiset sideaineet ovat polymeeriliuoksia. Yleisimmät näistä ovat akryylit ja erilaiset kopolymeerit. Jauhemaisia sideaineita ovat polyolefiinit ja polyesterit. Sideaineena käytetyt kuidut ovat joko liukenevia, sulavia tai liimaavia. (Nurmi & Tuomisto 1993, 34–36).

Suurin osa sideaineena käytetyistä latekseista tehdään vinyyleistä, kuten polyvinyylisetaatista, polyvinyylidikloridista, styreeni-butadieenihartsista, butadieenista ja polyakryylista tai näiden yhdistelmistä. Lateksien suosiota sideaineena selittää niiden edullisuus, monipuolisuus, helppokäyttöisyys ja tehokkuus. (Karthik ym. 2016, 132.)

### **3.3 Tuotanto maailmalla ja Suomessa**

Kuitukankaiden kysyntä tulee nousemaan tulevaisuudessa ja sen myötä myös tuotanto tulee kasvamaan. Syntyvyys, väestön vanheneminen sekä kulutustottumusten ja investointien kasvaminen lisäävät lähes kaikkien kuitukangastuotteiden tarvetta. (MET Magazine 2020.)

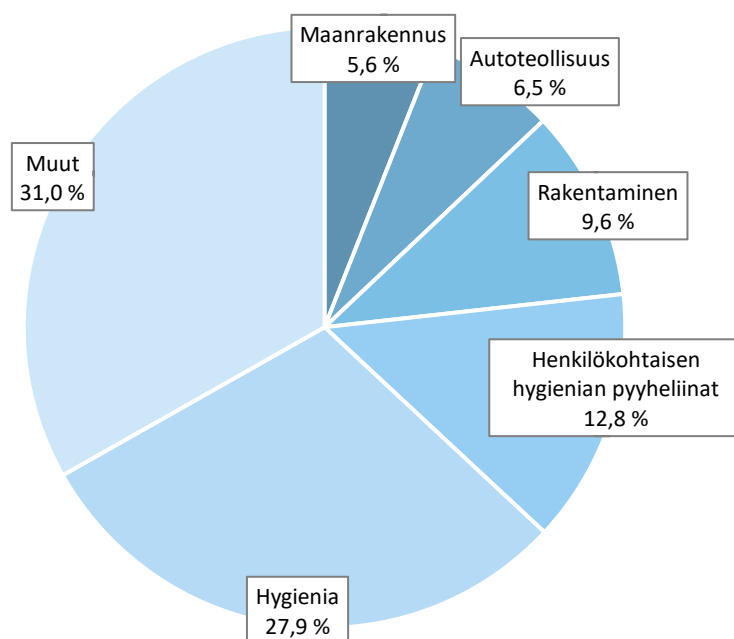
Viime vuosikymmeneen saakka kuitukangasteollisuus on ollut pääasiallisesti keskittynyt Eurooppaan, Pohjois-Amerikkaan ja Japaniin, sillä näillä alueilla kuitukangastechnologia on syntynyt ja kehittynyt. Nykyään kuitukankaita valmistetaan maailmanlaajuisesti. Aasia on nykyään ylivoimaisesti suurin kuitukankaiden tuotantoalue ja vuonna 2018 lähes puolet maailman kuitukangastuotannosta oli Aasiassa. Kiina on nykyisin hallitseva tuottaja sekä Aasiassa että maailmanlaajuisesti. Pohjois-Amerikan kuitukangastuotanto on jäänyt hieman jälkeen Aasiasta ja Suur-Euroopasta, mutta tuotannon ennustetaan nousevan tulevaisuudessa. (MET Magazine 2020.)

Globaalisti imukykyisten hygieniatuotteiden tuotanto on ollut suurinta. Pyyheliinat, suodatinkankaat, ajoneuvoteollisuus, rakennusteollisuus ja huonekaluteollisuus ovat seuraaviksi suurimmat markkinasegmentit. (MET Magazine 2020.)

Spunmelt ja drylaid ovat maailmanlaajuisesti eniten käytetyt valmistusmenetelmät ja vuonna 2018 niiden osuus yhdessä oli 87 % kuitukankaiden kokonaistuotannosta (MET Magazine 2020). EDANA:n (2019a) mukaan airlaid-kuitukankaiden tuotanto on ollut pitkällä aikavälillä kasvavaa. Airlaid- ja wetlaid-kuitukangas- tuotannot jäävät kuitenkin huomattavasti drylaid- ja spunmelt-kuitukankaiden tuotannosta (MET Magazine 2020).

Vuonna 2018 kuitukankaiden tuotanto Suur-Euroopassa oli 2,7 miljoonaa tonnia. Ylivoimaisesti suurin tuotantomaa oli Saksa. Toisena oli Turkki, jonka tuotantomäärä oli vain hieman yli puolet Saksan tuotannosta ja kolmantena Italia. Yksittäinen markkina-alue, joka vuonna 2019 kasvoi eniten, oli pöytäliinat ja toisena merkittävänä alueena oli elektroniikkamateriaalit. Monet suurimmat markkina-alueet, kuten maanrakennus ja autojen sisätilamateriaalit, olivat laskusuunnassa. (EDANA 2019a; EDANA 2019b.)

Suur-Euroopassa merkittävimmät markkinasegmentit tuotantomäärien perusteella vuonna 2018 olivat hygienia, henkilökohtaisen hygienian pyyheliinat ja rakennusteollisuus. Kuviossa 3 on esitetty 7 suurinta markkinasegmenttiä. (EDANA 2019b.)



KUVIO 2. Vuoden 2018 suurimmat kuitukankaiden markkinasegmentit Euroopassa (EDANA 2019b).

Suomessa yksi suurimmista kuitukankaiden valmistajista on Suominen Oyj. Suominen valmistaa rullatavarana kuitukankaita, joista jatkojalostetaan esimerkiksi kosteuspyyhkeitä. Suomisen kuitukankaat on valmistettu pääasiassa karstaamalla ja sidottu vesineulaamalla. Lisäksi Suomisella on kaksi wetlaid-teknologiaa hyödyntävää tehdasta. (Motiva 2017, 2; Suominen Oyj 2021, 3, 29). Ahlstrom-Munksjö Oyj on toinen suuri valmistaja. Ahlstrom-Munksjön kuitukangastuotteita ovat muun muassa suodatinmateriaalit ja lääketieteelliset kankaat. Ahlstrom-Munksjön käyttämiin kuitukankaiden valmistusmenetelmiin kuuluvat ainakin wetlaid-, spunbond- ja meltblown-menetelmät. (Ahlstrom-Munksjö Oyj n.d.). Ahlstrom-Munksjö ja Suominen aloittivat yhteistyön vuonna 2020. (Suominen 2021, 5, 16).

Muita Suomessa kuitukankaita valmistavia yrityksiä ovat Intermedius Oy, Dafecor Oy ja Fiblon Oy. Intermedius valmistaa karstaamalla ja neulaamalla polyesterihuopaa kierrätyskuiduista sekä jalostaa teknisiä kankaita ja tukikankaita (Intermedius n.d.; Intermedius 2019). Dafecor valmistaa karstaamalla ympäristötuotteita ja teollisuuspyyhkeitä tekstiiliteollisuuden ylijäämätekstiilistä ja kierrätystekstiilistä (Dafecor n.d.). Porissa toimiva Fiblon valmistaa airlaid-menetelmällä polyesteristä ja viskoosista Fibra-kuitukangaspyyheliinoja ja 100 % viskoosista biohajoavia Bio Fibra -liinoja. (Fiblon Oy 2017; Fiblon Oy n.d.).

Joitain suomalaisia jatkojalostajia ja heidän tuotteitaan ovat:

- Delipap Oy: hygienia tuotteet, vaipat
- Jukka Packalen Oy: Tiprella-kuitukangasliinat
- Filterpak Oy: ilmansuodattimet, kasvomaskit
- Lumi Dental Oy (Lumi Medical): kasvomaskit
- DesiNgMasK Oy: kasvomaskit
- Oy Lifa Air Ltd: ilmansuodattimet, kasvomaskit
- Fredman Group: Carita-kuituliinat ammattikeittiöön
- Hypap Oy: sairaalatekstiilit, tekniset kuitukankaat, laudeliinat
- PolarWipe Oy: kuitukangasmonitoimipyhkeet

(Delipap Oy n.d.; Jukka Packalen Oy n.d.; Filterpak Oy n.d.; Lumi Medical n.d.; DesiNgMasK Oy n.d.; Lifa Air n.d.; Fredman Group n.d.; Hypap Oy n.d.; PolarWipe Oy n.d.)



## 4 RAINAN VALMISTUS

Kuitukankaiden valmistusmenetelmät jaetaan drylaid-, wetlaid- ja spunmelt-menetelmiin. Kuitukankaan valmistus on yleensä jatkuva prosessi, jossa rainan valmistus ja rainan sitominen tapahtuvat peräkkäin erillisillä koneilla. Raina on ohut tasomainen kerros kuituja ja rainan paksuutta voidaan lisätä kerrostamalla niitä päällekkäin. (Karthik ym. 2016, 34.)

Wetlaid ja drylaid ovat aikaisemmin olleet eniten käytetyt menetelmät rainan muodostuksessa, mutta nykyään spunmelt-menetelmät ovat vieneet suosiota wetlaid-menetelmiltä. Drylaid-menetelmien etuna on niiden monipuolisuus ja prosessin joustavuus, sekä laaja tuotevalikoima. Ensimmäisillä kuivamenetelmillä oli paljon yhteistä huovutustekniikoiden kanssa ja esimerkiksi kuitukankaidenkin valmistuksessa käytetyn karstausten menetelmän juuret ovat tekstiiliteollisuudessa. Wetlaid-menetelmä on kehitetty paperiteollisuuden prosessien pohjalta ja sillä saadaan aikaan tasaisia kuiturainarakenteita, joilla on hyvät läpivirtausominaisuudet. Spunmelt-menetelmät perustuvat muoviteollisuudesta peräisin olevaan polymeerien ekstruusioon. (Karthik ym. 2016, 34–35; Russell 2007, 5.)

### 4.1 Drylaid

Drylaid-menetelmät jaetaan karstausta- ja airlaid-prosesseihin. Karstauksessa kuidut erotellaan ja suunnataan mekaanisesti konesuuntaan karstojen avulla, kun taas airlaid-prosessissa kuitujen levittämiseen käytetään ilmaa.

#### **Kuitujen esivalmistelu**

Ennen varsinaista rainan muodostusta karstaamalla tai airlaid-menetelmällä raaka-ainekuidut täytyy valmistella, jotta saavutetaan lopputuotteelle tavoitellut ominaisuudet, mahdollisimman hyvä laatu, korkea tuotannon nopeus ja alhainen hinta. Esivalmistelun tarkoitus on puhdistaa ja sekoittaa kuidut. Valmistelu vähentää myös kuituvaurioita rainan valmistusprosessin aikana. (Albrecht ym. 2003, 141; Karthik ym. 2016, 37.)

Kuidun valmistelun perusvaiheet ovat paalin avaaminen, kuitujen annostelu, sekoittaminen, hienoavaus ja syöttörainan muodostaminen. Kuitujen avaaminen on tärkein osaprosessi kuitujen valmistelussa. Se kuinka paljon kuituja pitää avata riippuu kuidusta, kuidun hienoudesta, suoruudesta ja jäykkyydestä. Tämän vuoksi samoilla asetuksilla ei voida valmistaa erilaisia kuituja. Konelinjaston koonpano riippuu kuidun tyypistä. Esimerkiksi synteettisille kuiduille käytetty sekoitinlinja koostuu paalien syötöstä tai avaajayksikköparista, joista kuitu päätyy kuljetusverkolle. (Albrecht ym. 2003, 141; Karthik ym. 2016, 37–38.)

Raaka-aine toimitetaan tehtaalte tiiviinä kuitupaaleina. Paalin avaajaksi kutsutussa koneyksikössä paalit avataan ja niiden sisältämät kuidut sekoittuvat hie-man. Kuidut jatkavat eteenpäin avattaviksi ja puhdistettaviksi hienoavaajien avulla. Synteettiset kuidut eivät tarvitse yhtä paljon avausta kuin esimerkiksi puu-villa- ja viskoosikuidut. Hienoavaajassa kuidut kulkevat telasarjojen läpi ja telojen pinnalla olevat piikit tai terät avaavat ja hajottavat kuitukimppuja. Imuputki siirtää avatut kuidut sekoittajalle. (Karthik ym. 2016, 39–40.)

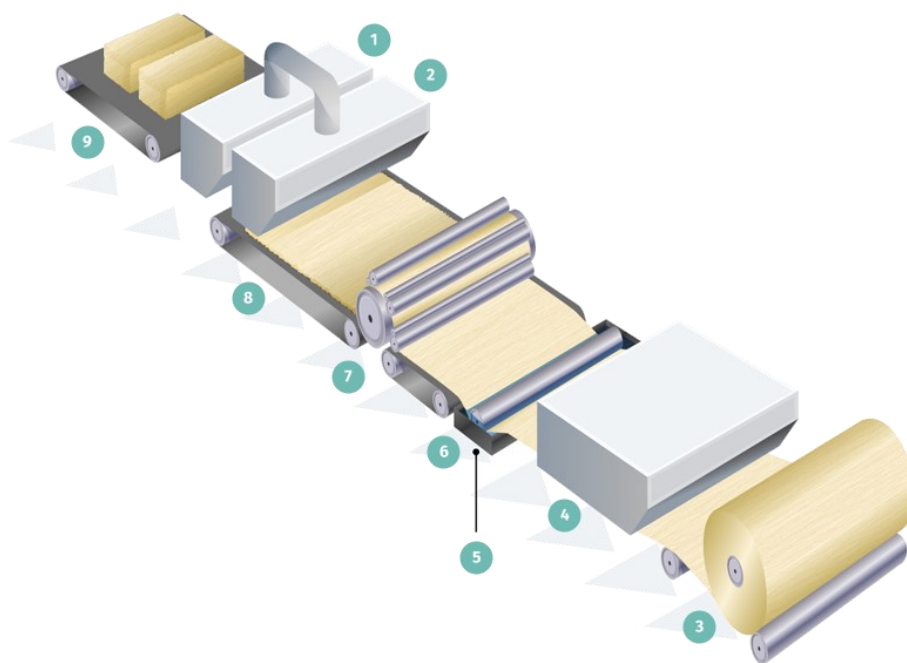
Sekoitus on erittäin tärkeää etenkin luonnonkuiduille, joiden laadussa on vaihte-lua kasvuolosuhteista riippuen. Sekoittajassa on useita erillisiä silloja, joihin kui-dut pakataan. Silloista puretaan tasaisesti kuituja syöttöhihnalle, joka kuljettaa ne seuraavaan prosessivaiheeseen. Linjassa voidaan myös käyttää sekoittajia, joissa kahdesta kuuteen erilaista kuitua voidaan sekoittaa keskenään. Tämä mahdollistaa laajemmat käyttökohteet valmiille kankaalle, kun eri kuitujen omi-naisuuksia voidaan hyödyntää. (Karthik ym. 2016, 40–42.)

#### **4.1.1 Karstaus**

Karstauksen tehtävänä on erottaa avauksesta tulleista kuitukimpuista mahdolli-simman hyvin yksittäiset kuidut, sekoittaa kuidut laatuerojen tasaamiseksi ja muodostaa tasainen raina, jolla on tasainen neliömassa. Avatut kuidut syötetään karstoille syöttöputkella. Syöttöputken pääasiallinen tehtävä on muodostaa tasai-nen kuitumatto, jonka karstaaminen on mahdollista. (Karthik ym. 2016, 45.)

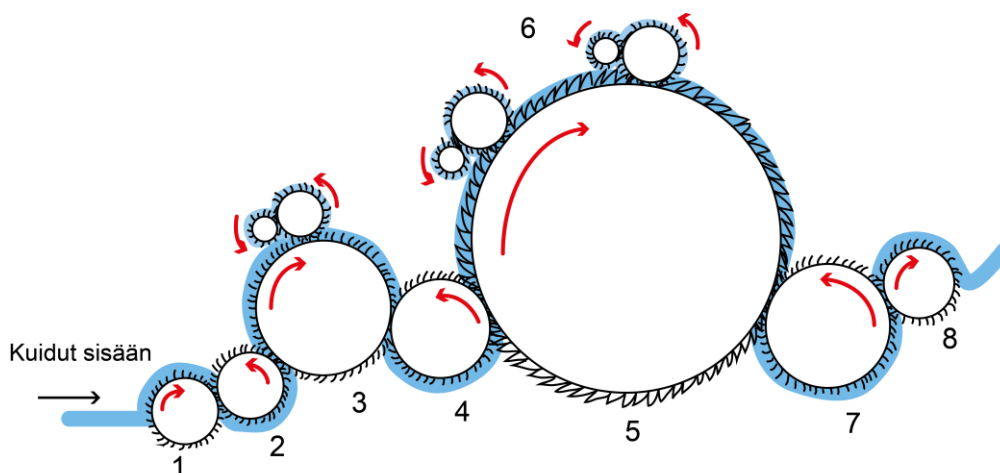
Käytännössä mikä tahansa kuitu, jota vain voi karstata, soveltuu kuitukankaiden valmistukseen karstausprosessilla. Karstauksessa polyesteri on laajimmin käytetty raaka-aine, koska se on suhteellisen edullista ja se soveltuu moniin erilaisiin käyttökohteisiin. Polypropeeni on etenkin raskaiden ja kestävien kankaiden merkittävä raaka-aine. Lääketieteellisissä ja hygieniatuotteissa viskoosi on hyvin yleinen johtuen sen hyvästä kosteuden imukyvästä. (Russell 2007, 16.)

Karstauksessa avatuista kuitukimpuista muodostetaan raina tasokarstan tai pyörivien telakarstojen avulla. Kuvassa 1 on esitetty eräs karstatun kuitukankaan valmistusprosessi kokonaisuudessaan. Ensin kuitupaalit (9) avataan (1) ja avatut kuidut syötetään (2) kuljetushihnalle (8), josta ne päätyvät karstalle (7). Karstauksen ja levityksen jälkeen raina kastellaan (5) sideaineella (6) ja kuivataan (4). Lopuksi valmis kangas rullataan (3).



KUVA 1. Esimerkki karstausprosessista (EDANA n.d.).

Useimmiten käytetyt karstatyypit ovat telatyyppi tai kääntötelatyyppi, mutta samansuuntaisrainoissa käytetään yleensä pyöriviä tasokarstoja. Telakarstassa on suuri pääsylinteri, jonka pinnalla on kiemuralla ohutta ja terävää rautalankaa. Telakarstan rakenne on yksinkertaistettuna esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Yksinkertaistettu esimerkki telakarstasta (Albrecht ym. 2003, 148; Kart-hik ym. 2016, 46).

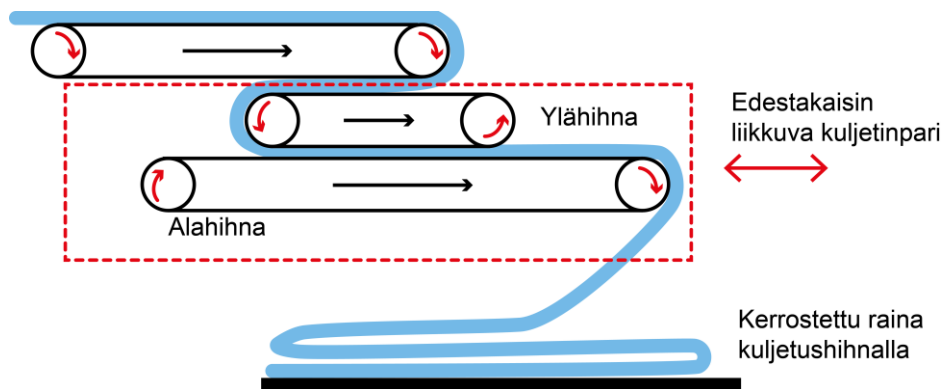
Sisäänottotela (1) ja syöttötela (2) ottavat syöttösuppilosta tulevan kuitulevyn mu-kaansa, joista se kuljettuu syöttövalssille (3). Siirtotela (4) siirtää kuidut pääsylin-terille (5). Pääsylinterin yläpuolella on pienempiä rautalangalla päällystettyjä te-loja (6), joiden tehtävä on suoristaa kuidut konesuuntaan. Näiden työstötelojen takana sijaitsevat irrotustelat, jotka ottavat osan työstötelan kuiduista ja palautta-vat ne takaisin pääsylinterille ja siitä eteenpäin seuraavalle telaparille. Pääsylin-terin edessä on yksi tai kaksi kuorintavalssia (7), jotka poistavat tietyn osuuden kuiduista. Tästä seuraa kuitujen tiivistyminen, joka myös aiheuttaa kuitujen sitou-tumista. Työstötelojen ja pääsylinterin rautalankapiikit ovat erisuuntaiset. Kuitu-kimppu tarttuu osittain työstötelaan ja jää osittain kiinni pääsylinteriin. Telojen pyöriessä, kuitukimput repeytyvät ja erottuvat – eli karstaantuvat. Irrotustela irrot-taa kuidut. Tämä toistuva sarja on karstauksen pääperiaate. Kuorintavalssi siirtää kuidut antovalssille (8), joka taas puolestaan siirtää karstatut kuidut rainan levi-tykseen. (Karthik ym. 2016, 45–47.)

### Rainan levitysmenetelmät

Kuidut tulevat yleensä karstauksesta siten, että suurin osa niistä on konesuuntais-esti (samansuuntaisesti eli parallel laid). Syntyneellä rainalla on tyypillisesti hyvä vetolujuus, alhainen venyvyys ja matala repeytymisluku konesuunnassa ja päinvastoin poikkisuuntaisesti. (EDANA n.d.) Tällaisilla karstauskoko-panoilla saavutetaan korkeimmat tuotantonopeudet, mutta rainan neliömassa on rajalli-nen. Menetelmällä valmistetaan useimmiten kevyitä kuitukankaita, joita käyte-tään esimerkiksi hygieniatuotteissa. Raina voidaan myös kerrostaa, mikäli se on

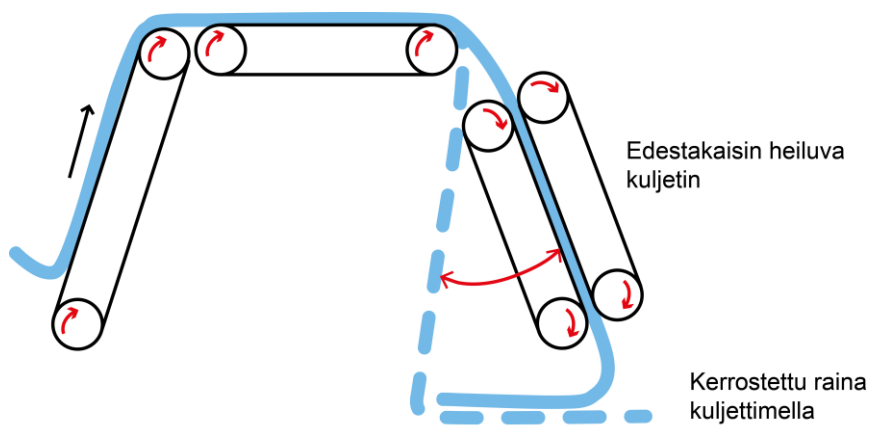
muutoin liian ohutta ja samalla parannetaan rainan tasaisuutta. (Horrocks ym. 2016, 166.) Kerrostaminen tapahtuu käyttämällä useampaa karstaa asennettuna peräkkäin, jolloin aina seuraavan karstan kuituraina levitetään edelliseltä karstalta tulleen päälle. (Karthik ym. 2016, 57.)

Rainat voidaan myös levittää kerroksittain siten että ne ovat toisiinsa nähden ristikkäin (crosslaid). Ristikkäislevitys on yleisimmin käytetty rainojen kerrostusmenetelmä. Ristikkäislevityksen periaate on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Vaakatasoinen ristikkäislevitys (Albrecht ym. 2003, 163; Russell 2007, 68).

(Risti)laskostajaksi (crosslapper) kutsuttu laite ottaa rainan karstalta ja kuljettaa sitä edestakaisin hihnalla, jolloin rainaan tavallaan muodostuu siksak-kuvio. Laskostaja koostuu kahdesta kuljetushihnasta, joiden välissä raina kulkee. Toinen vaihtoehto ristikkäislevitykseen on pystysuuntainen laskostaja eli camelback, joka on esitetty kuvassa 4. Camelback-menetelmässä laskostaja liikkuu edestakaisin heilurimaisella liikkeellä. (Karthik ym. 2016, 58.)



KUVA 4. Camelback-laskostaja (Albrecht ym. 2003, 162; Karthik ym. 2016, 59).

Ristikkäisrainat ovat vahvoja poikkisuuntaan ja heikompia konesuuntaan. Ristikäiset kuitukankaat ovat kuitenkin yleensä paksuja ja tällöin vetolujuus on riittävä kaikkiin suuntiin. Tämän menetelmän etuna on myös se, että laskostajan avulla saadaan rainasta halutun levyistä. (Horrocks ym. 2016, 167–168; Albrecht ym. 2003, 161.) Taulukossa 3 on samansuuntaislevityksen ja ristikkäislevityksen vertailu.

TAULUKKO 3. Karstatun rainan levitysmenetelmien vertailu (Karthik ym. 2016, 62).

Samansuuntaislevitys	Ristikkäislevitys
Karstan leveys määrittää rainan leveyden, jolloin 2–4 metriä on maksimileveys.	Jopa 30 metrin levyiset kuitukankaat ovat mahdollisia.
Poikkisuuntaan heikot lujuusominaisuudet verrattuna konesuuntaan.	Lujuusominaisuudet ovat tasaisemmat kumpaankin suuntaan.
Edullinen alkuinvestointi.	Kallis investointi, koneiden hinnat ovat korkeat.

Samansuuntais- ja ristikkäislevityksessä raina on jotakuinkin kaksiulotteinen, eli kuidut ovat sijoittuneet x-y-akselien suuntaisesti. Tällaisten kuitukankaiden puristuksen ja siitä palautumisen sietokyky on huonompi kuin monilla muilla huokoisilla materiaaleilla. Pystyrainoissa osa kuiduista saatetaan asettumaan kohtisuoraan vaaka-akseliin nähden, jolloin saadaan aikaan hyvillä puristuksen kesto-ominaisuuksilla varustettu kolmiulotteinen kuitukangas. (Horrocks ym. 2016, 168–169.)

### **Karstausprosessin ohjaus**

Karstauksessa tärkeitä parametrejä ovat rainan neliömassa ja paksuus sekä niiden vaihtelut, konenopeus, kuitujen orientaatio. Kuitujen orientaatiota voidaan hallita mekaanisesti käyttämällä tiivistäviä tai sekoittavia sylinterejä (Horrocks ym. 2016, 166).

Ristikkäisrainoilla rainan paksuus määräytyy laskostuksen ja kuljetushinnan keskinäisten nopeuksien perusteella. Menetelmän heikkouksena on se, että rainasta

tulee usein paksumpi reunoiltaan kuin keskeltä. Tätä voidaan korjata ohjelmoimalla laskostajan kuljetin liikkumaan hitaammin rainan keskikohtalla ja nopeammin reunoilla. Ongelmaksi myös voi muodostua laskostajan ja rainan kuljettimen nopeuksien yhteensovittaminen. Laskostajan nopeutta ei voi muuttaa rajattomasti ja rainan on suotavaa liikkua maksimituotantonopeudellaan, jotta rainasta ei tule liian paksua. (Horrocks ym. 2016, 167–168.) Rainan levitysnopeuteen vaikuttavat tekijät ovat rainan tavoiteltavat ominaisuudet, kuitutyypin, kuidun koko, kuidun joustavuus, rainan paino ja tuotanto-olosuhteet (Karthik ym. 2016, 57).

Merkittävä tekijä, joka vaikuttaa kuitukankaan ulkonäköön, lujuuteen ja muihin ominaisuuksiin, on rainan tasalaatuisuus. Tyypillisen kuitukankaan painon odotetaan vaihtelevan eri kohdista mitattuna  $\pm 2,5$  %. Rainan tasaisuus riippuu suoraan karstauksen tasaisuudesta ja laskostettujen kerrosten määrästä. Erilaiset syöttöjärjestelmät vaikuttavat rainan tasalaatuisuuteen karstalla. Jatkuvassa tilavuusohjatussa syötössä syöttösuppilossa olevan materiaalin määrä pysyy tietyssä painossa. Kuitujen määrää tarkkaillaan valokennojen tai paineanturien avulla ja materiaalin virtaamaa säädellään sen mukaan. Mikropunnitusjärjestelmällä varustettu syöttösuppilo on suunniteltu vähentämään syötön vaihtelua. Mikroprosessori säätää koko järjestelmää, johon kuuluu herkkä punnituslevy. Todellista massaa vaa'alla verrataan jatkuvasti tarvittavaan massaan ja kun se saavutetaan, mikroprosessori avaa punnituslevyn, jolloin materiaali pääsee syöttöputkeen. Tällä kokoonpanolla syötön vaihtelua voidaan vähentää huomattavasti. Automaattipunnituksessa karstoille menossa oleva kuitulevy kulkee vaa'an yli ja sen paksuutta tarkkaillaan herkällä kuormapalkkianturilla. Palkkiin kohdistuva voima antaa signaalin, jolla hallitaan syöttötelojen nopeutta. (Karthik ym. 2016, 49–53.)

Karstauksen jälkeen rainan paksuusvaihtelua voidaan mitata kahden telan avulla. Ylempi pieni tela toimii mittaustelana siten, että rainan paksuusvaihtelun aiheuttama telan pystysuuntainen liike huomioidaan. Tavoitearvosta poikkeavaa arvoa käytetään syöttötelan nopeuden säätämisessä. (Karthik ym. 2016, 53.)

## **Tuotteet**

Karstaustuotteen prosessi soveltuu monien erilaisten tuotteiden materiaalien valmistukseen. Esimerkkinä polypropeenista valmistetut raskaat ja kestävät tuotteet, kuten

lattiapinnoitteet ja geotekstiilit, suodattimet ja kevyet kertakäyttöiset hygienia tuotteet, sekä viskoosista valmistetut lääketieteen ja hygienia sektorin tuotteet. Puuvillasta karstaamalla valmistettuja kuitukankaita käytetään naisten hygienia tuotteiden ja joidenkin imukykyisten lääketieteellisten tuotteiden materiaalina. (Russell 2007, 16, 18.)

#### **4.1.2 Airlaid**

Toisin kuin karstauksessa, joka perustuu karstojen mekaaniseen kuitujen erottelamiseen ja levitykseen, airlaid-menetelmässä rainanmuodostuksessa hyödynnetään ilmaa. Tavoitteena on saada luotua rainaan mahdollisimman yhtenäiset lujuusominaisuudet kaikkiin suuntiin nähden. (Wulfhorst ym. 2006, 172.)

Airlaid-prosesseilla voidaan työstää monia erilaisia kuituja ja niiden seoksia, joten menetelmä on hyvin monipuolinen. Käytännössä mikä tahansa kuitumateriaali soveltuu raaka-aineeksi. Se, mikä on tärkeää, on kuitujen pituus, sillä menetelmä soveltuu parhaiten vain lyhyille kuidulle. Pitkistä kuiduista on vaikea saada valmistettua tarpeeksi tasaista rainaa. (Karthik ym. 2016, 63, 69.) Myös airlaid-menetelmässä kuidut tarvitsevat esivalmistelua.

Taulukossa 4 on airlaid-menetelmän hyvät ja huonot puolet. Karstaukseen verrattuna prosessissa on huono kuitujen erottelukapasiteetti, joten kuitujen tulee olla hyvin esivalmisteltuja. Kevyiden kankaiden valmistaminen suurilla nopeuksilla on hyvin vaikeaa. Lisäksi menetelmä ei sovellu hyvin ohuiden, pitkien tai kiharien kuitujen työstämiseen. Prosessi tarvitsee hallitut ympäröivät olosuhteet, muutoin ongelmana on staattisuuden kertyminen. Antistaattisten öljyjen lisääminen on vaikeaa. Ilmakuljetuksessa eri paksuiset kuidut tapaavat erottua toisistaan. Airlaid-laitteistot eivät ole kovin joustavia raaka-aineen vaihdossa. Lisäksi mainittakoon, että pneumaattiset järjestelmät eivät ole helppoja hallittavia. (Karthik ym. 2016, 69–70.)



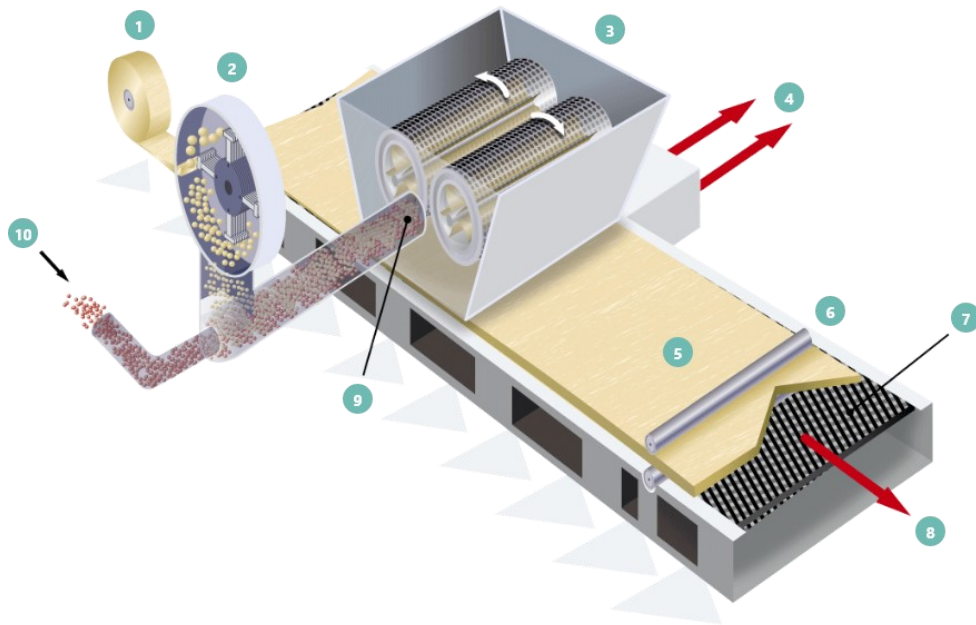
TAULUKKO 4. Airlaid-menetelmän edut ja haitat (Karthik ym. 2016, 69).

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Samat ominaisuudet kaikkiin suuntiin.</li> <li>+ Kolmiulotteiset rakenteet mahdollisia, kun neliömassa on yli 50 g/m<sup>2</sup>.</li> <li>+ Muhkeat highloft-rakenteet.</li> <li>+ Useat kuitutyypit soveltuvat raaka-aineksi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rainan tasaisuus riippuu kuidun avaamisesta ja erottelusta.</li> <li>- Epätasainen ilmavirta putkissa aiheuttaa rainan rakenteen vaihtelua.</li> <li>- Kuitujen sotkeutuminen ilmakuljetuksessa aiheuttaa rainavikoja.</li> </ul>

### Airlaid-prosessi

Airlaid-prosessin tärkeimmät yksiköt ovat syöttö, avaus ja sekoitus sekä rainan muodostus. Kuitujen avaaminen mekaanisesti (kuidutus) ennen rainan muodostusta on erityisen merkittävässä asemassa, sillä kuiturakenne ei avaudu muutoin riittävästi. Erilaisia vaihtoehtoja kuitujen kuljettamiseen avausyksiköstä rainan muodostukseen ovat vapaa pudotus, paineilma, imu, suljettu ilmakierto sekä paineilman ja imujärjestelmän yhdistelmä. (Karthik ym. 2016, 63; Wulfhorst ym. 2006, 172.)

Kuvassa 5 esitetyssä airlaid-prosessissa lyhyet, alle 15 mm pitkät, kuidut (1) syötetään ensin kuiduttimeen (2), jonka jälkeen ne sekoitetaan lämpösulavien kuitujen (10) kanssa. Kuituseos syötetään ilman kuljettamana (9) rainan muodostusyksikköön (3), jossa perforoidut vastakkaisiin suuntiin pyörivät telat sekoittavat kuidut tasalaatuisiksi seokseksi. Syöttötelat syöttävät kuituja avausteloille tasaisella nopeudella. Syöttöteloihin tarttuminen ja niitä samanaikaisesti irti repivän avaustelan vaikutuksesta kuidut avautuvat. Avaustelan terävässä hammastuksessa kuidut kulkeutuvat eteenpäin, kunnes telan pinnalle kohdistettu voimakas ilmavirta sieppaa ne mukaansa. Ilmavirta erottaa kuidut ja kuljettaa yksittäiset kuidut ilmaa läpäisevälle hihnalle tai seulaverkolle (7), jonka alapuolelle kohdistuu imu. Rainan (5) alkaessa muodostua, uudet kuidut asettuvat aiempien päälle ja ilmavirta tiivistää rainaa kulkiessaan sen läpi (4). Tiivistimellä (6) raina tiivistetään ennen, kuin se jatkaa matkaansa sidontaan (8). (Albrecht ym. 2003, 171; EDANA n.d.; Horrocks ym. 2016, 170; Karthik ym. 2016, 63–65.)



KUVA 5. Havainnekuva Airlaid-prosessista (EDANA n.d.).

Kuidut tai kuitukimput asettuvat kuljetinhihnalle erillään, jolloin kuidut eivät pääse tarttumaan toisiinsa kuten karstatuissa rainoissa. Tämän vuoksi airlaid-rainat ovat heikkoja ja kevyiden kankaiden viimeistelyssä saattaa ilmetä vaikeuksia. Kuidut ovat tietyssä kulmassa kankaan tasoon nähden, mistä johtuu airlaid-rainojen hyvä puristuksen kesto. (Karthik ym. 2016, 64.) Rainan ominaisuudet ovat luonnostaan samat sen joka suuntaan. Sattumanvaraisen kuituorientaation ansiosta rainan eristyskyky ja paksuus lisääntyvät. (Karthik ym. 2016, 65–66.)

Satunnaiskarstaus-menetelmässä on asennettu peräkkäin monta aerodynaamisiin periaatteisiin perustuva karstatelaa, sekä niihin kuuluvat työstötelat ja irrotustelat. Ensimmäiseltä karstalta osa kuiduista siirtyy ilman avulla putkeen ja loppuosa kuiduista siirtyy seuraavalle karstalle, joka taas siirtää osan kuiduista putkeen ja osan seuraavalle karstalle. Kunkin karstan putkesta tulleet kuidut asettuvat samalle rei'itetyle hihnalle. Kuidut kerrostuvat toistensa päälle satunnaiseen järjestykseen hihnan liikkuessa. Menetelmällä saadaan tehtyä leveydeltään 1–2,5 metristä rainaa. (Karthik ym. 2016, 66.)

Kevyiden highloft -rainojen valmistamiseen voidaan käyttää highloft -lisälaitetta, jolla rainan paksuutta ja tilavuutta saadaan lisättyä. Highloft-kuitukankaat ovat

ilmavia, pehmeitä ja usein paksuja. Highloft-kuitukankaita käytetään paljon terveydenhuollon alueella ja niillä voidaan myös korvata perinteisiä tekstiilejä. (Karttik ym. 2016, 66; Nurmi & Tuomisto 1993, 61–63.)

### Airlaid-prosessin ohjaus

Rainan ominaisuuksiin vaikuttavat kuitujen ominaisuudet sekä käytetty laitteisto ja tuotanto-olosuhteet. (Albrecht ym. 2003, 171–173.) Taulukossa 5 on kunkin osa-alueen vaikuttajat.

TAULUKKO 5. Rainaan vaikuttavat tekijät (Albrecht ym. 2003, 173).

Kuitu	Materiaalin kunto
Hienous	Avauksen aste
Poikkileikkaus	Kosteus
Pituus	Jakauma
Pituusjakauma	Kuitujen irtonaisuus
Suoruus	
Pinta	
Sähköiset ominaisuudet	
Lujuus	
Joustavuus	
Taivutuslujuus	
Laitteisto	Tuotanto-olosuhteet
Valitut laitteet	Tuotantonopeus
Laitteiden järjestys	Pyörimisnopeudet
Avaustelojen määrä	Kuljettimen nopeus
Laitteiden ominaisuudet	Ilman virtaama
Telojen pyörimisnopeudet	Ilman teho
Hihnan pinta	Tavoiteltu neliömassa
Ilmavirran nopeus	
Ilmavirran määrä	

Kuljetusverkon reikien koko valitaan suhteessa käytettyjen kuitujen kokoon, kuidut eivät saa päästä rei'istä läpi, mutta ilman täytyy päästä poistumaan muodostuvan kuiturainan läpi. Laadukkaan rainan tuottamiseksi laitteiston ja käyttöparametrien on oltava kullekin kuitumateriaalille optimoidut. Optimoinnista huolimatta,

airlaid-rainoja ei saada yhtä tasaisiksi kuin esimerkiksi karstattuja rainoja. Epätasaisuus on paremmin havaittavissa kevyissä kankaissa, joten airlaid-menetelmää käytetäänkin useimmiten raskaiden rainojen valmistukseen. Kuiturainan tiivistymisaste riippuu ilman virtausnopeudesta ja läpi virtaavan ilman massasta. Paksumu kankaita valmistettaessa rainan leveyttä voidaan kaventaa, jotta kuidut päätyvät tiettyyn kulmaan rainan tasoon nähden. Tällöin paksuuden ja massan välinen suhde kasvaa ja puristuksen ja palautumisen kesto paranee. (Albrecht ym. 2003, 171–173.)

### **Tuotteet**

Riippuen valituista kuiduista ja sidontamenetelmistä, airlaid-kankaat soveltuvat laajasti monenlaisiin käyttökohteisiin. Highloft-kankaita käytetään muun muassa vaatetus- ja huonekaluteollisuudessa, vanuina, lääketieteellisinä kankaina ja hygienialiinoina, geotekstiileinä ja kattuhuopina, suodattimina, eristeinä ja pyyheliinoina. (Karthik ym. 2016, 70.) Imukykyisten kertakäyttöisten hygieniatuotteiden valmistamiseen käytetään usein kuidutetun selluloosamassan ja tekokuitujen sekoitusta (Horrocks ym. 2016, 170).

## **4.2 Wetlaid**

Wetlaid- eli märkälevitysmenetelmän periaate on hyvin saman kaltainen kuin paperinvalmistusprosessissa. Koneet ovat myös kehitetty tasoviirakoneen pohjalta tavoitteena hyödyntää kuitukankaiden valmistuksessa paperinvalmistuksen hyviä puolia, kuten korkeaa tuotantonopeutta ja mahdollisuutta sekoittaa eri kuitumateriaaleja. (Turbak 1993, 140; Russell 2007, 114.) Prosessilla saavutetaan hyvin korkeita linjanopeuksia (jopa yli 500 m/min) samalla kun tuotetaan neliömasaltaan erittäin tasalaatuista kuitukangasta. Wetlaid-menetelmän kankaat ovat kaikista kevyiden kuitukankaiden valmistusprosesseista tasaisimpia. (Horrocks ym. 2016, 170–171.)

INDAn määritelmän mukaan tuote on wetlaid-kuitukangas, eikä paperi, jos se täyttää ainakin toisen seuraavista kriteereistä:

- Enemmän kuin 50 massaprosenttia kuiduista on kuituja, joiden pituuden ja halkaisijan suhde on suurempi kuin 300.
- Enemmän kuin 30 massaprosenttia kuiduista täyttää edellisen kohdan sekä vähintään toisen seuraavista:
  - Pituuden ja halkaisijan suhde on suurempi kuin 600.
  - Kankaan tiheys on pienempi kuin  $0,4 \text{ g/cm}^3$ .

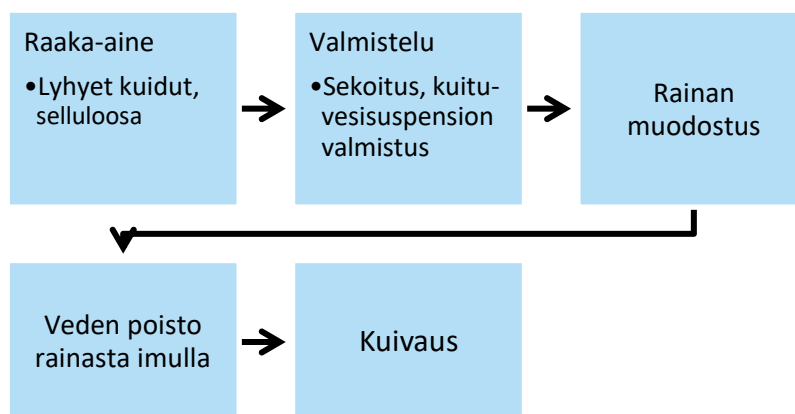
### **Raaka-aineet**

Lähes kaikkia kuituraaka-aineita voidaan käyttää wetlaid-prosessissa. Tuotteen kannalta merkittävää on kuitujen pituus sekä niiden dispersio-ominaisuudet. Raaka-aineen kuitujen tulee pystyä erottautumaan tasaisesti erillisiin kuituihin ja säilyä erillään, kun ne sekoitetaan veden kanssa. Pitkillä kuiduilla on taipumus kietoutua toisiinsa ja tämän vuoksi vain lyhyet, 2–10 mm, kuidut soveltuvat raaka-aineeksi. (Albrecht ym. 2003, 240; Karthik ym. 2016, 72.)

Wetlaid-kuitukankaissa käytetään selluloosakuitua vähintään muiden kuituraaka-aineiden ohessa, sillä selluloosa on edullista ja sen luontaista vetysidosten muodostamistaipumusta voidaan hyödyntää rainan esisidontaan. Lisäksi selluloosakuitujen avulla voidaan lisätä kankaan imukykyä. Luonnonkuiduista puuvilla ja manila ovat yleisimmät raaka-aineet. Puuvillaa käytetään wetlaid-rainoissa yleensä pätkittynä. Puuvilla tuo kankaalle paksuutta ja joustavuutta, sekä pehmeän pinnan, korkean tiheyden ja imukyvyn. Manila taas on kosteudenkestävää ja vahvaa. Selluloosamuuntokuitu viskoosi on noussut yhdeksi merkittävimmistä raaka-aineista muun muassa sen imukykyisyyden ansiosta. Tekokuitujen käyttö wetlaid-kuitukankaissa on vähäisempää, mutta niistä merkittävimmät ovat polyesteri, polypropeeni ja polyamidi. Tekokuiduilla on alhainen imukyky ja sopivilla viimeistelyillä niistä saadaan yhtä hyviä kuin viskoosista. Lisäksi erilaiset keräämiset kuidut, aramidi, hiilikuidut, lasi ja metallikuidut ovat käytössä joissain erikoistuotteissa. Myös kierrätetyistä tekstiileistä peräisin olevia kuituja voidaan käyttää wetlaid-prosessissa. (Albrecht ym. 2003, 240–243.)

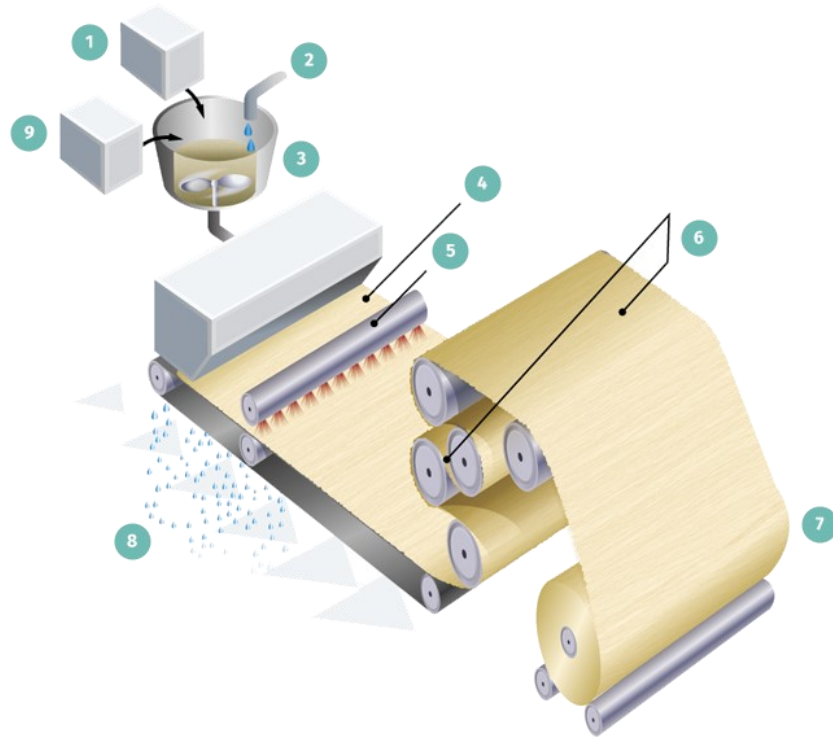
## Wetlaid-prosessi

Wetlaid-prosessissa lyhyet kuidut ovat sekoitettuna veden kanssa hyvin laimeaksi seokseksi, joka levitetään liikkuvan reiitetyn kuljettimen päälle. Prosessin pääpiirteet on esitetty kuviossa 3. Prosessin pääkohdat ovat kuitujen sekoittaminen veteen, jatkuva rainanmuodostus sekä rainan sidonta ja kuivaus. Valmistusprosessi on yleensä jatkuva käsittäen rainan muodostuksen ja sidonnan (Albrecht ym. 2003, 238).



KUVIO 3. Wetlaid-prosessi lyhyesti (Karthik ym. 2016, 71).

Kuvan 6 prosessissa kuidut (1) ja vesi (2) sekoitetaan laimeaksi suspensioksi, joka pumpataan koneen perälaatikkoon (3). Prosessissa käytettävä laimennussuhde on huomattavasti suurempi kuin paperinvalmistuksessa, joten kuitupitoisuus on yleensä paljon alle 0,1 %. Veden määrää voidaan tosin vähentää käyttämällä raaka-aineena selluloosakuitua (9) yhdessä muiden kuitujen kanssa. Pelkkää selluloosakuitua käytettäessä suspension kuitupitoisuus on 0,003–0,007 %. Toisin kuin kuvan esimerkissä, wetlaid-prosessissa käytetään tavallisesti kaltevan tason viirakoneita, koska ne soveltuvat paremmin näin laimeiden kuitususpensioiden kanssa käytettäväksi. (Albrecht ym. 2003, 256–259; EDANA n.d; Horrocks ym. 2016, 170–171; Karthik ym. 2016, 72.)



KUVA 6. Esimerkki wetlaid-prosessista (EDANA n.d.).

Perälaatikon alaetuseinässä on huuliaukko, jonka avulla hallitaan kuitu-vesisuspension virtausta viiraosalle. Suspensio levitetään tasaisesti koneen leveydelle (4). Viiraosalla suspensiosta poistetaan vettä (8) vedenpoistoyksikön imun avulla, jolloin kuituraina muodostuu viiran päälle. Vedenpoiston tulee olla mahdollisimman tasaista, jotta kuidut jakautuvat mahdollisimman tasaisesti. Tässä saavutetaan tavallisesti 15–50 % kuiva-ainepitoisuus. Rainaa kuivataan lisää puristustelojen (6) avulla ja sideaineen lisäys (5) suoritetaan samalla. (Albrecht ym. 2003, 256–259; EDANA n.d)

Koska prosessissa käytetään runsaasti vettä, sitä kierrätetään takaisin prosessin mahdollisimman paljon. Kiertovesijärjestelmä koostuu kahdesta suljetusta kierrosta. Rainasta pois imetty vesi kerätään varastosäiliöön, josta se palautuu käytettäväksi kuitujen laimennukseen. Myös hylky kierrätetään takaisin. Revenneet ja muut hylätyt kaistaleet revitään ja hajotetaan, jonka jälkeen ne laimennetaan määrättyyn pitoisuuteen ja syötetään takaisin prosessiin. (Turbak 1993, 147; Albrecht 2003, 257; 260)

## Wetlaid-prosessin ohjaus

Kuitu-vesisuspension laadulla on eniten vaikutusta wetlaid-kuitukankaan laatuun. Tärkeitä prosessiparametrejä ovat kuitujen ja veden suhde suspensiossa, dispersioaika ja pumpun juoksupyörän nopeus. Mitä suurempi kuitujen osuus suspensiossa on, sitä enemmän syntyy kuitujen ryhmittymistä dispersion aikana. Tästä seurauksena on huonolaatuinen raina. Kuitu-vesisuspensiossa kuitupitoisuuden tulisi pysyä välillä 0,005–0,05 %. (Karthik ym. 2016, 72, 74.) Taulukossa 6 on esitetty wetlaid-prosessin pääkohdat sekä oleelliset parametrit.

TAULUKKO 6. Wetlaid-prosessin mitattavia parametreja (Karthik ym. 2016, 72–74; Russell 2007, 115–116; Turbak 1993, 145).

Kuitu	Kuitu-vesisuspensio	Rainanmuodostus	Kuivaus
Pituus	Virtausnopeus	Suspension syöttö-	Kosteus ennen
Halkaisija	Pinnankorkeus	nopeus	Kuivauslämpötila
Taivutuslujuus	Tiheys	Neliömassa	Kosteus jälkeen
	Kuitupitoisuus	Paksuus	
	Perälaatikon paine		

Tärkeitä kuidun ominaisuuksia, jotka vaikuttavat dispersioon ja siten myös suspension laatuun, ovat kuitupituus, pituuden ja halkaisijan suhde sekä kuidun taivutusjäykkyys. Mitä suuremmat nämä arvot ovat, sitä enemmän kankaaseen syntyy vikoja. Pienemmillä lukemilla vikojen määrä vähenee ja saadaan tasalaatuisempaa kangasta. Kuidun dispersiotaipumus riippuu kuidun hienousluvusta, jäykkyydestä, kiharuudesta, vettyvyydestä ja pituudesta. Hienousluvun kasvaessa ja kuidun jäykkyyden aletessa, myös dispergoitavuus huononee. Homogeenisen suspension aikaansaamiseksi ei ole hyvä käyttää kiharia, pitkiä tai karvaisia kuituja, koska näillä on taipumus muodostaa kuitusaostumia. Muita wetlaid-prosessissa vaikuttavia tekijöitä ovat kuidun pinta, nesteen viskositeetti ja valittu suspension valmistusmekanismi. Synteettisiä kuituja käytettäessä, niiden vettyvyyttä voidaan parantaa lisäämällä suspensioon pinta-aktiivisia aineita tai kostut- teita tai sopivilla kuidun kehruviimeistelyillä. (Karthik ym. 2016, 72, 74.)



Kuitu-vesisuspension pumppaamiseen käytettävää pumppua ohjataan taajuusmuuttajalla, jolloin pumppausnopeus voidaan säätää virtausnopeuden mukaan. Koneissa, joissa on suljettu perälaatikko, kuitu-vesisuspension virtausnopeus perälaatikosta määräytyy pinnankorkeuden, suspension tiheyden sekä huuliaukon ja pinnan paine-eron perusteella. Perälaatikon yhteydessä voidaan käyttää erilaisia homogenisointiteloja tai kaltereita, joilla parannetaan suspension virtauksen tasaisuutta. (Turbak 1993, 145.)

Veden virtausnopeuden ja viiranopeuden suhde määrittää rainan rakenteen. Virtaus huuliaukosta täytyy sovittaa siten, että tuleva suihku ei vaikuta jo viiraosalla olevaan rainaan ja perälaatikon pinnankorkeus on täten sovitettava tuotantonopeuden mukaan. Nopeuden vaihteluilla voidaan säätää formaatiota ja vaikuttaa neliömassaan. Kun nopeudet ovat yhtä suuret, päätyvät kuidut satunnaisesti viiralle. Viiran nopeuden ollessa suurempi kuin virtausnopeus kuidut tavallisesti asettuvat enemmän konesuuntaisesti. Virtausnopeuden taas ollessa suurempi, kuidut asettuvat enemmän poikkisuuntaan. (Karthik ym. 2016, 74; Russell 2007, 115–116.)

Kuiturainan muodostuksessa viiraosalla vesi poistetaan suspensiosta. Tässä vaiheessa suurin osa kuiduista on luonnostaan kimppuina, jotka täytyy hajottaa yksittäisiksi kuiduiksi. Hajotus voidaan tehdä sekoitussäiliössä kohdistamalla kimpuihin leikkausvoima virtauskentän avulla. Kuitujen täytyy olla hyvin sekoittuneina veteen, jotta saadaan tasainen kuitukankaan rakenne. Huonosti erotelluista kuitukimpuista syntyy virheitä (logs) kankaaseen. Virheet ovat kuitukaumia, joille ominaista on tasatut leikatut päät. Niiden muodostumisen on aiheuttanut joko kuidun syöttöongelmat tai huono sekoittaminen dispersiovaiheessa. Toinen mahdollinen kankaassa näkyvä vika (ropes) syntyy käytettäessä erilaisia kuituja. Nämä näkyvät myös kuitukasaumina, mutta niiden päät eivät ole tasassa. Niitä muodostuu, kun kuidut päätyvät pyörteeseen sekoitusvaiheessa ja joustavammat kuidut kietoutuvat jäykempien ympärille. (Karthik ym. 2016, 74.)

## **Tuotteet**

Esimerkkejä wetlaid-menetelmällä valmistettavista tuotteista on koottu taulukoon 7. Koska valmistusmenetelmä perustuu paperin valmistukseen, ovat useat käyttökohteetkin niillä samankaltaisia.

TAULUKKO 7. Wetlaid-kankaiden käyttökohteita (Albrecht ym. 2003, 237).

Erikoispaperit	Teollisuustuotteet	Tekstiilimäiset tuotteet
Synteettiset kuitupaperit	Kattokankaat	Terveystuotteiden vaatteet
Ilmansuodatinpaperit	Mattokankaat	Vuodevaatteet
Nesteen suodatinpaperit	Suodattimet	Servietit
Tupakkapaperit	Puhdastilasuodattimet	Käsi- ja peseytysvälineet
Käärepaperit	Pinnoitteet	Hygieniatuotteet
Pölypussit		Tekstiiliväliaineet
Teepussit		Huonekalukankaat

### 4.3 Spunmelt

Spunmelt eli kehrumenetelmä on yleisnimitys kuitukangasprosesseille, joissa käytetään lämpösulavia polymeerifilamentteja. Menetelmän juuret ovat muoviteollisuudessa ja muistuttavat tekokuitujen sulakekehruta, mutta sen sijaan että filamentteista tehtäisiin touveja tai lankoja, ne levitetään sellaisenaan tasolle ja tiivistetään rainaksi. Lähes mikä tahansa termoplastinen polymeeri soveltuu spunmelt-kuitukankaiden raaka-aineeksi. (Karthik ym. 2016, 75.)

Spunmelt voidaan jakaa spunbond- sekä meltblown-menetelmiin, joita voidaan käyttää myös yhtäaikaisesti. (EDANA, n.d.) Rainanmuodostus ja sidonta on yhtä jatkuvaa prosessia, jolloin tuotannon kulku polymeerilastusta valmiiksi kankaaksi on mahdollisimman lyhyt (Horrocks ym. 2016, 171). Spunmelt- ja spunlaid-termejä käytetään usein synonyymeinä.

Spunmelt-rainoja hyödynnetään myös paljon komposiittikankaissa. Periaatteena on yhdistää eritavoin valmistettuja sulakekehrättyjä kuitukankaita, jotta saadaan loppukäyttökohteen mukaiset vaatimukset. Esimerkiksi SMS-kankaissa on kaksi kerrosta spunbond-rainaa, joiden välissä on kerros meltblown-rainaa. Valmistus tapahtuu yleensä yhdessä jatkuvassa prosessissa yhteisellä hinnalla ja lopuksi sidotaan yhteen valmiiksi kankaaksi. SMS-kankaassa meltblown-kerros estää nesteen läpikäymistä mutta samalla päästää höyryn läpi. Ulkoiset spunbound-kerrokset antavat kankaalle vahvuutta ja pinnan hankauksen kestoja. Komposiittikuitukankaita on monia erilaisia kuten esimerkiksi SS, SSS, SM, SMMS, SMMMS ja

SFS, jossa F tarkoittaa kalvokerrosta, sekä SNS, jossa N on nanokuitukerros. (Horrocks ym. 2016, 173.)

Komposiittikuitukankaiden käyttökohteita on monenlaisia esimerkkinä kertakäyttöiset terveydenhuollon ja hygienia-alan suojavaatteet sekä naisten hygienia tuotteet, pakkaukset ja viljelysten suojaotteet, mutta myös kestävämmät tuotteet, kuten kattokalvot ja suojaotteet. (Horrocks ym. 2016, 173.)

#### **4.3.1 Spunbond**

Tavallisimmat spunbond-kankaissa käytetyt raaka-aineet ovat polypropeeni ja polyesteri. Polyamidi, polyeteeni ja polyuretaani ovat myös usein käytettyjä raaka-aineita. Polypropeeni on ylivoimaisesti käytetyin spunbond-kankaiden valmistusmateriaali. Polypropeenin tärkein ominaisuus on sen matala tiheys ja sitä on mahdollisuus saada erilaisissa muodoissa kuten ensikuituna, kehruvärjättyinä ja kierrätettynä. Polypropeenin heikkouksia ovat sen huono UV-kestävyys, heikko virumisenkestävyys ja matala sulamispiste. PET (polyetyleenitereftlaatti) on toiseksi käytetyin raaka-aine. Sen etuina ovat polypropeenia korkeammat lujuusominaisuudet ja UV-kestävyys. Heikkouksena taas on sen huono emäksensieto. Polyamidin etuna on polypropeenia parempi kosteuspitoisuus, josta on hyötyä joissain käyttökohteissa. Polyamidin käyttöä rajoittaa kuitenkin sen prosessoinnin energiankulutus. Polyeteeni on edullinen raaka-aine, mutta sen lujuusominaisuudet ovat heikot ja sulamispiste matala. Polyuretaanin käyttökohteet ovat vaatetuksessa ja tuotteissa, joissa vaaditaan venyvyyttä. (Horrocks ym. 2016, 171–172; Karthik ym. 2016, 75.)

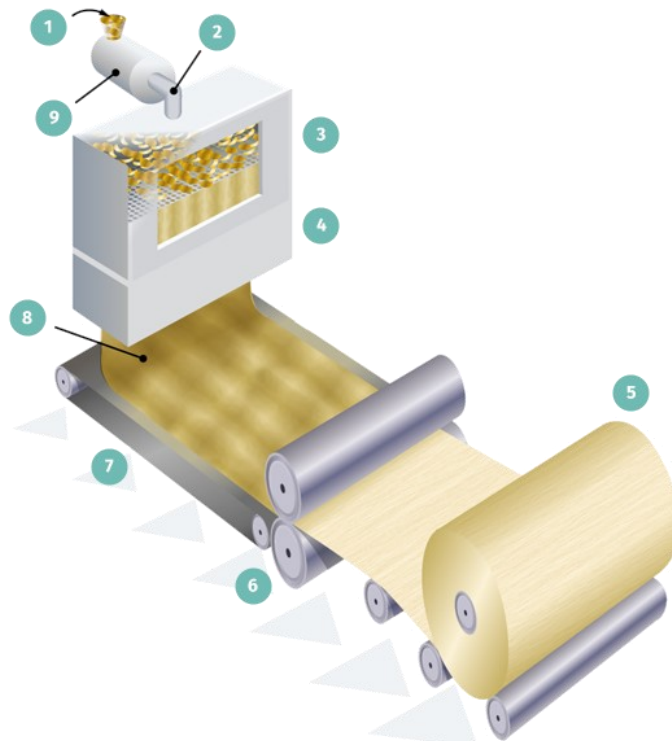
#### **Spunbond-prosessi**

Spunbond-prosessin pääkohdat on esitetty kuviossa 4. Prosessiin kuuluu polymeerisulan ekstruusio, filamenttien venytys, filamenttien levitys hihnalle sattu-manvaraisessa järjestyksessä ja lopuksi rainan sitominen. Tietynlaisilla laitteistoilla voidaan valmistaa filamentteja, jotka koostuvat kahdesta eri komponentista (bicomponent). (Horrocks ym. 2016, 171.)



KUVIO 4. Spunbond-prosessi (Karthik ym. 2016, 76–79).

Kuvassa 7 esitetyssä spunbond-prosessissa polymeerirakeita (1) syötetään jatkuvasti kuumaan ruuviekstruuderiin (9). Ekstruuderissa rakeet sulavat neste-mäiseksi polymeerisulaksi, joka pumpataan (2) kehrusuulakkeille (3). Kehruusuulakkeita voi olla kankaan leveydestä riippuen kaksi tai kolme vierekkäin filamenttien määrän lisäämiseksi. Polymeerisula pusertuu kehrusuulakkeiden läpi, vedetään voimakkaan kuumen ilmvirran avulla filamenteiksi, jäähdytetään ja venytetään lopulliseen hienouteen (4). Venytetyt filamentit (8) ohjataan kuljetushihnalle (7), johon ne asettuvat tavallisesti konesuuntaan imun avulla. Hihna kuljettaa tasoon levitetyt filamentit sidontakoneelle, jossa rainan tasaisuutta ja vahvuutta lisätään joko neulaamalla, vesinaulaamalla, kemiallisin menetelmin tai termisin menetelmin (6). Kuitukankaan lopullinen käyttökohde riippuu valitusta sidontamenetelmästä. (Horrocks ym. 2016, 171; Karthik ym. 2016, 77; Majumdar 2012, 292–293.)



KUVA 7. Spunbond-prosessi (EDANA n.d.).

### Ekstruusio

Polymeerirakeet siirretään ensiksi ekstruuderin syöttösuppiloon. Syöttösuppilosta rakeita syötetään ekstruuderiin. Ekstruuderi koostuu lämmitetystä sylinteristä ja sen sisällä pyörivästä ruuvista. Polymeeri sulaa vähitellen sylinterissä lämmön sekä ruuvin ja sylinterin välisen kitkan ansiosta. Ruuvissa on kolme osiota: syöttövyöhyke, sulatusvyöhyke ja sekoitusvyöhyke. Ruuvin halkaisija on suunniteltu kasvavaksi, jolloin sylinterin seinämän ja ruuvin välinen tila pienenee ja polymeerirakeet puristuvat ja sulavat tasaisesti. Syöttövyöhykkeellä polymeerirakeet esilämmitetään ja siirretään sulatusvyöhykkeelle. Sulatusvyöhykkeellä polymeeri sulaa täysin ja se siirtyy sekoitusvyöhykkeelle. Sekoitusvyöhykkeeltä polymeerisula kuljetetaan suulakkeelle. (Karthik ym. 2016, 78.)

Suulakkeen kokoonpano on spunbond-prosessin tärkein elementti. Suulake voidaan jakaa polymeerin syöttöosioon ja kehrusuulakeosioon. Syöttöosio jakaa polymeerisulan tasaisesti kaikille kehrusuulakkeille. Syöttökanavan muoto voi olla muodon mukaan nimetty T-tyyppi tai henkarityyppi. Kehrusuulake on tavallisesti metallipala, jossa on useita aukkoja. Usein kehrusuulakkeita on monia vieretysten, jolloin voidaan valmistaa jopa 5 metriä leveää rainaa. (Karthik ym. 2016, 78.)

### **Filamenttien venytys**

Filamentteja vetämällä saadaan aikaan toivottu molekyyli rakenne sekä mekaaniset ominaisuudet, kuten kimmoisuus. Erilaisia menetelmiä on kehitetty filamenttien vetämiseen ja jäädyttämiseen. Alun perin käytettyjen mekaanisten vetomenetelmien etuna on tasaisempi filamenttikuidun paksuus, mutta nykyään pääasiassa käytetään ilmavenytystä, jossa filamentit venytetään ilmavirtaa ja jäähdytyskanavien läpimittoja säätämällä. Yleensä käytetään peräkkäin primääri- ja sekundääripuhaltimia. Primääripuhaltimen ilma on kuumaa ja jäähdytyskammioissa olevien sekundääripuhaltimen viileää. (Horrocks ym. 2016, 171–172.)

### **Filamenttien levitys rainaksi**

Vedettyjen filamenttien levittämiseen hihnalle on kaksi tavoitetta: ensinnäkin rainan tulee olla mahdollisimman tasaista neliömassaltaan ja toiseksi filamenttien jakautumisen tulee olla toivotunlainen. Pelkästään filamenttien ohjaaminen tasaisesti hihnalle ei ole riittävää, koska filamentit saattavat tarttua toisiinsa muodostaen kasaumia, jotka ovat nähtävissä valmiissa kankaassa. Tätä voidaan estää esimerkiksi varaamalla filamentit sähköisesti aiheuttaen keskinäisen hylkimisreaktion tai puhaltamalla filamentit estelevyä päin, jolloin kasaumat rikkoutuvat. (Horrocks ym. 2016, 172.)

Rainan muodostuksessa on kaksi vaihtoehtoista tapaa: osittainen orientaatio ja täysi orientaatio. Osittaisella orientaatiolla saadaan useimpiin käyttökohteisiin riittävät lujuusominaisuudet ja voidaan käyttää korkeampia tuotantonopeuksia. Ilmageneraattori tarvitaan osittaisen orientaation saavuttamiseen. Täyden orientaation saavuttamiseksi filamentit venytetään lämmitettyjen vetoalssien päälle. Filamentit kulkevat paineilmapistoolin läpi. Ilmavirta kohdistuu vain määritetylle alueelle kerrallaan ja tällöin kuitujen peittävyys ja rainan tasaisuus paranee. Filamentit lasketaan liikkuvalla kuljettimelle sattumanvaraisesti, mutta tasaisesti. (Karthik ym. 2016, 79.)

### **Spunbond-prosessin ohjaus**

Spunbond-kankaiden valmistuksessa tärkein asia on hallita neljää samanaikaista toimintoa: filamentin ekstruusiota, filamentin vetämistä, levitystä ja sitomista. Näihin liittyvät muuttujat vaikuttavat kuidun halkaisijaan, kuidun rakenteeseen, rainan

nan levitykseen ja rainan ominaisuuksiin. Kuten taulukossa 8 on esitetty, prosessimuuttujat voidaan jakaa kolmeen luokkaan, sen mukaan tapahtuuko niiden säätö prosessilinjan ollessa käynnissä vai ei, sekä materiaalimuuttujiin. (Majumdar ym. 2012, 293.)

TAULUKKO 8. Prosessiparametrien luokittelu (Majumdar 2012, 293–295).

Online-parametrit	Offline-parametrit	Materiaaliparametrit
Primääri-ilman lämpötila	Suulakkeen reikäkoko	Molekyylimassa
Jäähdytysilman määrä	Rainan kerääjän tyyppi	Molekyylimassajakauma
Imuilman nopeus		Sulamispiste
Venturi-aukko		Viskositeetti
Ekstruuderin tuotantokapasiteetti		
Keräysnopeus		
Sidontalämpö		
Sidontapaine		

On myös huomioitava filamenttien orientaatiojakauma hihnalla, sillä orientaatiolla on merkittävä vaikutus kankaan ominaisuuksiin. Suurella nopeudella ja matalalla paineella toimivan Venturi-järjestelmän kautta filamentit saadaan levittäytymään ja estetään yksittäisten filamenttien sekoittuminen ennen päätymistä hihnalle. Venturi-aukolla on myös suuri merkitys polymeerin vetämisessä. Suuremmalla aukolla saadaan aikaan hienompia kuituja, koska se parantaa venymistä. (Horrocks ym. 2016, 172; Majumdar 2012, 294.)

Suulakkeen reikien koko määrittää polymeerisuihkun aloituskoon, josta edelleen kuuma ilmavirta venyttää siitä ohuempia kuituja. Primääri-ilman lämpötilalla vaikutetaan filamenttien halkaisijaan. Halkaisija pienenee ilman lämpötilan noustessa. Myös ilman virtausnopeutta kasvattamalla saadaan hienompia ja ohuempia kuituja, koska filamentteja vetävän voiman suuruus määrittyy ilmavirran perusteella. Filamentit jäähdytetään jäähdytyskammioissa, joissa viileä ilma jäähdyttää ja kovettaa sulan polymeerin samalla venyttäen sitä. Jäähdytysilman nopeus vaikuttaa venymiseen ja ilman lämpötila hallitsee jäähdytystä. (Majumdar 2012, 294.)

Kuljetinhihnaan kohdistuva imu pitää filamenttikuidut paikoillaan. Imu myös vetää ja venyttää filamentteja. Imuilman nopeutta nostamalla filamentit saadaan asettumaan tasaisemmin konesuuntaan. Kuljetinhihnan nopeus määrittää filamenttien lopullisen levittäytymisen tasoon. Kun hihnan nopeutta kasvatetaan suhteessa filamenttien laskeumanopeuteen, filamentit asettuvat pääasiassa konesuuntaan. Ekstruuderin tuotantokapasiteetilla tarkoitetaan sitä määrää polymeerisulaa, joka pumpataan annostuspumpun läpi aikayksikköä kohden. Tuotantokapasiteetti pidetään samana koko prosessin ajan, koska se vaikuttaa oleellisesti lopulliseen kuitupaksuuteen. Suuremmalla tuotantokapasiteetilla saadaan paksumpia kuituja ja päin vastoin. (Majumdar 2012, 294.)

Sidonnassa käytetty lämpötila ja paine vaikuttavat kankaan vetolujuuteen. Korkeammassa lämpötilassa rakenteen sitoutuminen kasvaa, kun suurempi määrä filamentteja sulaa yhteen. Tästä seuraa jäykempi kangas. Myös sidontateloilla vallitsevalla paineella on saman suuntainen vaikutus. Korkeammilla telapaineilla tuotteesta tulee jäykempi. Paine ja lämpötila valitaan raaka-aineen ominaisuuksien mukaan. (Majumdar 2012, 294.)

### **Tuotteet**

Merkittävimmät spunbond-kuitukankaiden käyttökohteet ovat vaippojen ja hygieniatuotteiden pintamateriaalit, lääketieteelliset kuitukankaat, mattojen taustat, huonekalukankaat, geotekstiilit, katto- ja rakennusmateriaalit, suodattimet ja teollisuustuotteet. (Karthik ym. 2016, 80.)

#### **4.3.2 Meltblown**

Meltblown-prosessi on hyvin pitkälle samankaltainen, kuin spunbond-prosessi, Meltblown-menetelmässä filamenttien venytys tapahtuu kuuman ilman avulla, toisin kuin spunbond-menetelmässä, jossa varsinainen venytys suoritetaan viileän ilman tai vetoalssin avulla. Meltblown-kuitukankaissa polypropeeni on yleisin käytetty raaka-aine, mutta myös polyeteeniä, polyamidia, aromaattisia ja alifaattisia polyesteriteitä, polystyreeniä ja polyuretaania voidaan käyttää. Meltblown-kuitukankaiden erityispiirre on hyvin hienot kuidut, jotka eivät ole yhtä lujia kuin spunbond-kuitukankaissa. (Horrocks ym. 2016, 171–172; Karthik ym. 2016, 81.)



## Prosessi

Meltblown-prosessilla tuotetaan kuiturainoja tai tuotteita suoraan polymeereistä venyttämällä filamentteja voimakasta ilmavirtaa käyttäen. Meltblown on uusin kuitukankaiden valmistusmenetelmä. Prosessin erityispiirre on sen soveltuvuus mikrokuiturainojen valmistamiseen. (Karthik ym. 2016, 81.) Meltblown-prosessi tapahtuu yhtenä jatkuvana prosessina polymeerirakeiden syötöstä valmiin kuitukankaan rullaamiseen kuten kuviossa 5 on esitetty.



KUVIO 5. Meltblown-prosessi (Karthik ym. 2016, 81–83).

Syöttösuppilosta raaka-aineena käytettäviä polymeerilastuja syötetään kuumaan ekstruuderiin. Ekstruuderin ruuvin pyörimisliike työntää lastuja eteenpäin ja auttaa niiden sulattamisessa kitkavoimien vaikutuksesta. Annostuspumpulla hallitaan polymeerisulan pääsyä suulakkeelle. Polymeerisulan virtaus pidetään tasaisena ja vaaditussa viskositeetissa, paineessa ja lämpötilassa. (Horrocks ym. 2016, 172–173; Karthik ym. 2016, 81–82; Majumdar ym. 2012, 288.)

Polymeerisulaa pursotetaan läpi metallisesta suulakkeesta, jossa on pienellä alalla useita reikiä. Reikien määrä riippuu tavoitellusta tuotantonopeudesta sekä kuidun halkaisijasta. Suulakkeen tehtävänä on jakaa syöttö tasaisesti koko suulakkeen alalle. Suulaketyyppejä on kaksi erilaista: T-tyyppi, joka voi olla kapeneva tai ei kapeneva, sekä henkarityyppi, jolla saadaan tasaisempi virtaus ja viipymäaika. Suulakkeen suutinkappaleen muotoilu vaikuttaa rainan tasaisuuteen. Suutinkappale on tavallisesti ontto ja kapeneva metallinen kappale, jossa on sen koko pituudelta useita satoja reikiä. Polymeerisulaa puristetaan näiden reikien läpi ja syntyvät filamentit venytetään nopeasti kuumalla ilmalla. Suutinkappaleen

halkaisija on tavallisesti 0,4 mm ja tiehyiden lukumäärä millimetriä kohden vaihtelee yhdestä neljään. (Horrocks ym. 2016, 172–173; Karthik ym. 2016, 83; Majumdar ym. 2012, 288.)

Sula polymeeri yhdistyy kuumaan ilmavirtaan (ns. primääri-ilma), jota puhalletaan paineella sisään suutinkappaleessa olevien aukkojen kautta. Paineistettu ilma kulkee lämmönsiirtoyksikön läpi, lämpenee tavoitelämpötilaan ja johdetaan suuttimelle ilmanjakoputkien kautta. Lämpötila tavallisesti on välillä 230–360 °C ja ilman virtausnopeus noin 0,5–0,8 % äänen nopeudesta. Ilman virtaus vetää polymeerisuihkun ohuiksi kuiduiksi. Ilmavirran suuresta nopeudesta johtuen, polymeerisula ei sekoitu siihen tasaisesti, joten kuitujen halkaisijoihin ja niiden pituuksiin syntyy vaihtelua. Kuiduissa saattaa olla havaittavissa myös haarautumia. Kuidut alkavat kietoutua toisiinsa kulkeutuessaan kauemmaksi suulakkeesta ja samalla ne alkavat kovettua jäähtyessään ympäröivän ilman (ns. sekundääri-ilma) vaikutuksesta. Imun avulla jäähtyneet kuidut asettuvat ja sitoutuvat itsestään rainan muotoon ilmaa läpäisevälle kerääjäseulan päälle. (Horrocks ym. 2016, 172–173; Karthik ym. 2016, 83; Majumdar ym. 2012, 288.)

### **Meltblown-prosessin ohjaus**

Prosessimuuttujat ovat monimutkaisia ja yhteydessä toisiinsa. Muuttujat voidaan karkeasti jakaa kolmeen pääryhmään: online-muuttujat, offline-muuttujat ja materiaalimuuttujat. Kuitujen koolla on suurin merkitys kuitukankaan ominaisuuksiin, ja taulukossa 9 lueteltujen parametrien avulla niiden kokoa voidaan säätää. (Majumdar ym. 2012, 288–289.) Online-muuttujia voidaan säätää koneen ollessa käynnissä. Offline-muuttujia muutetaan silloin kun tuotanto ei ole käynnissä. Kaikkien prosessiparametrien säätö tehdään kuitenkin sen mukaan mikä polymeeri on raaka-aineena. (Majumdar ym. 2012, 289–290.)

TAULUKKO 9. Meltblown-prosessiparametrit (Horrocks ym. 2016, 173; Majumdar ym. 2012, 288–290).

Online-parametrit	Offline-parametrit	Materiaaliparametrit
Ilmavirran lämpötila	Suulakkeen reikäkoko	Polymeerityyppi
Suulakkeen ja kerääjän välinen etäisyys	Ilmarako	Viskositeetti
Suulakkeen lämpötila	Ilman syöttökulma	Molekyylikoko
Kuuman ilmavirran nopeus	Kerääjän tyyppi	Sulamispiste
	Polymeerin ja ilman jakauma	

Lämpötila määräytyy raaka-aineen ominaisuuksien, kuten sulamispisteen tai laittumislämpötilan perusteella. Lämmityksen tavoitteena on pehmentää ja sulattaa polymeerihartsia ja saavuttaa tavoiteltu juoksevuus (viskositeetti), jotta purotus suulakkeen läpi onnistuu. Jotta kuidut venyisivät hyvin ilmavirran vetämänä, polymeerisulan viskositeetin tulisi olla suhteellisen matala, joten prosessissa käytetään yleisimmin polymeerejä, joilla on pieni molekyyli massa. Polymeerisulan viskositeettia hallitaan suuttimen lämpötilaa muuttamalla, sillä korkeammassa lämpötilassa viskositeetti alenee ja polymeeri on juoksevampaa. Polymeerisulan virtausnopeus riippuu suuttimen muotoilusta ja ekstruuderin nopeudesta. Liian matalasta lämpötilasta seuraa rainassa selvästi nähtäviä paksumpia polymeerihyytymiä, jotka tekevät sen rakenteesta epätasaisen. Liian korkea lämpötila taas tekee rainasta liian pehmeän ja ilmavenytyksessä katkeaa runsaasti kuituja. (Horrocks ym. 2016, 173; Majumdar ym. 2012, 289, 291.)

Etäisyys suulakkeelta kerääjälle on eräs tärkeimmistä muuttujista ja rainan laatu on vahvasti sidoksissa siihen. Kuitujen kietoutuminen alkaa noin senttimetrin etäisyydellä suulakkeesta ja jatkuu siihen asti, kunnes kuidut kohtaavat kerääjän, jossa ne saavuttavat lopullisen sitoutumisen. Mitä pidempi etäisyys on, sitä suurempaa on kuitujen kietoutuminen. Myös kuitujen halkaisija yleensä kasvaa. Lyhyillä etäisyyksillä saadaan aikaan tiheitä, jäykkiä ja tiukasti sitoutuneita rainoja. Mikäli etäisyys on liian suuri, rainasta tulee heikko, koska kuidut ehtivät jäähtyä liikaa ennen kerääjää, jossa ne eivät enää tartu kunnolla toisiinsa yhtenäiseksi tasoksi. (Majumdar ym. 2012, 289–290.)

Ilmavirran nopeus vaikuttaa kuidun halkaisijaan, kuitujen kietoutumiseen, neliöpainoon ja venytysalueeseen. Suurella nopeudella saadaan aikaan hienoja ja

ohuita kuituja sekä lisätään kuitujen kietoutumista. Rainan rakenne parantuu, koska ohuet kuidut asettuvat peittävämmiin ja rainaan muodostuvat huokokset jäävät pienemmiksi. Koska ilmavirralla hallitaan koko rainan tasaisuutta, on tärkeää asettaa virtaama sopivaksi. Liian pieni virtaama aiheuttaa karheita kuituja, koska polymeerisulaa ei saada vedettyä tarpeeksi. Mikäli ilmavirrassa on hallitsematonta turbulenssia (pyörteisyyttä), venytetyt kuidut kietoutuvat toisiinsa ja asettuvat kerääjälle hallitsemattomasti kasoihin, jolloin rainaan muodostuu selvästi havaittavia, paksuja kuituraitoja. Lämpötila tulee pitää tasaisena ja sen vaikutukset nähdään rainan tasaisuudessa: mikäli lämpötila on väärin asetettu, voidaan rainassa havaita uria tai kuitukasaumia. Ilmavirran painetta hallitaan ilmaraon suuruudella. Sopiva paine estää kuitujen katkeamista. (Majumdar ym. 2012, 290–292.)

Kuuman ilmavirran kulmaa polymeerisuihkuun nähden voidaan muuttaa 30° ja 90° välillä. 30° kulmassa kuidut ohjautuvat kerääjälle samansuuntaisesti ja niiden kietoutuminen on vähäistä. Toissa ääripäässä, 90 kulmassa, kuitujen orientaatio on sattumanvarainen. Kulma valitaan tavoiteltujen ominaisuuksien mukaan. (Majumdar ym. 2012, 292.)

Kerääjähihnan pinta liikkuu jatkuvasti suhteessa sille levittyviin kuituihin nähden. Tyypillisesti kuitujen orientaatioissa on havaittavissa vähäistä konesuuntaisuutta, mutta sitä voidaan vähentää säätämällä kerääjän nopeutta. Kerääjähihnan alapuolelle kohdistuu imu, jonka vaikutuksesta raina tarttuu siihen kiinni ja pääsee muotoutumaan. Imun suuruus säädetään sopivaksi, jotta kaikki ilma saadaan imettyä pois rainasta. (Majumdar ym. 2012, 290.)

## **Tuotteet**

Meltblown-kankaita käytetään usein muiden kuitukankaiden kanssa. Ne ovat tärkeitä materiaaleja useissa kohteissa, kuten suodatinkankaissa ja kevyissä kertakäyttöisissä hygieniatuotteissa. Raskaimmat meltblown-kuitukankaat soveltuvat myös öljyn imeytykseen. (Horrocks ym. 2016, 173.) Joitain esimerkkituotteita on koottu taulukkoon 10.

TAULUKKO 10. Meltblown-kuitukankaiden käyttökohteita (Karthik ym. 2016, 86).

Terveydenhuolto	Imukankaat	Suodattimet
Kertakäyttöiset puvut Steriilit liinat Sideharsot Hygieniatuotteet	Öljynimeytyskankaat	Suodatinkankaat Kennosuodattimet Puhdastilasuodattimet
Vaatetus	Elektroniikkatuotteet	Muut kohteet
Lämpöeristeet Kertakäyttövaatteet Tekonahan taustakangas	Levykkeiden välikankaat Akkujen erottimet Eristyskondensaattorit	Teltat Joustavat kuitukankaat

### Meltblown- ja spunbond-menetelmien vertailu

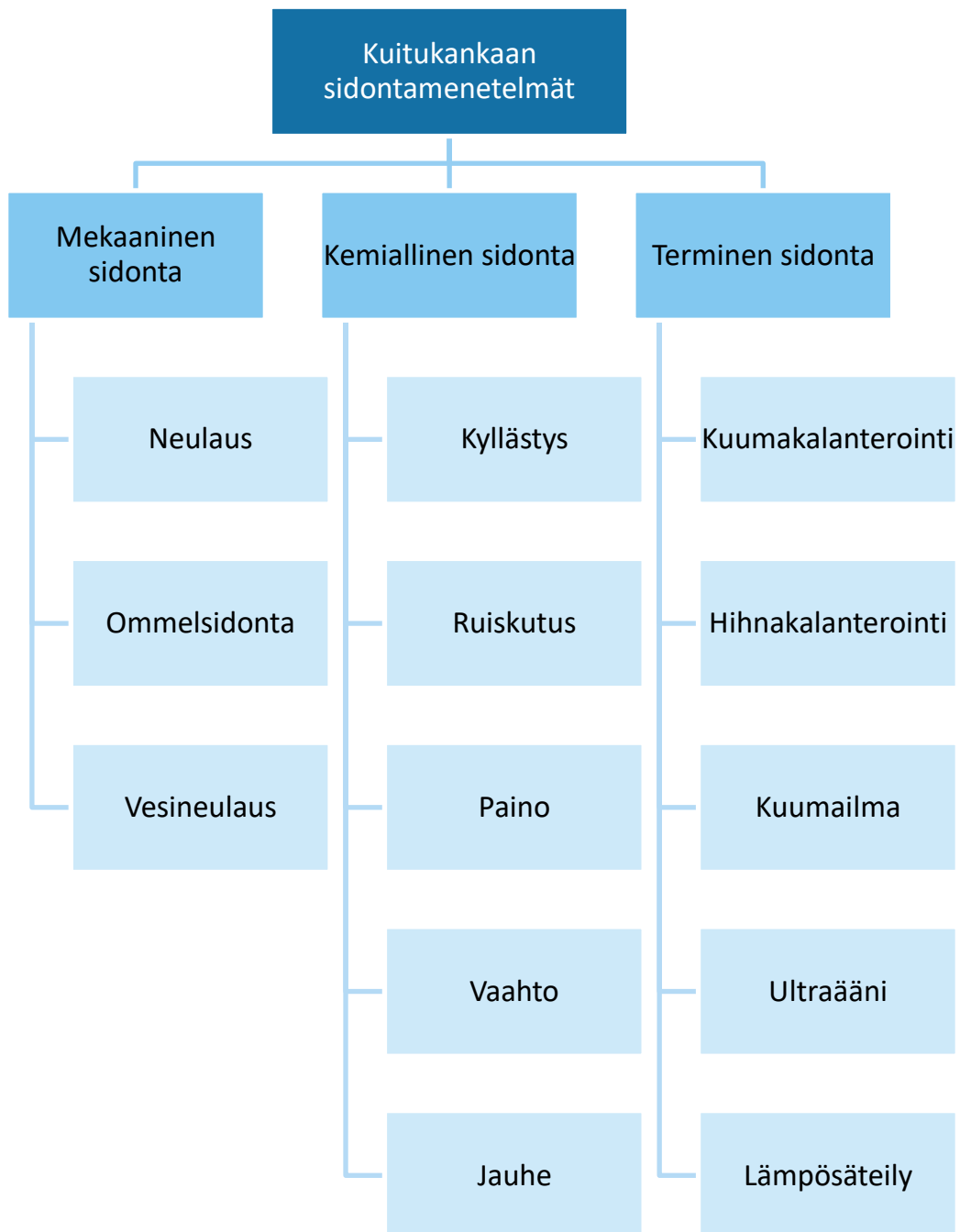
Spunbond- ja meltblown-prosesseilla ja kuitukankailla on paljon yhteistä, mutta joitain eroavaisuuksia niiden välillä on. Taulukossa 11 on vertailtu spunbond- ja meltblown-kuitukankaita.

TAULUKKO 11. Spunbond- ja meltblown-kuitukankaiden vertailu (Karthik ym. 2016, 87).

	Spunbond	Meltblown
Neliöpaino	5–800 g/m <sup>2</sup>	8–350 g/m <sup>2</sup>
Kuituhalkaisija	1–50 µm	0,5–15 µm
Kuitupituus	Jatkuva	Katkottu
Kuituorientaatio	Satunnainen, osittain orientoitunut	Satunnainen
Kuitujen venytys	Jäähdytyksen jälkeen pienellä ilmamäärällä kauempana suu- lakkeesta, tai venytysvalssit	Voimakas ilmavirta suulakkeen suuaukolla filamenttien ollessa kuumia
Yleisimmät polymeerit	Polypropeeni (PP) Polyeteenitereftalaatti (PET) Polybutyleenitereftalaatti (PBT)	Polypropeeni (PP) Polyeteeni (PE) Polybutyleenitereftalaatti (PBT)
Taloudellisuus	Nopeampi, halvempi tuotanto	Vähemmän alkupääomaa
Rainan sidonta	Kemiallinen sidonta, neulaus	Itsesitoutuva, sideaineet valinnaisia

## 5 RAINAN SIDONTA

Kuitukangasrainalla ei ole tarpeeksi rakenteellista eheyttä sellaisenaan ja niiden kuidut täytyy saada pysymään yhdessä joko kietomalla ne yhteen tai käyttämällä sideainetta, kuten hartsia, liuottimia tai polymeerisulaa. Sidontamenetelmät jaetaan kolmeen pääryhmään: mekaanisiin, kemiallisiin ja termisiin sidontamenetelmiin. Sidontamenetelmien luokittelu on esitetty kuviossa 6.



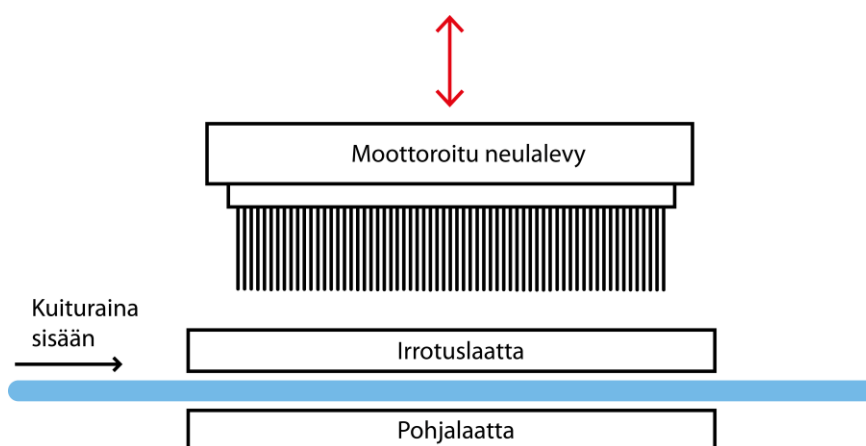
KUVIO 6. Rainan sidontamenetelmien luokittelu (Karthik ym. 2016, 96).

## 5.1 Mekaaninen sidonta

Mekaaninen sidonta pohjautuu kuitujen sotkeutumiseen keskenään kitkavoimien ansiosta, jolloin saadaan aikaan vahvoja sidoksia. Kolme pääasiallista mekaanista sidontamenetelmää ovat neulaus, ommelsidonta ja vesineulaus.

### 5.1.1 Neulaus

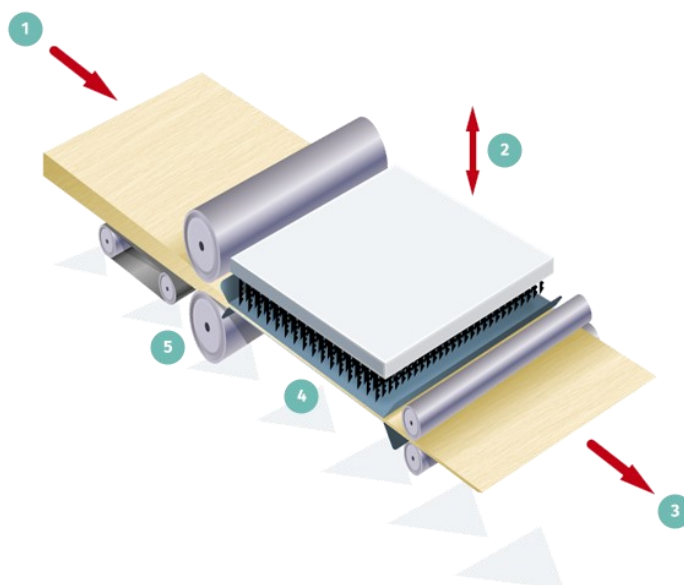
Neulauksen periaate on samankaltainen kuin huovutuksessa. Neulatut kuitukan-  
kaat valmistetaan suuntaamalla ja lukitsemalla mekaanisesti kuiturainan kuituja  
pystyasentoon, jolloin kuidut sotkeutuvat keskenään ja raina pysyy kasassa kit-  
kavoimien ansiosta. Rainaan kohdistetaan toistuvasti pistoja sadoilla väkäsillä  
varustetuilla neuloilla. Neulausta käytetään yleensä ristikkäislevitetyille rainoille,  
mutta sillä voidaan sitoa myös pitkäkuituisia airlaid- tai raskaita spunbond-rainoja.  
Neulausta käytetään myös huopien valmistamiseen ja tietynlaisilla suurilla kone-  
kokoonpanoilla valmistetaan paperikoneen huopia. Neulauskoneessa on kolme  
pääkomponenttia: neulalevy, pohjalaatta ja irrotuslaatta (kuva 8). (Horrocks ym.  
2016, 182; Karthik ym. 2016, 97–98.)



KUVA 8. Neulauksen pääkomponentit.

Neulausprosessi on esitetty kuvassa 9. Raina (1) kuljetetaan puristustelojen (5) kautta kahden levyn, irrotuslaatan ja pohjalaatan (4), väliin. Puristustelojen tehtävänä on pitää kuidut kasassa ja estää niiden lipsuminen rainassa. Irrotuslaatan ja pohjalaatan pinnassa on reikiä, jotta moottoroidussa neulalevyssä (2) kiinni

olevat piikikkäät neulat pääsevät liikkumaan ja lävistämään rainan. Neulojen lukumäärä vaihtelee reilusta tuhannesta kymmeneen tuhansiin ja niiden nopeudet voivat olla yli 3000 pistoa minuutissa. Neulauskoneissa on usein kaksi neulalevyä, joista toinen suorittaa esineulauksen ja toinen loppuneulauksen tehokkaan sitoutumisen aikaansaamiseksi ja rainan ohentamiseksi. Rainaa voidaan neulata ylä- tai alapuolelta, ja täten hallita pinnan tasaisuutta sekä sitä, kuinka kuidut ta-  
kertuvat toisiinsa. (Horrocks ym. 2016, 182; Karthik ym. 2016, 99–100.)



KUVA 9. Rainan sidonta neulaamalla (EDANA n.d.).

Neulauksen tärkein tekijä on itse neula. Sidontaan käytettävän neulan poikkileikkauksen muoto on yleensä kolmio ja sen jokaisella sivulla on kolme piikkiä tai väkäästä. Neulan painuessa rainan sisään, piikit sieppaavat mukaansa kuituja, jotka sitten kulkeutuvat neulan mukana toisten kuitujen ohi. Neulan noustessa takaisin ylös, muodostuneet kuitusilmukat jäävät paikoilleen irtautuessaan neulan väkäsistä irrotuslaatan ansiosta. Neulojen toistuva liike vähitellen lisää kuitujen sotkeutumista toisiinsa ja luo kankaaseen kolmiulotteisen kuituorientaation. Kankaan tiheys kasvaa ja rakenteen lujuus lisääntyy. Neulan väkäset kuluvat käytössä ja ne saattavat myös katketa, joten niiden uusiminen säännöllisesti on tarpeen, jotta kankaan ominaisuuksista tulee toivotunlaiset. (Horrocks ym. 2016, 182–183.)



Ongelmana neulauksessa on se, että neulat läpäisevät rainan vain lyhyeltä matkalta ja kuitujen sitoutuminen on suhteellisen pientä. Neulat läpäisevät rainan yleensä kohtisuoraan, jolloin rainaan muodostuu pystysuuntaisia pilarimaisia rakenteita. Mikäli pilarit eivät kulje rainan sisässä jo mahdollisesti valmiiksi olevien silmukoiden läpi, kankaasta ei tule kovin vahvaa. Tämän vuoksi esimerkiksi samansuuntaisia rainoja ei ole suotavaa sitoa neulaamalla. Neulattujen kankaiden kimmoisuutta ja venymisen palautumisominaisuuksien parantamiseksi voidaan käyttää erilaisia vahvikkeita. (Horrocks ym. 2016, 183–184.)

Toinen ongelma syntyy hyvin kevyiden kuiturainojen neulauksessa. Etenkin esi-neulauksessa rainaan kohdistuu venytystä. Venymisen seurauksena rainaan syntyy paksumpia ja ohuempia kohtia. Myös rainan reunat tulevat paksummiksi, koska raina kutistuu leveyssuunnassa. Kevyiden kankaiden kanssa onkin suotavaa työstää leveämpiä rainoja ja pituusleikata kangas neulauksen jälkeen sopivan levyiseksi. (Karthik ym. 2016, 100.)

### Neulausprosessin ohjaus

Prosessiin vaikuttavat parametrit voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat materiaaliparametrit, neulaparametrit ja koneparametrit. Joitain kuhunkin osa-alueeseen kuuluvia tekijöitä on listattu taulukkoon 12. (Majumdar ym. 2012, 281.)

TAULUKKO 12. Neulauksen prosessiparametrit (Karthik ym. 2016, 102; Majumdar ym. 2012, 281.)

Materiaaliparametrit	Neulaparametrit	Koneparametrit
Kuitutyyppi	Neulatyypit	Neulan pistosyvyys
Kuitupituus	Neulan muoto	Pistojen taajuus
Kuituhienous	Neulojen asettelu	Pistojen tiheys
Kuidun poikkileikkaus	Väkästen lukumäärä	Yksi- vai kaksipuoleinen neulaus
Kuidun kiharuus		Esineulaus
Kuituorientaatio		Neulauskulma
Rainan paino		
Rainan tasaisuus		

Rainan syöttönopeutta säätämällä voidaan vaikuttaa lopputuotteen paksuuteen ja tiheyteen. Suurempi syöttönopeus tarkoittaa paksumpaa ja tiheämpää kangasta. Vastaavasti hitaammilla nopeuksilla kankaan läpäisevyys kasvaa. Kuiturainan ominaisuudet, kuten kuituorientaatio, tiheys ja tasalaatuisuus, vaikuttavat suoraan kankaan rakenteellisiin ominaisuuksiin, kuten paksuuteen, painoon, irto-tiheyteen ja ilman läpäisykykyyn. (Majumdar ym. 2012, 281.)

Neulauksessa on valittava jokaiselle kangastyypille sopiva määrä neulanpistoja pinta-alaa kohden, sekä neulanpiston syvyys ja käytettävä neulatyyppe. Lopputu-lokseen vaikuttavat myös kuinka pitkän matkan raina liikkuu jokaista neulaniskua kohden ja osaksi myös neulojen lukumäärä. Jos rainan etenemä matka on tasan saman mittainen kuin neularivistöjen välinen matka, syntyy kankaaseen selkeitä pistokuvioita joka neularivistön osuessa samaan kohtaan. Neularivistöjen välien on siis oltava eri mittaiset ja tähän on olemassa tietokoneohjelmistoja, joilla voi-daan laskea parhaat välit. (Horrocks ym. 2016, 183–184; Majumdar ym. 2012, 281.)

Neulanpiston syvyyttä säädetään pohjalaatan korkeuden avulla. Prosessissa kui-dut kulkeutuvat neulojen väkästen mukana pohjaan saakka. Ristikkäisrainoilla piston syvyyden lisääminen lisää samalla kuitujen orientoitumista konesuuntaan, sillä kuitujen vapautuessa osa niistä orientoituu uudelleen konesuuntaan. Pis-tosyvyys on yksi merkittävimmistä muuttujista, jolla on vaikutusta kankaan me-kaanisiin ominaisuuksiin, rakenteelliseen vakauteen ja tiheyteen. Vetolujuus kas-vaa pistosyvyyttä lisättäessä tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen se alkaa taas laskea, koska syvyyden lisääminen lisää samalla myös kuitujen vaurioitumista. Pistosyvyyden kasvatus lisää rainan tiivistymistä, jolloin kankaan paksuus las-kee. Mitä syvempi pisto on, sitä enemmän kuituja tarttuu neulaan. Neulan alim-mat väkäset kuljettavat kuituja pistosyvyydelle ja sen ollessa tarpeeksi suuri, kui-tuja päätyy pistämään esiin rainan alapuolelta. Jos pistosyvyys on liian suuri, kui-tuhapsut ilmukoituvat, mikä lisää vetolujuutta ja -kerrointa mutta alentaa murto-venymää. (Majumdar ym. 2012, 282.)

Pistotaajuuden nostaminen johtaa pystysuoraan sijoittuneiden kuitujen määrän kasvamiseen ja rainan tiivistymiseen. Tämä vaikuttaa suoraan kankaan tiheyteen ja vetolujuuteen. Kuitujen sitoutumista kuvataan PPSI-arvolla (Penetration per

square inch, läpäisyä kuutiotuunaa kohti), joka on suoraan verrannollinen neulojen tiheyteen neulalevyssä sekä pistojen taajuuteen ja kääntäen verrannollinen rainan nopeuteen. (Majumdar ym. 2012, 282–283.)

Neulauksen määrällä tai pistotiheydellä tarkoitetaan sitä neulauksen määrää, joka rainaan kohdistuu sen kulkiessa neulauskoneen läpi. Neulauksen määrä vaikuttaa kuitujen sotkeutumiseen ja sitä kautta kankaan vetolujuuteen, venymään, tiheyteen sekä painoon ja paksuuteen. Pistotiheyden kasvaessa murtolujuus aluksi kasvaa, mutta alkaa sitten laskea. Myös puristuskerroin kasvaa, mikä tekee kankaasta jäykemmän ja enemmän puristusta kestävä. Mikäli pistotiheys on optimiarvoa suurempi, kuitukankaan vahvuus romahtaa liiallisen neulauksen aiheuttamien kuituvaurioiden vuoksi. (Majumdar ym. 2012, 283.)

Tietyn kuitukankaan valmistamiseen tulee valita sopivat neulatyypit. Mitä lähempänä toisiaan neulan sivuilla olevat väkäset sijaitsevat, sitä enemmän kuituja kulkeutuu niiden mukana rainan paksuussuunnassa ja sitä tiiviimpää kankaasta tulee. Tällöin kankaan pintaan jää reikiä neulanpistoista, eikä siitä tule sileää tai hyvän näköistä. Paras pinta saadaan aikaan neuloilla, joissa väkäset eivät ole kaukana toisistaan tai lähellä toisiaan. Neulat ovat kuluvia osia. Niiden vaurioitumista eniten aiheuttavat neulojen väärä kohdistus, huono kuidun laatu, väärät asetukset, neulojen ja kuitujen välinen kitka, neulan kuormaa lisäävät syvät väkäset, koneen tärinä neulauksen aikana ja väärän kokoiset reiät irrotuslaatassa tai pohjalaatassa. (Majumdar ym. 2012, 284.)

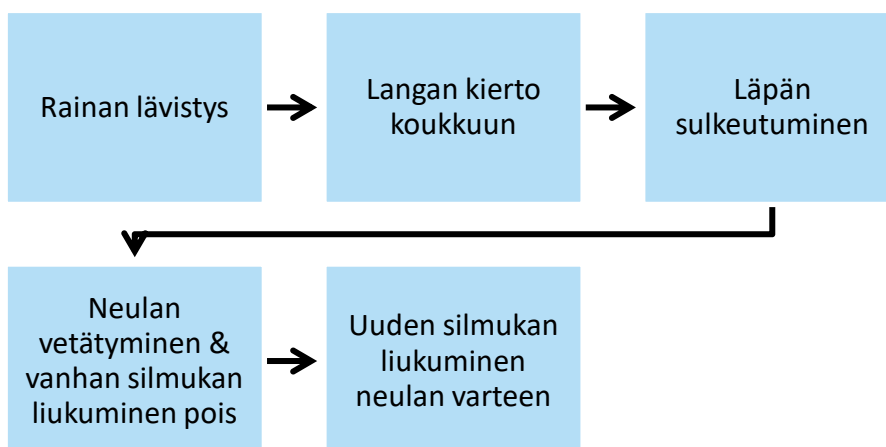
### **Tuotteet**

Neulatuille kuitukankaille on monia käyttökohteita kuluttajakäyttöön sekä teollisuuskäyttöön. Esimerkkejä sovelluksista ovat eristeiden täytteet, suodatinkankaat, maanrakennustekstiilit, paperinvalmistushuovat, keinonahka, lattiapinnat, tenniskenttien pintamateriaalit, autoteollisuus ja haavansidonta. (Horrocks ym. 2016, 184; Karthik ym. 2016, 112.)

### 5.1.2 Ommelsidonta

Ommelsidotun kankaan määritelmä on kangas, jonka kuidut, langat, tai näiden yhdistelmät pysyvät kiinni toisissaan ylimääräisten ommelten tai neulottujen lankojen ansiosta. Jotkin määritelmät eivät lue ommelsidottuja kankaita kuitukankaisiin, koska niissä käytetään lankoja. (Russell 2007, 201) Ommelsidontaa käytetään pääasiassa ristilevitetyille ja pitkäkuituisille airlaid-rainoille. (Horrocks ym. 2016, 184.) Ommelsidonnan etuina on se, että kuitukankaan pinta ei kovetu, toisin kuin neulauksessa ja kemiallisessa sidonnassa. Ommelsidottu kuitukangas pysyy yhtä hienona, kuin raina oli ennen sidontaa. (Karthik ym. 2016, 113.)

Ommelsidonnassa käytetään läpällä varustettua neulaa, joka on samantapainen kuin koneneulonnassa. Silmukanmuodostuksessa tärkeimmät komponentit ovat yhdysneula, sulkulanka, neulan koukku ja reikäneulaparru. Prosessin vaiheet on esitetty kuviossa 7. Lämpäistyään rainan, läppä avautuu ja neulan koukkuun ohjataan lanka. Kun neula alkaa vetäytyä, läppä sulkeutuu ja neulan varressa odottava vanha silmukka liikuu koukun yli. Yleisimmin käytettyjä neulosrakenteita ovat ketjusidos ja trikoosidos. Trikoosidoksella saadaan paremmat vahvuusominaisuudet poikkisuuntaan. (Horrocks ym. 2016, 184–185.)



KUVIO 7. Ommelsidontaprosessi. (Karthik ym. 2016, 116).

Ommelsidonta voidaan myös suorittaa ilman lankoja. Prosessi on muutoin sama kuin edellä, mutta koukku sulkeutuu hieman myöhemmin vetäytyessään ja napaa tällöin mukaansa hieman rainan kuituja. Kuidut muodostavat silmukoita, joi-

den läpi seuraavan syklin silmukka vedetään. Valmis kangas näyttää kuitukan-  
kaalta toiselta puolelta ja neulokselta toiselta. Käyttökohteita ovat muun muassa  
eristeet ja koristemateriaalit. (Horrocks ym. 2016, 185.)

### **Prosessissa vaikuttavat tekijät**

Ommelsidonnassa sitoutumisen taso riippuu lankasilmukoiden määrästä rainan  
alaa kohti. Tähän kuuluu silmukkavakojen määrä pituusyksikköä kohti sekä sil-  
mukkarivien määrä pituusyksikköä kohti. Kuitukankaassa silmukkavaot ovat ko-  
nesuunnassa ja silmukkarivit poikkisuunnassa. Silmukkavakojen tiheyttä halli-  
taan koneen neulatiheydellä, jolla tarkoitetaan neulontakomponenttien lukumää-  
rää 25 senttimetriä kohti. On todettu, että maksimissaan 22 silmukkavakoa 25  
senttimetrin matkalla on järkevä määrä. Silmukkarivien tiheyteen vaikutetaan tikin  
pituudella. (Karthik ym. 2016, 115.)

Saatavilla oleva välineistö mahdollistaa 0,5–5 mm tikinpituuden. Koneen neulati-  
heys ja tikinpituus riippuvat valmistettavasta tuotteesta. Yhdysneula voi olla pak-  
suudeltaan karkea, keskikarkea, hieno tai erittäin hieno, mutta parempi lopputu-  
los saadaan, kun käytetään kahta eri neulapaksuutta. Yhdysneulan pituus vastaa  
pienempää paksuutta ja sen leveys vastaa suurempaa paksuutta. Ommelsidon-  
nassa voidaan käyttää myös erilaisia kuvioita, jotka saadaan aikaan muuttamalla  
esimerkiksi koneen nokkalevyjen sijaintia tai pyörimissuuntaa, reikäneulaparru-  
jen paikkaa, langan asettamista tai käyttämällä värillistä lankaa. (Karthik ym.  
2016, 116.)

### **Ommelsidottujen kankaiden käyttökohteet**

Erilaisia ommelsidontakoneita on kehitetty ja niihin on liitetty lisäosia, jotka mah-  
dollistavat monien eri tuotekombinaatioiden valmistuksen. Ommelsidottuja kan-  
kaita käytetään pehmeinä sisustuskankaina, patjojen ja retkeilytuolien verhoilu-  
kankaana, peittoina, kuljetuskankaina, siivouskankaina, hygieniatuotteissa, vuo-  
rikankaana sekä tarranauhoissa. Teollisuudessa käyttökohteita ovat erityiskom-  
posiitit, kerrostetut kuitukankaat, geotekstiilit, eristysmateriaalit ja pakkauskan-  
kaat. Kotitalous- ja verhoilutekstiileinä lopputuotteet ovat kuitukangastapetteja,  
verhoilukankaita, siivous- ja kiillotusliinoja. Muita käyttökohteita ovat autojen si-  
sätilat, peitehuovat, pesusienet, peitekankaat ja mattojen tukimateriaalit. Koska

ommelsidonnassa erilaisia raaka-aineita ja kankaita voidaan yhdistää keskenään, lopputuotteet voivat olla hyvinkin vaihtelevia ominaisuuksiltaan ja täten käyttömahdollisuudet ovat laajat. (Horrocks ym. 2016, 185; Karthik ym. 2016, 117–121; Russell 2007, 201.)

### 5.1.3 Vesineulaus

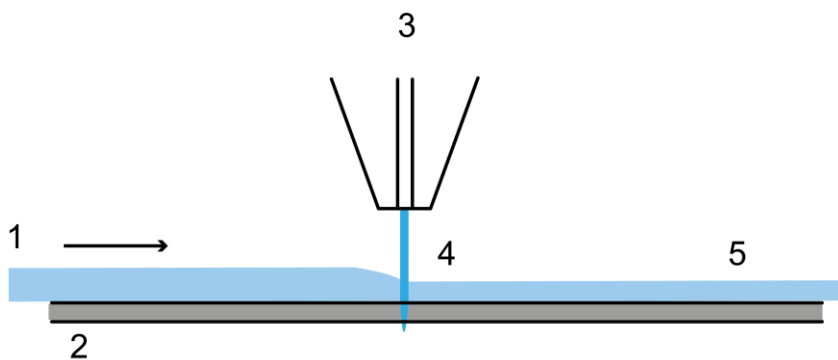
Vesineulaus (myös spunlacing) hyödyntää voimakkaita vesisuihkuja kuitujen sitomiseen mekaanisesti. Menetelmä perustuu kuitujen toisiinsa kietoutumiseen, minkä vuoksi syntyvä kangas on joustava ja notkea. Vesineulausta käytetään sekä drylaid- että wetlaid-rainoille. Rainossa käytetyt kuidut ovat usein sekoitus selluloosa- ja tekokuituja. Selluloosapohjaisten kuitujen suosio johtuu niiden korkeasta laadusta, notkeudesta ja siitä, että ne eivät liukene veteen. Lisäksi selluloosapohjaisilla kuiduilla on kyky muodostaa vetysidoksia toistensa välille, ja tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää rainan esisidonnassa. (Horrocks ym. 2016, 186; Karthik ym. 2016, 127.)

Vesineulauksen etuja ovat:

- Kemiallisia sideaineita ei tarvita, joten kierrättäminen on helpompaa
- Kangas on pehmeämpi ja laskeutuvampi
- Imukykyisyys, lujuus ja notkeus
- Kankaan pinta voidaan kuvioda
- Kangas on nukkaamaton
- Kevyille kuitukankaille nopeampi ja edullisempi menetelmä kuin neulaus

(Karthik ym. 2016, 131.)

Vesineulauksen periaate on esitetty kuvassa 10. Rainan valmistusprosessista tullut kuituraina yleensä tiivistetään ja kastellaan ennen vesineulausta, jotta siitä saadaan ilmataskut poistettua. Prosessissa vettä imetään injektoriin (3), josta se purkautuu suurella paineella ulos (4) pienireikäisistä suuttimista lävistäen rainan (1), joka on tuettuna liikkuvan hihnan (2) päällä. (Horrocks ym. 2016, 186; Karthik ym. 2016, 124.)



KUVA 10. Vesineulauksen periaate.

Vesisuihkujen paine voi olla 20–600 bar ja niihin sisältyy runsaasti energiaa, jonka vaikutuksesta raina tiivistyy ja muotoutuu irtonaisten kuitujen sotkeutuessa toisiinsa (5). Suihkujen jättämät konesuuntaiset jäljet ovat vesineulattujen kankaisten tunnusmerkki. Myös kuljetinhihnan pinnan kuviointi siirtyy kankaaseen. (Horrocks ym. 2016, 186; Karthik ym. 2016, 124.)

Prosessi on usein suunniteltu siten, että vesineulaus suoritetaan rainan kummallakin puolelle. Injektorien määrä vaihtelee eri kokoonpanojen välillä, mutta vähintään 5–8 injektoria tarvitaan riittävän sitoutumisen ja pinnan tasaisuuden aikaansaamiseksi. Injektorin suuaukon koko on 0,12–0,18 mm ja injektorisarjojen väli on 3–5 mm. Yhdessä injektorisarjassa on 10–20 reikää senttimetrin matkalla. (Horrocks ym. 2016, 186; Karthik ym. 2016, 124–126, 128.)

Prosessi käyttää runsaasti vettä, normaaliolosuhteissa noin 800 kiloa vettä tarvitaan yhden kuitukangaskilon valmistamiseen. Ylimääräinen vesi poistetaan rainasta kuljetinhihnan alapuolella olevan imun avulla. Mikäli rainassa on ylimääräistä kosteutta, vesisuihkun energiasta osa sitoutuu veteen, jolloin kuitujen kietoutuminen huononee. Prosessiin tuodaan jatkuvasti lisää vettä suodatinjärjestelmän kautta. Veden tulee olla puhdasta, jotta estetään injektorin suuttimien tukkeutuminen. Suodatinjärjestelmässä on kolme vaihetta: kemikaalien sekoittaminen ja flokkulointi, liuennon ilman poisto ja hiekkasuodatus. (Karthik ym. 2016, 126, 129.)

Vesineulauksessa voidaan käyttää joko hihnatyyppistä tai rumputyyppistä kuljettinta. Kuljettimen pinta on täynnä pieniä reikiä, joiden kautta vesi saadaan pois-

tettua rainasta. Tietyissä tapauksissa rumputyyppinen kuljetin mahdollistaa paremman kuitujen kietoutumisen, paremman hyötysuhteen ja lisäksi ne ovat pitkäikäisempiä kuin hihnakuljettimet. (Karthik ym. 2016, 129.)

### **Vesineulaus-prosessin ohjaus**

Vesineulattujen kuitukankaiden mekaanisiin ja fyysisiin ominaisuuksiin vaikuttaa eniten se, kuinka hyvin kuidut ovat kietoutuneet toisiinsa. Tärkeimmät siihen vaikuttavat prosessiparametrit ovat vesisuihkun paine, rainan syöttönopeus ja kuljetinhinnan nopeus. Näitä säätämällä voidaan vaikuttaa kankaan rakenteellisiin erityispiirteisiin tai kuitujen kietoutumisasteeseen. (Majumdar ym. 2012, 286.) Kankaan formaatioon ja rakenteeseen vaikuttavat kuitujen, veden ja kuljettimen pinnan väliset vuorovaikutukset. Kuljettimen pinta on merkittävä tekijä, koska se vaikuttaa siihen, miten kuidut uudelleenjärjestyvät prosessin aikana. Kuitujen mekaanisten ominaisuuksien merkitys on suuri, sillä niiden on oltava tarpeeksi joustavia ja pystyttävä kietoutumaan toisiinsa. (Horrocks ym. 2016, 186–187.)

### **Kuidun ominaisuuksien vaikutus prosessissa**

Rainan sitomiseen tarvittava energia riippuu kuidun ominaisuuksista, kuten kuitutyypistä, kimmoisuudesta, tiheydestä, suoruudesta, taivutuslujuudesta, pituudesta ja kuitujen välisistä kitkavoimista, sekä rainan ominaisuuksista kuten tiheydestä, paksuudesta ja kuitujen järjestyksestä. (Majumdar ym. 2012, 286.)

Kuitumateriaalilla on huomattava vaikutus sitoutumiseen ja sen myötä lopputuotteen ominaisuuksiin. Kuidut, jotka ovat vähemmän joustavia sotkeutuvat toisiinsa huonommin. Esimerkiksi puuvillakuitujen tai viskoosikuitujen sitominen vaatii vähemmän energiaa kuin polyesterikuidut. Mitä suurempi kuidun halkaisija on, sitä vaikeampaa niiden yhteen kietominen on, koska halkaisijan kasvaessa kasvaa myös kuidun jäykkyys. (Karthik ym. 2016, 127.)

Kuitujen kietoutumiskohtien määrä riippuu kuitujen päiden lukumäärästä, joten lyhyet kuidut muodostavat enemmän kietoutumiskohtia. Kankaan lujuusominaisuudet ovat kuitenkin riippuvaisia kuitupituudesta. Näiden kahden välillä täytyy löytää sopiva kompromissi, jossa kietoutumiskohtia on tarpeeksi ja samalla lujuus



on riittävä. Esimerkiksi selluloosakuidut ovat lyhyitä ja muodostavat monia sitoutumiskohtia, mutta lyhyytensä vuoksi eivät tuota hyvää lujuutta kankaaseen. (Karthik ym. 2016, 127.)

### **Vesisuihkun vaikutus prosessissa**

Vesineulaus on energiansiirtoprosessi, jossa paineistetun vesisuihkun sisältämä energia siirtyy rainaan. Vesisuihkun sisältämä energia riippuu suihkun tasaisuudesta ja kitkavoimien aiheuttamasta häviöstä. Tutkimusten perusteella on päädytty toteamaan, että paras muoto vesisuihkusuuttimille on alaspäin osoittava kartio, koska tällöin saadaan muodostettua vesisuihkuja, jotka pysyvät koossa pidempään. Paineen on oltava tarpeeksi suuri ja suuttimien tarpeeksi lähellä rainaa, jotta suihku ei leviä pisaroiksi, sillä se aiheuttaa turhaa energiahäviötä ja huonon sidontatuloksen. Injektorin suuttimen etäisyys rainasta on tavallisesti alle 50 mm. (Horrocks ym. 2016, 186; Majumdar ym. 2012, 285; Karthik ym. 2016, 128.)

Veden paine vaikuttaa kuitukankaan lujuuteen, imukykyyn, paksuuteen ja läpäisykykyyn. Paineen lisääminen lisää kuitujen kietoutumista ja täten kankaan lujuutta, mutta saman aikaisesti venyvyys vähenee. Kankaan lujuus lisääntyy tiettyyn pisteeseen asti ja sopivan paineen löytäminen onkin oleellista, koska ylimääräisestä paineesta ei ole juuri hyötyä kankaan ominaisuuksien kannalta. (Majumdar ym. 2012, 286.)

Vesisuihkujen paine voidaan profiloida, eli säätää siten että injektorin paine kasvaa vähitellen injektorisarjan loppupäätä kohti. Parhaassa tapauksessa profiloinnin avulla voidaan pienentää energian- ja vedenkulutusta samalla kun kankaan ominaisuudet ovat parhaat mahdolliset. Paineiden profiloinnista on erityisesti hyötyä kevyille ja harvoille airlaid-rainoille, jotka romahtavat helposti suihkun paineen vaikutuksesta. Tässä tilanteessa voidaan asettaa ensimmäisen suihkun paine tarpeeksi matalaksi, jotta raina tiivistyy ensin. Paineen profiloinnilla on myös havaittu olevan parantava vaikutus kankaan lujuusominaisuuksiin verrattuna tasaisen paineen vesineulaukseen, koska profiloidussa vesineulauksessa kuidut sitoutuvat vähitellen ja paremmin. (Majumdar ym. 2012, 287.)

Kuljetinhihnan nopeus määrittää kuinka paljon vesisuihkujen energiaa siirtyy rainaan pinta-alayksikköä kohti. Kuljettimen nopeuden lisäys vähentää siirtyvää energiaa koska raina on vähemmän aikaa vesisuihkujen alla. Ellei samalla nosteta vesisuihkujen painetta, kankaan lujuusominaisuudet huononevat suuremmilla hihnanopeuksilla. (Majumdar ym. 2012, 288.)

### **Vesineulattujen kuitukankaiden käyttökohteita**

Vesineulausta voidaan hyödyntää kahden tai useamman rainan yhdistämiseen ja myös muotoiltujen verkkojen liittäminen vahvuusominaisuuksien lisäämiseksi on mahdollista. Vesineulattuja kankaita käytetään monissa erilaisissa tuotteissa, kuten kuivissa ja kosteissa liinoissa, lääkinnällisissä sideharsoissa, leikkaussalivaatteissa, lakanoissa ja autoteollisuuden komponenteissa sekä suodatuksessa. (Horrocks ym. 2016, 186–187.) Suosio erityisesti lääketieteellisissä kankaissa selittyy sillä, että vesineulauksessa ei tarvita kemiallisia sideaineita, joten kankaat voidaan tarvittaessa steriloida korkeassa lämpötilassa. Lisäksi niillä on yleensä suhteellisen korkea imukyky. (Karthik ym. 2016, 132.)

## **5.2 Kemiallinen sidonta**

Kemiallinen sidonta tai hartsisidonta tarkoittaa joko koko rainan tai sen osan käsittelemistä liimaavalla aineella, tavoitteena saada kuidut tarttumaan toisiinsa. Kankaan ominaisuudet riippuvat kuitujen ja käytetyn sideaineen (binder) ominaisuuksista, sekä niiden osuuksista. Yleisimmin käytetyt sideaineet ovat polymeerilatekseja. Kemiallisen sidonnan etuna on sen monipuolisuus, sillä valittavina on monia polymeerilatekseja ja lisäaineita sekä erilaisia tapoja lisätä sideaine rainaan. (Horrocks ym. 2016, 176.)

Sideaine lisätään rainaan yleensä vesidispersiona, jolloin tarvitaan kuivaus ja sideaineen silloittaminen, jolloin sideaine kovettuu. Kuivatuksessa neste haihtuu ja lateksin polymeeripartikkelit muodostavat kalvon kuitupinnoille. Lopuksi polymeeri kovetetaan nostamalla lämpötilaa vielä korkeammaksi kuin kuivauksessa. Kovettuessaan polymeeripartikkelien sisälle ja väleihin muodostuu sidoksia ja kuitukankaan kuidut sitoutuvat. (Horrocks ym. 2016, 176–177.)

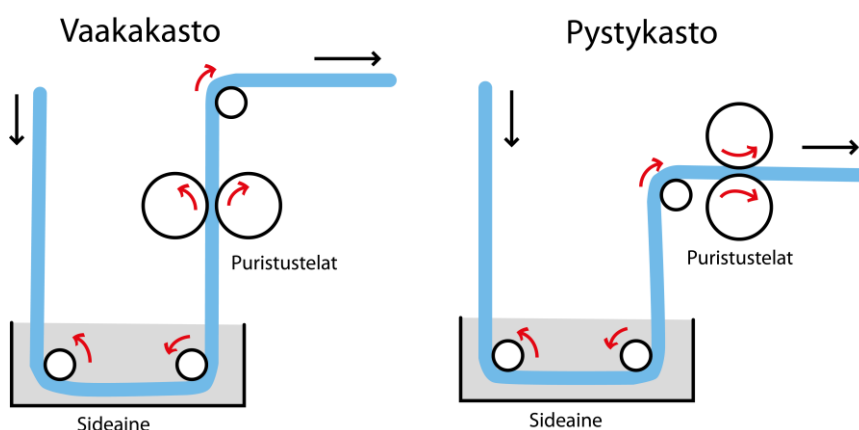
Drylaid-rainoille yleisimmät sideaineen lisäystavat ovat kyllästys-, vaahto-, ruis-  
kutus- ja painomenetelmä. Wetlaid-rainoille käyvät samat menetelmät, mutta  
raina täytyy ensin osittain kuivata ja erityisesti painomenetelmässä rainan täytyy  
olla täysin kuiva. (Karthik ym. 2016, 134.)

### Sideaineen valinta

Sideaineen valinnassa tulee miettiä, millaisia ominaisuuksia valmiilta tuotteelta  
vaaditaan, sen lisäksi, että otetaan kustannukset huomioon. Kuitukankaan lu-  
juusominaisuudet riippuvat vahvasti käytetystä sideaineesta. Kaikki sideaineet  
eivät ole yhtä tehokkaita kaikille kuitutyypeille. Sideaineet tekevät kankaasta ko-  
van ja jäykän, joten pehmeämpää tuntua haluttaessa kuiduilla tulee olla mahdol-  
lisuus liikkua hieman. Sideaineen tulisi kestää lopputuotteelta vaadittua käyttöä,  
kuten pesua ja säilytystä, joillain tuotteilla myös kemikaalien kestoä tai palonkes-  
toa. (Karthik ym. 2016, 134.)

### Kyllästysmenetelmä

Kyllästysmenetelmässä koko raina kastellaan sideaineella, jolloin kaikki kuidut  
päätyvät sideainekalvon peittoon. Rainan kyllästys eli impregnointi tehdään kul-  
jettamalla se sideaineella täytetyn altaan läpi. Ylimääräinen sideaine puristetaan  
rainasta kahden telan välissä. Rainan itseensä imevä sideaineen määrä riippuu  
rainan painosta, kaston kestosta, kuitujen kastuvuudesta ja telojen puristuksesta.  
Kyllästysmenetelmiä on kahdenlaisia, vaakakasto tai pystykasto, joissa erona on  
puristustelojen asemointi (kuva 11). (Karthik ym. 2016, 134).



KUVA 11. Kyllästyssidonta; vaakakasto ja pystykasto (Karthik ym. 2016, 134.)

Raina kuivataan ilmaa läpäisevän kuljettimen päällä kohdistamalla rainan pintaan kuuma ilmavirta. Kuumaa ilmaa voidaan puhaltaa rainan molemmille puolille tai vain toiselle puolelle. Kuivauksen jälkeen sideaine kovetetaan joko erillisellä osastolla tai kuivauksen lopuksi samalla koneella. Kuuman ilman puhaltaminen rainan ylä- ja alapuolelle saattaa luoda ongelmia, mikäli kuuma ilma ei pääse tarpeeksi syvälle rainaan, jäävät keskiosat märiksi. Neste ajautuu märistä kohdistusta kuiviin ja kuljettaa mukanaan sideainehiukkasia. Pahimmillaan tästä seuraa, että suurin osa sideaineesta on rainan pintakerroksissa ja keskiosasta tulee hyvin hauras. Tällöin kankaan pintaosa lähtee helposti irti, jolloin puhutaan delaminaatiosta. Sideaineen kulkeutumista voidaan estää ohjaamalla kuuma ilmavirta vain rainan yhdelle puolelle kerrallaan. Haittapuolena tässä tavassa kuitenkin on, että rainaan saattaa syntyä painaumuksia kuljetinhinnan pinnasta ilmanpaineen vaikutuksesta. (Horrocks ym. 2016, 177–178.)

Kyllästysmenetelmässä haittapuolena on, että prosessissa kuluu runsaasti vettä, mikä lisää kuivaamisen tarvetta ja edesauttaa ei-toivottua sideainehiukkasten siirtymistä. Impregnointi ohentaa rainaa ja kyllästämisen jälkeiset puristustelat tiivistävät sitä entisestään. Kyllästyssidotut kuitukankaat ovat tavallisesti tiiviitä ja ohuita. Kyllästyssidotun kankaan kuidut ovat sideaineen peittämät, muun muassa pintakemialliset ominaisuudet, kitkaominaisuudet ja mekaaniset ominaisuudet sekä kankaan tuntu riippuvat käytetystä sideaineesta. Kyllästyssidotut kuitukankaat ovat muihin tekstiileihin verrattuna jäykkiä eikä niiden vetolujuus ole kovin hyvä. Kankaan joustavuutta voidaan lisätä käyttämällä elastomeerisiä sideaineita tai vähentämällä sideaineen osuutta, seurauksena on tällöin kuitenkin vetolujuuden huononeminen. (Horrocks ym. 2016, 177–178.)

### **Vaahto menetelmä**

Vaahtosidonnassa peruseräteenä on hyödyntää ilmaa, ja myös vähäistä määrää vettä, sideaineen laimentamiseen ja kuljettamiseen. Menetelmässä veteen sekoitettu sideaine ja määrätty ilmamäärä kulkeutuu moottoroidun turbiinin läpi muodostaen vaahdon. Vaahdo sitten ohjataan impregnointitelosten väliseen nippiin. Telat levittävät vaahdon hallitusti sekä puristavat sen rainaan. Telosten puristusta säätämällä voidaan vaahdon tunkeutumista rainaan ja sen jakautu-

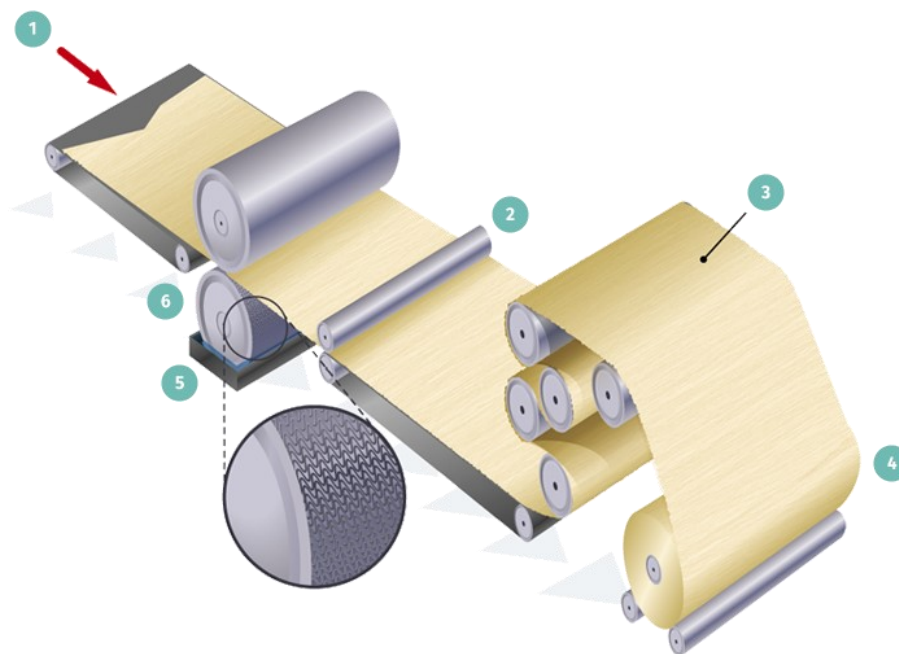
mista säättää asteittaiseksi tai paikalliseksi. Toinen vaihtoehto vaahdon levittämiseen rainalle, on ohjata sen levitystä kuljetushihnan alapuolelle kohdistetun imun avulla. (Horrocks ym. 2016, 178–179; Karthik ym. 2016, 135.)

Vaahdotmenetelmän etuna on, että siinä tarvitaan vähemmän vettä kuin esimerkiksi kyllästysmenetelmässä. Lisäksi voidaan käyttää stabilointiaineita, joilla estetään vaahdon hajoamista sitomisen aikana, jolloin kankaasta saadaan ilmapampi, lujempi ja paremman tuntuinen. (Karthik ym. 2016, 135.)

### **Painomenetelmä**

Sideaine voidaan lisätä kankaaseen myös määrätyn kuvioinnin mukaisesti painamalla. Painomenetelmää käytetään, kun vaatimuksena on, että osa kankaasta on vapaa sideaineesta. Kevyille kuitukankaille usein käytetään painosidontaa. (Horrocks ym. 2016, 179; Karthik ym. 2016, 136.)

Prosessissa raina kastellaan ensin, jotta sideaine saadaan imeytymään paremmin. Joskus myös on tarpeen suorittaa esisidonta, jotta varmistetaan riittävä rainan lujuus. Kuvassa 12 on esitetty painomenetelmän esimerkki. Tässä kuituraina (1) kulkee kahden telan välistä, joista alempi (6) on kuvioitu. Sideaine painetaan rainaan kaiverretulla painotelalla tai sylinteriseripainolla. Kuvioitu tela ottaa mukaansa sideainetta alapuolellaan olevasta altaasta (5) ja siirtää sen rainaan. Sideaineen määrä riippuu telan kaiverretusta alueesta ja kaiverruksen syvyydestä sekä sideaineen kuiva-ainepitoisuudesta. Sylinteriseripainolla saadaan aikaan monipuolisempia kuvioiteja. Raina kulkee kahden lämmitetyn nippitelan välistä (2). Tämän jälkeen raina kuivataan (3), jolloin tapahtuu sideaineen kovettuminen ja kuidut sitoutuvat. Kuivaus ja sideaineen kovetus tapahtuu lämmitetyillä teloilla tai höyrylämmitetyissä kammioissa. Lopuksi kangas rullataan (4). (Horrocks ym. 2016, 179; Karthik ym. 2016, 136–137.)



KUVA 12. Kemiallinen sidonta kuvioidulla kalanterilla (EDANA n.d)

Kankaan ominaisuudet määräytyvät painetun ja painamattoman alueen suhteesta. Sideaineen leviämisen estämiseksi käytetään sakeuttamisaineita. Painomenetelmällä sidotut kankaat ovat yleensä pehmeämpiä ja joustavampia, mutta heikompia kuin kyllästyssidotut kankaat. Painetuilla kuvioilla voidaan myös lisätä kankaan lujuutta, nesteenkuljetusta, pehmeyttä, tuntua, imukykyä ja laskeutuvuutta. (Horrocks ym. 2016, 179; Karthik ym 2016, 136.)

### **Ruiskutusmenetelmä**

Ruiskutusmenetelmässä sideaine lisätään rainaan ruiskuttamalla paineen tai paineilman avulla. Sumuttimia on useita vieretysten ja ruiskutus tapahtuu toistuvasti, koska sidosaine imeytyy vain vähän kerrallaan, tosin imulla voidaan auttaa imeytymistä. (Horrocks ym. 2016, 179; Karthik ym. 2016, 136.)

Jotta voidaan ehkäistä sideaineen kulkeutumista rainan alapuolelle, raina käännetään ympäri kuljetushihnalla ja ruiskutetaan toiselta puolelta toisella ruiskutus- asemalla. Jokaisen ruiskutuskerran jälkeen raina kuljetetaan lämmitysyksiköiden läpi, jolloin vesi poistuu ja sideaine kovettuu. Jokainen ruiskutuskerta ohentaa rainaa hieman, mutta lopputuote on tavallisesti silti paksu, ilmava kangas. (Horrocks ym. 2016, 179; Karthik ym. 2016, 136.)

## Jauhemenetelmä

Jauhemenetelmässä jauhemaista lämpösulavaa polymeeriä lisätään rainaan lämmön ja paineen avulla. Sideaineena käytetään polyestereitä ja polyolefiineja, joilla on alhainen sulamispiste. Prosessissa sideainetta annostellaan rainan päälle pyörivän harjatelan avulla. Jauhemainen sideaine sulatetaan infrapunauunissa ja jäähtyttyään se kovettuu uudelleen. Menetelmän etuna on kankaan paksuuden lisääntyminen ja soveltuvuus polyesteri- tai polypropeenirainoille. Huonona puolena on sopivien partikkelikokojen ja -jakauman löytämisen ja niiden jakautumisen vaikeus. (Karthik ym. 2016, 137.)

## Tuotteet

Tyypillisiä käyttökohteita ovat kertakäyttöiset suojavaatteet, pyyheliinat sekä kotitalouksien tiskirätit ja pölyrätit. Kemiallisesti sidottuja kuitukankaita käytetään myös tikkikankaan täytteissä, peitoissa ja verhoilussa sekä kiillotus- ja puhdistuslappuina ja suodatinkankaina (Horrocks ym. 2016, 179.) Erityisesti ruiskutussidottuja kankaita käytetään kohteissa, joissa tarvitaan pysyvää ilmavaa rakennetta, kuten esimerkiksi täytteenä ja pyyheliinoissa. (Karthik ym. 2016, 137.)

### Esimerkkejä käyttökohteista

- Liinat ja pyyhkeet
- Lääketieteelliset kuitukankaat
- Kattomateriaalit
- Vaatteiden sisävuorit
- Suodattimet
- Pinnoitetut alustat
- Autojen sisätilat
- Kuljetuskankaat
- Vuodevaatteet (vain highloft-kankaat)
- Huonekalukankaat (vain highloft-kankaat)
- Vaatetuskankaat
- Tyynynt (vain highloft-kankaat)

(Karthik ym. 2016, 138.)

### 5.3 Terminen sidonta

Terminen eli lämpösidonta perustuu sidosten muodostumiseen kuitujen välille lämmön vaikutuksesta eli koheesioon. Menetelmissä hyödynnetään sitä, että termoplastiset polymeerit pehmenevät ja sulavat lämpötilan noustessa, ja jäähtyessään kovettuvat sitten uudelleen. Rainassa kosketuksissa olevat kuidut kiinnittyvät toisiinsa muodostaen koheesiosidoksia, tai joissain tapauksissa adheesiosidoksia. (Horrocks ym. 2016, 179.)

Terminen sidonta soveltuu käytettäväksi kaikilla rainanmuodostusmenetelmillä valmistettuihin rainoihin. Sidonnassa voidaan hyödyntää rainassa olevia kuituja, lisättyä sideainejauhetta tai kahden rainan väliin lisättävää termoplastista kangasta. Erilaisia menetelmiä, joita lämpösidonnassa käytetään, ovat esimerkiksi kuumakalanterointi, hihnakalanterointi, kuumailmasidonta, ultraäänisidonta ja lämpösäteilysidonta. (Horrocks ym. 2016, 180; Karthik ym. 2016, 139–140.)

Lämpösidonnassa raaka-aineiden ominaisuuksilla on suuri merkitys menetelmää valittaessa. Polymeerikuitujen ollessa samaa materiaalia, niiden sulamispiste on myös sama. Tällöin rainaa ei ole syytä lämmittää koko alaltaan tai lopputuloksena saattaa olla kaikkien kuitujen sulaminen yhteen muovilevyksi. Lisäksi lämpötila-alue on rajallinen. Liian korkeassa lämpötilassa rainasta tulee liian juoksevaa ja se menettää kangasmaisen muotonsa. (Horrocks ym. 2016, 179–180; Karthik ym. 2016, 139.)

Yksi vaihtoehto tämän välttämiseksi on käyttää kahden eri kuidun sekoitusta, jossa toisella on korkeampi sulamispiste. Tällöin ongelmaksi voi tosin muodostua tilanne, jossa toinen kuiduista sulaakin kokonaan ja raina painuu kasaan. Toinen vaihtoehto on käyttää kaksikomponenttikuitua (bico), jossa keskellä on polymeeriä, jonka sulamispiste on korkeampi kuin sitä ympäröivän polymeerikerroksen. Sidontaprosessissa toinen komponentti säilyy sulamattomana ja pitää rainan muodossaan, kun taas toinen sulaa ja sitoo rainan. (Horrocks ym. 2016, 179–180; Karthik ym. 2016, 139.)

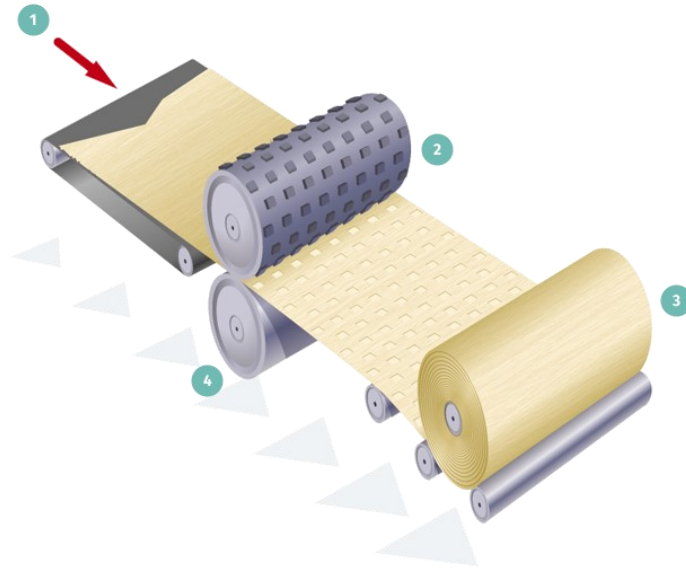


Jauhemaisen polymeerin lisääminen rainaan on jossain tapauksissa käytetty menetelmä. Rainoihin, joissa ei ole käytetty termoplastisia kuituja, voidaan lisätä jauhemaisessa muodossa olevaa termoplastista polymeeriä. Eniten käytetty sideaine on jauhemainen polyeteeni. Jauheen lisäys tehdään joko rainan valmistusvaiheessa kuitujen sekaan, ristikkäislevityksessä kerrosten väliin tai rainan muodostuksen jälkeen esisidotun kankaan pinnalle. Lyhyt uunissa lämmitys riittää sulattamaan jauheen. Sideainejauhetta käytetään, kun tavoitellaan kevyttä kangasta, jolla on pehmeä tuntu, tai kun tarvitaan lujitettua, muotopysyvää tuotetta. Kankaista tulee pehmeitä, joustavia ja ne eivät ole tiiviitä, ja niiden lujuus on verrattain alhainen. Jauhesidotuilla kankailla on monia käyttökohteita, mutta tyypillisimmät lopputuotteet ovat välivuorit, kenkien kangasosat ja lattianpäällysteet. Haasteena on saada jauhe jakautumaan tasaisesti koko rainaan ja rainan valmistuksen jälkeen lisätty jauhe ei juuri pääse rainan sisään. (Horrocks ym. 2016, 180–181; Karthik ym. 2016, 139–140.)

Kaksi erillistä rainaa voidaan sitoa yhteen siten, että niiden väliin asetetaan ohut, matalassa lämpötilassa sulava kangas. Tätä menetelmää ei tosin kovin usein käytetä. Termisen sidonnan aikana, esimerkiksi kalanteroimalla, kangas sulaa ja sitoo rainat yhteen. Tällä tavoin valmistettu kuitukangas on hauras ja paksu. (Karthik ym. 2016, 140.)

### **5.3.1 Kuuma- ja hihnakalanterointi**

Kuumakalanterisidonnassa (kuva 13) raina (1) kulkee kahden suuren lämmitetyn kalanteritelan välistä. Toinen tela on kohokuvioitu (2) ja toinen on sileä (4). Telojen välisen paineen ansiosta kuidut puristuvat kasaan ja lämpö siirtyy kuituihin, jolloin ne alkavat pehmetä ja sulaa. Jos rainan neliömassa ei ole liian suuri, lämpeneminen tapahtuu nopeasti ja prosessissa voidaan käyttää suuria (jopa yli 350 m/min) linjanopeuksia. (Horrocks ym. 2016, 180.)



KUVA 13. Esimerkki kuumakalanterisidonnasta (EDANA n.d.).

Kalanterien puristaessa rainaa, siihen pitää saada siirtymään kuitujen sulamiseen vaadittava lämpötila ja paineen vaikutuksesta suurempi osa kuiduista päätyy kosketuksiin toistensa kanssa, jolloin saadaan enemmän sitoutumiskohtia. Tällä on vaikutus muun muassa sidotun rainan lujuuteen sekä muihin ominaisuuksiin. Prosessissa pyritään pitämään tasainen paine kaikkien kalanterien välissä. Vaadittava nipin paine riippuu rainan tyypistä, kalanteritelan kuvioinnista ja lopputuotteesta. Esimerkiksi filamenttirainoille tarvitaan suurempi paine, kuin tapulikuiturainoille. Myös painavimmat rainat vaativat suuremman paineen. Kalanterien ja rainan välinen kontaktiaika riippuu konenopeudesta. Suuremmilla nopeuksilla kontaktiaika pienenee, jolloin nippipainetta täytyy kasvattaa. (Karthik ym. 2016, 140–141.)

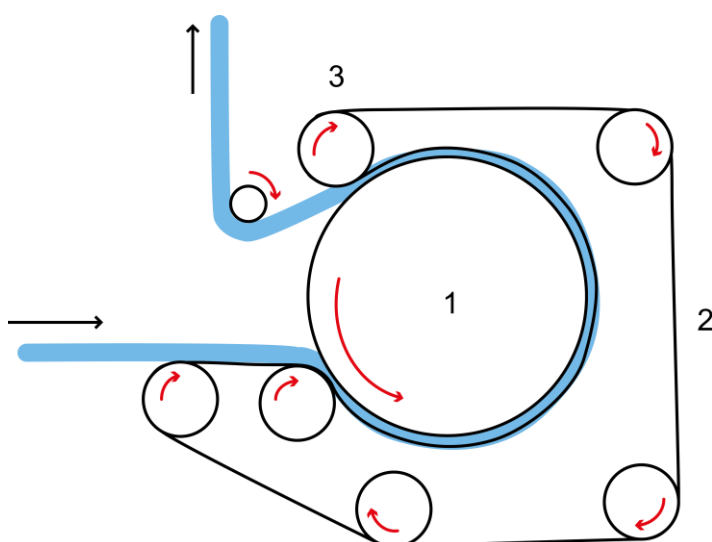
Tavallisesti vähintään yksi prosessin kalanterista on kuvioitu, koska pelkillä siileillä teloilla kalanteroidut kankaat ovat liian jäykkiä ja tiiviitä. Kuvioidut telat rajoittavat niiden välistä kontaktia kuvioinnista riippuen jopa neljäsosaan koko alasta. Kuviointi vaikuttaa myös kankaan ulkonäköön ja sen ominaisuuksiin, sillä kuitujen sitoutuminen tapahtuu lähes pelkästään telan koholla oleviin kohtiin, minkä vuoksi osa kuiduista jää sitoutumatta. Kankaasta tulee joustava ja suhteellisen pehmeä, ja samalla etenkin spunmelt-kankaille saadaan kelvolliset vahvuusominaisuudet. (Horrocks ym. 2016, 180–181.)

## Kalanterin lämmitys

Kalanteritelojen lämmittämiseen on useita erilaisia vaihtoehtoja. Yleisimmät tavat ovat kuuma vesi, neste tai höyry, sähkö, kaasu ja kuuma öljy. Vesi- tai nestelämmitteisen kalanterin sisässä on kammio, joka on osittain täytetty nesteellä. Nestettä lämmitetään lämmityskierukalla, jolloin syntyy paineistettua höyryä. Höyry lämmittää kammion seinämää ja lämpö johtuu kalanterin ulkopinnalle. Sähköisesti lämmitettävät kalanterit lämmitetään sisältäpäin. Sähkölämmityksessä etuna on helppo ja nopea säädettävyys. Kaasulämmitteiset kalanterit sisältävät polttimen, jolla kaasu saadaan palamaan. Tulen käyttö voi olla turvariski, minkä vuoksi kaasulämmitys ei välttämättä sovi. Öljylämmitteisissä kalantereissa on spiraalikanava, jonka läpi kuuma öljy virtaa. (Russell 2007, 316–317.)

## Hihnakalanterointi

Hihnakalanterointi on kehitetty kuumakalanteroinnin pohjalta ja siksi sen sidontaperiaate on samantapainen. Prosessiin (kuva 14) kuuluvat lämmitetty tela (1) ja joustava hihna (2), joka kiertää telan ympäri. (Karthik ym. 2016, 144–145.)



KUVA 14. Hihnakalanteroinnin periaate (Karthik ym. 2016, 145).

Kuitukangasrainan sitominen tapahtuu syöttämällä sitä telan ja hihnan väliin. Tarvittava paine syntyy muuttamalla hihnan ja telan välisetä jännitystä sekä poistohjaustelan (3) painetta. Verrattuna kuumakalanterointiin, käytetty paine on vain kymmenesosa kuumakalanteroinnissa käytetystä paineesta. (Karthik ym. 2016, 144–145.)

Hihnakalanteroidut kuitukankaat eivät ole yhtä tiheitä kuin kuumakalanteroidut. Menetelmällä on mahdollista käyttää sideaineita, joilla on jyrkät sulamis- ja juoksevuusominaisuudet. Kuumakalanteroinnissa niiden käyttö on hankalaa. Kalanterisidottuja kankaita käytetään esimerkiksi matoissa, geotekstiileinä, suodatin-kankaina, suoja- ja kertakäyttövaatteissa ja hygienia tuotteissa. (Horrocks ym. 2016, 180–181; Karthik ym. 2016, 145.)

### 5.3.2 Kuumailmasidonta

Kuumailmasidonnassa hyödynnetään kuuman ilman puhaltamista rainan pinnalle. Kuumaa ilmaa vedetään nopeasti rainan läpi, jolloin sideaine lämpenee tasaisesti ja alkaa sulaa. Kuumailmasidonnassa voidaan sideaineena käyttää kiteisiä sidekuituja, bi-komponenttikuituja ja jauheita, mutta käytännössä vain bi- tai tri-komponenttikuituja käytetään. Pääasialliset sidepolymeerit ovat polyesteri, polypropeeni ja polyeteeni. Kuumailmasidontaan voidaan käyttää kuumailmauunia tai pyörivää telarumpua. (Horrocks ym. 2016, 180; Karthik ym. 2016, 145–146; Russell 2007, 318–319.)

Uunimenetelmässä raina kuljetetaan kuumailmauunin läpi ilmaa läpäisevän kuljettimen avulla. Rainan läpi puhalletaan kuumaa ilmaa kammiossa olevien reikien kautta. Sideaine sulaa nestemäiseksi ja levittäytyy rainan koko poikkipinta-alalle. Kuumennuksen jälkeen rainaan puhalletaan jäähdytysilmaa sulaneen sideaineen uudelleen jähmettämiseksi, jolloin sitoutuminen tapahtuu. (Karthik ym. 2016, 146.) Lisäksi uunin jälkeen voidaan johtaa raina kahden kalanteritelan välistä. Jäähdytysylinterejä voidaan käyttää jäähdytykseen ennen kankaan rullausta. (Horrocks ym. 2016, 180.) Rumputyyppisessä kuumailmasidonnassa raina kiertää reiitettyä telaa. Rainan pintaan kohdistetaan kuuma ilmavirta, joka läpäisee rainan sulattaen sideaineen. (Karthik ym. 2016, 146.)

Kuumailmasidonnassa ilman lämpötila ja nopeus sekä uunissa oloaika vaikuttavat syntyvien sidosten vahvuuteen. Rainan paksuutta voidaan säätää käyttämällä uunissa rainan yläpuolella toista ilmaa läpäisevää levyä, joka puristaa rainaa ja estää kutistumista. (Horrocks ym. 2016, 180.)

Kuumailmasidontaa käytetään highloft ja kevyille kankaille. Se on myös hyvä sidontatapa raskaille rainoille, koska kuitujen sitoutuminen tällä menetelmällä on hyvin tasaista. (Horrocks ym. 2016, 180.) Tuotteet ovat yleensä paksuja, pehmeitä, vahvoja, venyviä, hengittäviä ja imukykyisiä (Karthik ym. 2016, 146).

### 5.3.3 Ultraääni- ja lämpösäteilylidonta

Ultraäänisidonta perustuu ultraäänellä, eli korkeataajuisella värähtelyllä, tuotettujen mekaanisten hakkaamisvoimien kohdistamiseen paikallisesti rainaan. Ultraäänilähteenä käytetään ultraäänitorvea. Värähtelyn mekaaninen energia muuttuu lämpöenergiaksi, joka pehmentää toisiaan vasten puristuneita kuituja. Kun ultraäänilähde poistetaan, kuidut alkavat jäähtyä ja muodostuneet sidokset kiinteytyvät. Menetelmää käytetään yleensä piste- tai kuviosidontaan, koska ultraäänitorven ja rainan välinen kontaktiala on hyvin rajoittunut. (Karthik ym. 2016, 147; Russell 2007, 324.)

Synteettisistä kuiduista valmistettuihin rainoihin ei tarvitse käyttää sideainetta, koska ne kykenevät sitoutumaan itsestään. Luonnonkuituja, tai muita sulamattomia kuituja, käytettäessä täytyy niiden joukkoon sekoittaa myös termoplastisia kuituja ainakin 50 % rainan painosta. (Karthik ym. 2016, 147.)

Menetelmän etuna on, että siinä ei siirry energiaa muualle kuin rajattuihin kohtiin, joissa sitoutuminen tapahtuu. Sitomisen rajoittaminen tiettyihin kohtiin saa aikaan kankaita, joilla on tarkat sitoutumiskohdat ja erinomainen ulkonäkö. Suurin ongelma menetelmässä tulee vastaan, kun halutaan sitoa raina tasaisesti koko leveydeltään. Tähän tarvittaisiin useita päällekkäisiä torvia, mistä seuraisi näkyviä raitoja valmiiseen kuitukankaaseen. Prosessi on myös hidas, jos sidottavat alueet ovat laajoja. Lisäksi ultraäänitorvia pitää huolellisesti huoltaa. (Russell 2007, 235.)

Ultraäänen avulla sidotut kuitukankaat ovat pehmeitä, hengittäviä, imukykyisiä ja vahvoja. Loppukäyttökohteet ovat muun muassa kuvioidut komposiitit ja laminaatit, täkit ja ulkoilutakit. (Karthik ym. 2016, 147.)

### **Lämpösäteilyssidonta**

Perinteisesti lämpösäteilyä on käytetty tekstiilien viimeistelyprosesseissa kuitukankaiden sitomiseen, mutta sitä voidaan hyödyntää myös kuitukankaiden sitomiseen. Lämpösäteilyssidonnassa sidottava raina altistetaan infrapunasäteilylle. Säteilyn elektromagneettinen energia absorboituu rainaan ja sen lämpötila nousee. Säteilyä säädellään, jotta vain sideaine pehmenee ja rainan kuidut eivät vahingoitu. Rainan sitoutuminen tapahtuu, kun säteily loppuu ja sideaine kovettuu uudelleen. (Karthik ym. 2016, 148; Russell 2007, 322.)

Menetelmän etuna on se, ettei siinä aiheudu haittaa rainan rakenteeseen, koska kontaktia esimerkiksi metalliosiin tai kuumaan ilmavirtaan ei ole. Rainan sitominen onnistuu ilman kutistumista tai kuitujen vääristymistä, kuten muilla sidontamenetelmillä. Lämpösäteilyssidontaa käytetään hyvin usein jauhemaisten sideainneiden kanssa. Haittapuolena menetelmässä on, että rainan pinta lämpenee nopeammin kuin keskikohta, jolloin tasainen sitoutuminen rainan poikkileikkauksessa on hankala saavuttaa. (Russell 2007, 323–324.)

## 6 VIIMEISTYKSET

Kuitukankaiden viimeistyksillä saadaan vaikutettua kankaan ominaisuuksiin, ulkonäköön ja tuntuun sekä prosessoitavuuteen. Viimeistystoimet voidaan suorittaa jo raaka-ainekuidulle tai valmiille kuitukankaalle. Viimeistysten merkitys on kasvanut, kun tuottajat pyrkivät lisäämään tuotteensa toiminnallisuutta, ulkonäköä ja estetiikkaa. Monille kuitukankaalle viimeistyksiä ei kuitenkaan tehdä. (Nurmi & Tuomisto 1993, 28; Russell 2007, 368.)

Viimeistysprosessien valinta ja tavoitellut lopputulokset riippuvat täysin kuitukan-  
kaan käyttökohteesta. Viimeistykset voidaan jakaa mekaanisiin ja kemiallisiin viimeistysmenetelmiin tai kuiva- ja märkäviimeistyksiin. (Nurmi & Tuomisto 1993, 28; Russell 2007, 368.) Esimerkkejä erilaisista viimeistystoimenpiteistä on taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Viimeistelytekniikoita (Nurmi & Tuomisto 1993, 28–29).

Mekaaniset viimeistelyt	Kemialliset viimeistelyt
Lämpökutistus	Pesu
Rypytys tai kreppaus	Värjäys
Mikrokreppaus	Paino
Kiillotus	Laminointi
Kalanterointi	Pinnoitus
Prässäys	Flokkaus tai nukkaus
Rei'itys	Muut erikoisviimeistykset
Halkaisu	
Hionta	
Harjaus	
Nukkaus	
Poltto	

## 7 KUITUKANKAIDEN LAATU

Kuitukankaiden testaukseen on laadittu standardeja eri organisaatioiden toimesta. Esimerkkejä standardeista ovat DIN- (Deutsches Institute für Normung), BS- (British Standards Institution), NF- (Association Française de Normalisation), EN- (Europäisches Institut für Normung), ISO- (International Organization for Standardization) ja ASTM- (American Society for Testing and Materials) standardit. Myös EDANA:lla on jäsenilleen omat suosituksensa, NWSP (Nonwoven Standard Procedures), kuitukankaiden testausmenetelmistä. (Albrecht ym. 2003, 638.) Suomessa kuitukankaiden testaukseen käytetyt standardit ovat liitteinä. EN-ISO-standardit, jotka koskevat suoraan kuitukankaita on listattu liitteessä 1 ja NWSP-testaukset ovat liitteenä 2.

Kuitukankaiden laatuluokittelussa tärkeitä parametrejä ovat neliömassa, paksaus, joustavuus ja ilman läpäisykyky (Albrecht ym. 2003, 718). Esimerkkejä tärkeistä kuitukankaiden ominaisuuksista ovat:

- Mekaaniset ominaisuudet: vetolujuus, kimmokerroin, lujuus, joustavuus, puristuvuus, taivutuslujuus, repäisyjujuus, puhkaisulujuus, hankauslujuus, pintaominaisuudet.
- Nesteen käsittelyominaisuudet: läpäisevyys, imukyky, vesihöyryn siirto-kyky, hengittävyys
- Fysikaaliset ominaisuudet: lämmön ja äänen eristävyys sekä johtavuus, sähköstaattiset ominaisuudet, sähkönjohtavuus, opasiteetti
- Kemialliset ominaisuudet: rasvanhylkivyyt, vedenhylkivyyt, kemikaalien kesto, märkäkäsittelyn kesto, palonkesto, värjäytyvyys, likaantuvuus
- Sovelluskohtaiset ominaisuudet: nukkaavuus, ulkonäkö ja tuntu, suodatuskyky, biohajoavuus, steriloinnin kesto, turvallisuus

(Russell 2007, 402.)

Kasvomasteille tärkeitä testattavia ominaisuuksia ovat ilmaläpäisykyky, bakteerien suodatuskyky ja roiskesuojauskyky. INDA, yhteistyössä NIOSH:in (National Institute for Occupational Safety and Health) ja ASTM:n kanssa, on kehittämässä suorituskykystandardia kasvomasteille. Standardissa tulisi sisältämään testausmenetelmät ja kaksi suorituskykytasoa. (INDA 2021.)



Leikkaussalikaavuista testataan muun muassa virusten läpäisyä ja hydrostaattisen paineen kestoja. Leikkaussalilakanan tärkeät ominaisuudet ovat laskeutuvuus, ilmanläpäisy, neliömassa, murtolujuus- ja venymä, palonkesto, antibakteerisuus, lämmönkesto ja nukkaavuus. Vaippojen, inkontinenssisuojien ja terveysiteiden tärkeitä ominaisuuksia ovat imukyky, imeytymisnopeus ja kosteudenpityky, sekä hengittävyys ja hävitettävyys. (Karthik ym. 2016, 204–207.)

Suojavaatetuksille tehtävät testaukset ja vaaditut ominaisuudet riippuvat kohteesta. Palomiesten suojavaatteille, hitsaussuojavaatteille ja muille teollisuuden työntekijöiden suojavaatteille on omat standardinsa. Lisäksi on yleiset suojavaatteisiin liittyvät standardit, joissa muun muassa testataan niiden suojaavuutta kuumudelta ja liekiltä. Geotekstiileille tärkeät ominaisuudet ovat neliömassa, paksuus, murtolujuus ja muut lujuusominaisuudet, puhkaisulujuus, UV-kesto, hankauslujuus, läpäisykyky ja huokoskoko. Suodattimista testataan muun muassa niiden sisältämät kemikaalit, ilmanläpäisykyky, tiheys ja jäykkyys, huokoskoko, vetolujuus, repäisyjujuus, vedenhylkivyyys, palonkesto sekä suodatusteho. Lisäksi niiden käyttöikä testataan. (Karthik ym. 2016, 204–207.)

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kuitukankaiden valmistusmenetelmät poikkeavat toisistaan huomattavasti. Rainan valmistuksessa voidaan hyödyntää mekaanista kuitujen erottelua ja levitystä, ilmalevitystä, märkälevitystä tai valmistaa polymeerejä sulattamalla kuitufilamenteja, joista raina muodostuu. Rainan sidonta voi perustua joko mekaaniseen kuitujen toisiinsa sotkeutumiseen, kemikaaleilla liimaamiseen tai lämmöllä kuitujen ja sideaineiden sulattamiseen.

Karstauksessa kuidut erotetaan toisistaan mekaanisesti. Kuitujen siirtyessä karsalta toiselle, ne repeytyvät irralleen toisistaan ja orientoituvat konesuuntaisesti. Karstattuja rainoja voidaan kerrostaa joko samansuuntaisesti tai ristikkäin, jolloin kerrokset ovat toisiinsa nähden 90° kulmassa. Airlaid-menetelmässä kuidut erotellaan ja niiden kuljetukseen ja rainan levitykseen käytetään ilmaa. Kuituorientaatio on sattumanvarainen, jolloin rainaan saadaan yhtä hyvät lujuusominaisuudet kaikkiin suuntiin. Wetlaid-menetelmässä kuidut ovat sekoitettuna veden kanssa laimeaksi suspensioksi. Suspensio levitetään kuljettimelle, jonka läpi vesi imetään pois ja vain kuidut jäävät hihnalle muodostaen rainan. Spunbond- ja meltblown-prosesseissa polymeerirakeet sulatetaan ekstruuderissa ja polymeerisula puristetaan pienihalkaisijaisten suulakkeiden läpi hienoiksi filamenteiksi. Spunbond-prosessissa filamentit jäähdytetään ja venytetään joko ilman tai venytysvalssin avulla tavoitehienouteen ja kerätään rainaksi kuljetushihnalle, joka kuljettaa rainan sidottavaksi esimerkiksi kuumakalanterilla. Meltblown-prosessissa venytys tapahtuu kuumalla ilmalla filamenttien ollessa vielä kuumia. Filamentit matkaavat kerääjälle, jonka päälle itsesitoutuva raina muodostuu jäähtyessään.

Mekaaniset rainansidontamenetelmät perustuvat kuitujen toisiinsa kietomiseen mekaanisten voimien vaikutuksesta. Neulauksessa rainaa pistellään neuloilla, joissa on väkäsiä, jotka sieppaavat kuituja mukaansa ja sotkevat ne kiinni toisiinsa. Ommelsidonnassa rainan läpi tikataan koukkupäisillä neuloilla lankoja, joiden muodostamat silmukat sitovat rainan. Vesineulauksessa suurella paineella tuleva ohut vesisuihku lävistää rainan ja sitoo sen kuljettamalla kuituja mukanaan rainan paksuuden läpi. Kemiallisessa sidonnassa käytetään sideaineita, jotka ovat useimmiten erilaisia polymeerilatekseja. Sideaine voidaan lisätä jo rainan

valmistusvaiheessa kuitujen sekaan tai jo muodostettuun rainaan kastamalla, ruiskuttamalla, jauheena tai painamalla. Sideaine kuivataan ja kovetetaan uunissa, jolloin se sulaa ja sitoo rainan kuidut yhteen. Terminen sidonta soveltuu erityisen hyvin spunmelt-menetelmien kuitukankaille, sillä niihin ei tarvitse lisätä lämpösulavia kuituja tai sideaineita. Menetelmä perustuu polymeerin sulattamiseen ja uudelleen kovettamiseen, jolloin kuitukangasrainan kuidut sitoutuvat. Kuumakalanterisidonnassa ja hihnakalanterisidonnassa käytetään kuumaa kalanteritelaa. Kuumailmasidonnassa sidonta tapahtuu kuumalla ilmalla. Muita termisiä sidontamenetelmiä ovat ultraääni- ja lämpösäteilyidonnat.

Kuitukankaat ovat hyvin ajankohtainen aihe ja erityisesti COVID-19 on lisännyt kuitukankaista valmistettujen tuotteiden, kuten kasvomaskien, kysyntää. Suomeksi kuitukankaiden valmistuksesta on kuitenkin kirjoitettu hyvin vähän. Englanninkielisten lähdemateriaalien käyttämisessä suurimmaksi ongelmaksi koitui erilaisten termien suomentaminen. Suomenkielisen materiaalin puuttuessa, joidenkin termien käännökset saattavat olla hieman ontuvia. Kirjallisuudesta osa alkaa jo olla vanhaa tietoa, joten uuden tiedon löytäminen oli haastavaa. Verkossa on runsaasti tietoa ja artikkeleja kuitukankaista, mutta sivujen luotettavuudesta ei ollut takeita. Kirjalähteitä löytyi kuitenkin hyvin ja osassa mentiin hyvinkin syvälle eri prosessien periaatteisiin.

Työssä olisi voinut vielä lisäksi selvittää suurimpia kuitukankaiden valmistajia globaalilla tasolla. Myös kuitukankaiden laatuvaatimuksista olisi hyvä tehdä tarkempaa selvitystä, esimerkiksi kyselytutkimuksella jatkojalostajille ja kysyä heiltä, millaisia vaatimuksia heillä on ostaessaan kuitukangasta tuotteidensa materiaaliksi. Työ on nykyiselläänkin sen verran laaja, että rajauksia täytyi tehdä, jotta sivumäärä ei kasvaisi liian suureksi.

## LÄHTEET

Ahlstrom-Munksjö Oyj. n.d. Products. Luettu 15.5.2021.

<https://www.ahlstrom-munksjo.com/products/>

Albrecht, W., Fuchs, H. & Kittelmann, W. 2003. Nonwoven fabrics: Raw materials, Manufacture, Applications, Characteristics, Testing Processes. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Dafecor Oy. Tuotantoprosessi. Luettu 3.6.2021.

<https://dafecor.fi/tuotantoprosessi>

Delipap Oy. n.d. Brändit. Luettu 15.5.2021.

<https://delipap.fi/brandit/>

DesiNgMasK Oy. n.d. Etusivu. Luettu 15.5.2021.

<https://desingmask.fi/>

EDANA. n.d. How are nonwovens made? Luettu 20.03.2021.

<https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made>

EDANA. 2019a. 2019 EDANA Nonwoven Statistics Released. Luettu 29.4.2021.

<https://www.edana.org/about-us/news/2019-edana-nonwoven-statistics-released>

EDANA. 2019b. Nonwovens markets, facts and figures. Luettu 29.4.2021.

<https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-markets>

EDANA. 2021. Nonwovens Standard Procedures. Luettu 15.5.2021

[https://www.edana.org/docs/default-source/international-standards/table-of-content-nw-standard-procedures-20210105.pdf?sfvrsn=4ede1add\\_20](https://www.edana.org/docs/default-source/international-standards/table-of-content-nw-standard-procedures-20210105.pdf?sfvrsn=4ede1add_20)

Fiblon Oy. 2017. Instagram-julkaisu. Luettu 3.6.2021.

<https://www.instagram.com/p/BTQf2oIgm8H/>

Fiblon Oy. n.d. Fibra. Luettu 15.5.2021.

<https://www.fiblon.com/fibra/>

Filterpak Oy. n.d. Tuotteet kaikkiin puhtaan ilman ratkaisuihin. Luettu 15.5.2021.

<https://filterpak.fi/tuotteet/>

Fredman Group. n.d. Fredman Carita-kuituliina. Luettu 15.5.2021.

<https://fredmangroup.com/tuotteet/puhdistus/carita/>

Horrocks, A. Anand, R. & Subhash C. 2016. Handbook of Technical Textiles, Volume 1 - Technical Textile Processes. Cambridge: Woodhead Publishing. E-kirja. Knovel.

Hypap Oy. n.d. Hypapin tuotteet. Luettu 15.5.2021.

<https://www.hypap.fi/fi/tuotteet/>

INDA. n.d. Nonwovens Glossary of Terms. Luettu 25.4.2021.  
<https://www.inda.org/about-nonwovens/nonwovens-glossary-of-terms>

INDA. 2021. INDA Webinar Series to Address Global Nonwovens Issues: Upcoming Facemask Standards, Single Use Plastics Legislation, and Impacts of Recent Capacity Announcement. Päivitetty 2.2.2021. Luettu 3.6.2021.  
<https://www.inda.org/inda-webinar-series-to-address-global-nonwovens-issues-upcoming-facemask-standards-single-use-plastics-legislation-and-impacts-of-recent-capacity-announcement/>

Intermedius Oy. n.d. Tuotteet ja palvelut. Luettu 15.5.2021.  
<https://intermedius.fi/tuotteet-ja-palvelut/>

Intermedius Oy. 2019. Investoimme tuotantokapasiteettiin polyesterihuovan kysynnän kasvaessa. Luettu 1.6.2021.  
<https://intermedius.fi/investoimme-tuotantokapasiteettiin-polyesterihuovan-kysynnän-kasvaessa/>

Jukka Packalen Oy. n.d. Jukka Packalen Oy jalostaa kuitukangasliinoja 40 vuoden kokemuksella. Luettu 15.5.2021.  
<https://www.jukkapackalen.fi/>

Karthik, T, Praba Karan, C. & Rathinamoorthy, R. 2016. Non-Woven: Process, Structure, Properties and Applications. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd. E-kirja. ProQuest Ebook Central.

Lumi Medical. n.d. Etusivu. Luettu 15.5.2021.  
<https://lumimedical.com/>

Majumdar, A., Das, A., Alagirusamy, R. & Kothari, V. K. 2012. Process Control in Textile Manufacturing. Cambridge: Woodhead Publishing. E-kirja. ProQuest Ebook Central.

MET Magazine. 2020. Worldwide Outlook for the Nonwovens Industry (2018–2023). Luettu 15.5.2021.  
<https://www.metissue.com/articles/worldwide-outlook-for-the-nonwovens-industry--2018-2023->

Motiva. 2017. Materiaalikatselmus, Suominen Oyj. Luettu 1.6.2021.  
[https://www.motiva.fi/files/12297/Motiva-materiaalikatselmus\\_Suominen\\_Kuitukankaat\\_Oy.pdf](https://www.motiva.fi/files/12297/Motiva-materiaalikatselmus_Suominen_Kuitukankaat_Oy.pdf)

Nonwovens in daily life. n.d. EDANA. Luettu 21.5.2021.  
<https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life>

Nurmi, S. & Tuomisto, M.-T. 1993. Kuitukankaat. Helsinki: Tekes.

Oy Lifa Air Ltd. n.d. Lifa Air -maskit. Luettu 15.5.2021.  
<https://lifamasks.com/>

PolarWipe Oy. n.d. Monitoimipyyhkeet. Luettu 30.5.2021

<http://www.polarwipe.com/monitoimipyyhkeet.html>

Russell, S.J. 2007. Handbook of nonwovens. Cambridge: Woodhead Publishing

SFS 9092. 2019. Nonwovens. Vocabulary. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 15.3.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Suomen Standardoimisliitto SFS. n.d. Luettu 15.3.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Suomen Tekstiili & Muoti. 2021. Ekologisia tekstiilikuituja Suomesta – missä mennään tällä hetkellä? Päivitetty 24.2.2021. Luettu 11.5.2021. <https://www.stjm.fi/uutiset/ekologisia-tekstiilikuituja/>

Suomen Tekstiili & Muoti. n.d. Kuituopas. Luettu 16.5.2021. <https://www.stjm.fi/kuituopas/>

Suominen Oyj. n.d. Suominen yhtiönä. Luettu 15.5.2021. <https://www.suominen.fi/fi/tietoa-suomisesta/suominen-yhtiona/>

Suominen Oyj. 2021. Vuosikatsaus 2020. Luettu 1.6.2021. <https://suominen.studio.crasman.fi/pub/Sis%C3%A4lt%C3%B6/Group/Investors/Annual+reports/Annual+Report+2020/Suominen+%E2%80%93+Vuosiker-tomus+2020+FI.pdf>

Turbak, A. F. 1993. Nonwovens: Theory, Process, Performance, and Testing. USA: Tappi Press. E-kirja. Knovel.

Valmet Oyj. 2021. Vuosikatsaus 2020. Luettu 14.5.2021. <https://www.valmet.com/globalassets/investors/reports--presentations/annual-reports/2020/valmet-vuosikatsaus-2020-fi.pdf>

Valmet Oyj. n.d. Nonwovens Machinery Solutions. Luettu 1.6.2021. <https://www.valmet.com/more-industries/nonwovens/>

What is SAP – superabsorbent polymers. n.d. EDANA. Luettu 22.5.2021. <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-is-sap>

Wulfhorst, B., Gries, T. & Veit, D. 2006. Textile Technology. Munhen: Hanser Publisher. E-kirja. Knovel.

## LIITTEET

## Liite 1. SFS-EN ISO -standardit

Standardi	Nimi
SFS-EN 29073-1:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 1: Determination of mass per unit area
SFS-EN ISO 9073-2:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 2: Determination of thickness
SFS-EN 29073-3:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 3: Determination of tensile strength and elongation
SFS-EN ISO 9073-4:2021:en	Nonwovens. Test methods. Part 4: Determination of tear resistance by the trapezoid procedure
SFS-EN ISO 9073-5:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 5: Determination of resistance to mechanical penetration (ball burst procedure)
SFS-EN ISO 9073-6:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 6: Absorption
SFS-EN ISO 9073-7:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 7: Determination of bending length
SFS-EN ISO 9073-8:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 8: Determination of liquid strike-through time (simulated urine)
SFS-EN ISO 9073-9:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 9: Determination of drapability including drape coefficient
SFS-EN ISO 9073-10:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 10: Lint and other particles generation in the dry state
SFS-EN ISO 9073-11:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 11: Run-off
SFS-EN ISO 9073-12:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 12: Demand absorbency
SFS-EN ISO 9073-13:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 13: Repeated liquid strike-through time
SFS-EN ISO 9073-14:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 14: Coverstock wetback
SFS-EN ISO 9073-15:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 15: Determination of air permeability
SFS-EN ISO 9073-16:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 16: Determination of resistance to penetration by water (hydrostatic pressure)
SFS-EN ISO 9073-17:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 17: Determination of water penetration (spray impact)
SFS-EN ISO 9073-18:en	Textiles. Test methods for nonwovens. Part 18: Determination of breaking strength and elongation of nonwoven materials using the grab tensile test

(Suomen standardoimisliitto SFS n.d.)

## Liite 2. NWSP-testaukset

(1)

1) GUIDANCE DOCUMENTS	
NWSP 001.0.R1 (15)	Standard Terminology Relating to the Nonwoven Industry
NWSP 002.0.R2 (19)	Drafting a NWSP Standard Procedure
NWSP 003.0.R0 (20)	Standard Atmospheres for Conditioning and/or Testing
NWSP 004.0.R1 (20)	Associations Worldwide
NWSP 005.0.R0 (20)	Nonwoven Sampling
2) ABSORPTION	
NWSP 010.1.R0 (20)	Three Standard Test Methods for Nonwoven Absorption
NWSP 010.2.R1 (20)	Rate of Sorption of Wiping Materials
NWSP 010.3.R0 (20)	Nonwovens Demand Absorbency
NWSP 010.4.R0 (20)	Evaluation of Oil and Fatty Liquids Absorption
3) ABRASION RESISTANCE	
NWSP 020.1.R0 (20)	Abrasion Resistance of Nonwoven Fabrics- Inflated Diaphragm Apparatus
NWSP 020.2.R0 (15)	Abrasion Resistance of Nonwoven Fabrics- Flexing and Abrasion Method
NWSP 020.4.R0 (15)	Abrasion Resistance of Nonwoven Materials (Rotary Platform, Double-Head Method)
NWSP 020.5.R0 (20)	Abrasion Resistance of Nonwoven Fabrics using a Nonwoven Modified Martindale Abrasion Test Method
4) BURSTING STRENGTH	
NWSP 030.1.R0 (20)	Hydraulic Bursting Strength of Nonwoven Materials- Motor Driven Diaphragm Bursting Strength Tester Method
NWSP 030.2.R0 (20)	Nonwovens Burst
5) ELECTROSTATIC PROPERTIES	
NWSP 040.1.R1 (20)	Surface Resistivity of Nonwoven Fabrics
NWSP 040.2.R0 (20)	Electrostatic Decay of Nonwoven Fabrics
6) OPTICAL PROPERTIES	
NWSP 060.1.R0 (20)	Optical Properties (Opacity) of Nonwoven Fabrics (INDA)
NWSP 060.2.R0 (20)	Optical Properties (Brightness) of Nonwoven Fabrics (INDA)
NWSP 060.3.R1 (20)	Nonwoven Brightness (EDANA)
NWSP 060.4.R0 (20)	Nonwoven Opacity (EDANA)
7) PERMEABILITY	
NWSP 070.1.R0 (20)	Air Permeability of Nonwoven Materials
NWSP 070.3.R1 (19)	Nonwoven Coverstock Liquid Strike-Through Time Using Simulated Urine
NWSP 070.4.R0 (15)	Water Vapor Transmission Rates of 500 to 100,000 gm/m <sup>2</sup> /day Mocon/INDA
NWSP 070.5.R0 (15)	Water Vapor Transmission Rate by the Principle of Measurement of Relative Humidity in a Dry cell Mocon/EDANA, Part 1
NWSP 070.6.R0 (20)	Water Vapor Transmission Rate by the Principle of Measuring the Time to Increase Humidity Lyssy/EDANA, Part 2
NWSP 070.7.R2 (20)	Repeated Liquid Strike-Through Time (Simulated Urine)
NWSP 070.8.R1 (19)	Wetback After Repeated Strike-Through Time (Simulated Urine)
NWSP 070.9.R1 (15)	Nonwoven Adult Incontinence Products: Rate of Acquisition and Re-Wet Test
NWSP 070.10.R2 (19)	Nonwoven Adult Incontinence Products: Centrifugal Liquid Retention Capacity Test (Dry Weight vs. Wet Spun Weight)



8) REPELLENCY	
NWSP 080.1.R0 (20)	Surface Wetting Spray Test
NWSP 080.2.R0 (15)	Penetration by Water (Rain Test) for Nonwoven Fabrics
NWSP 080.3.R1 (19)	Evaluation of Water Penetration (Spray Impact Test) of Nonwoven Fabrics
NWSP 080.5.R0 (20)	Saline Repellency Using the Automated Mason Jar End Point Detector
NWSP 080.6.R0 (15)	Evaluation of Water Resistance (Hydrostatic Pressure) Test
NWSP 080.7.R0 (15)	Penetration by Oil (Hydrocarbon Resistance)
NWSP 080.8.R0 (20)	Alcohol Repellency of Nonwoven Fabrics
NWSP 080.9.R1 (19)	Nonwoven Run Off
NWSP 080.10.R2 (20)	Nonwovens Coverstock Wetback
NWSP 080.11.R0 (20)	Nonwoven Wet Barrier Mason Jar
9) STIFFNESS	
NWSP 090.1.R0 (20)	Stiffness of Nonwoven Fabrics Using the Cantilever Test (INDA)
NWSP 090.2.R0 (20)	Stiffness of Nonwoven Fabrics Using the Gurley Tester
NWSP 090.3.R0 (20)	Handle-O-Meter Stiffness of Nonwoven Fabrics
NWSP 090.4.R0 (20)	Nonwovens Cusick Drape
NWSP 090.5.R0 (20)	Nonwovens Bending Length (EDANA)
NWSP 090.6.R0 (20)	Evaluation of Drapeability Including Drape Coefficient of Nonwoven Fabrics
10) TEAR STRENGTH	
NWSP 100.1.R0 (20)	Tearing Strength of Nonwoven Fabrics by Falling-Pendulum (Elmendorf) Apparatus
NWSP 100.2.R1 (20)	Tearing Strength of Nonwoven Fabrics by the Trapezoid Procedure
NWSP 100.3.R0 (20)	Tearing Strength of Nonwoven Fabrics by the Tongue (Single Rip) Procedure using the Constant-Rate-of-Extension Tensile Testing Machine
11) TENSILE	
NWSP 110.1.R0 (20)	Breaking Strength and Elongation of Nonwoven Materials (Grab Strength Test)
NWSP 110.3.R0 (20)	Internal Bond Strength of Nonwoven Fabrics
NWSP 110.4.R0 (20)	Breaking Force and Elongation of Nonwoven Materials (Strip Method)
NWSP 110.5.R0 (20)	Resistance to Mechanical Penetration (Ball Burst Procedure) of Nonwoven Fabrics
12) THICKNESS	
NWSP 120.1.R0 (20)	Thickness of Nonwoven Fabrics (INDA)
NWSP 120.2.R0 (20)	Thickness of Highloft Nonwoven Fabrics
NWSP 120.3.R0 (20)	Measuring Compression and Recovery of Highloft Nonwoven Fabrics
NWSP 120.4.R1 (20)	Determination of Compression and Recovery of Highloft Nonwoven Fabrics Using Weights and Plates. Method 1: at room temperature
NWSP 120.5.R1 (20)	Determination of Compression and Recovery of Highloft Nonwoven Fabrics Using Weights and Plates. Method 2: at elevated temperature
NWSP 120.6.R0 (15)	Nonwoven Thickness (EDANA)
13) WEIGHT	
NWSP 130.1.R0 (20)	Mass per Unit Area
14) BINDER/APPERANCE/DRY CLEANING	
NWSP 150.1.R0 (20)	Resin Binder Distribution and Binder Penetration, Analysis of Polyester Nonwoven Fabrics
NWSP 150.2.R0 (15)	Appearance and Integrity of Highloft Batting After Refurbishing

15) LINTING	
NWSP 160.1.R0 (15)	Resistance to Linting of Nonwoven Fabrics (Dry)
NWSP 160.2.R0 (20)	Aqueous Method for Determining Releases of Particulates (Wet)
NWSP 160.3.R1 (19)	Measuring Fibrous Debris from Nonwoven Fabrics
NWSP 160.4.R0 (15)	Determining Fibrous Debris from Hydrophobic Nonwoven Fabrics
16) SUPERABSORBENT MATERIALS	
NWSP 200.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Determination of pH
NWSP 210.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Determination of the Amount of Residual Acrylate Monomers
NWSP 220.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders-Determination of the Particle Size Distribution by Sieve Fractionation
NWSP 230.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders-Estimation of the Moisture Content as Weight Loss Upon Heating
NWSP 240.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Determination of the Free Swell Capacity in Saline by Gravimetric Measurement
NWSP 241.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Determination of the Fluid Retention Capacity in Saline Solution by Gravimetric Measurement Following Centrifugation
NWSP 242.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Gravimetric Determination of Absorption Against Pressure
NWSP 243.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Determination of the Permeability Dependent Absorption Under Pressure of Saline Solution by Gravimetric Measurement
NWSP 251.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Gravimetric Determination of Flow Rate and Bulk Density
NWSP 270.0.R2 (19)	Polyacrylate Superabsorbent Powders- Determination of Extractable Polymer Content by Potentiometric Titration
17) BACTERIAL	
NWSP 300.0.R0 (20)	Nonwovens Bacterial Filtration Efficiency
NWSP 301.0.R0 (15)	Dry Bacterial Penetration
NWSP 302.0.R0 (15)	Nonwoven Wet Bacterial Penetration
18) FORMALDEHYDE	
NWSP 310.1.R1 (15)	Free and Hydrolyzed Formaldehyde in Nonwovens (Water Extraction Method) Method I
NWSP 311.1.R1 (15)	Free and Hydrolyzed Formaldehyde Extracted at Stressed Extraction Conditions in Nonwovens Method II
NWSP 312.0.R1 (15)	Determination of Free Formaldehyde in Nonwovens by Liquid Chromatography Method III
NWSP 313.1.R1 (15)	Determination of Released Formaldehyde in the Processing of Aqueous Systems Method IV

19) ABSORBENT HYGIENE PRODUCTS	
NWSP 350.1.R1 (20)	Menstrual Tampons Absorbency- Syngina Method
NWSP 351.0.R0 (20)	Determination of Ethanol- Extractable Organotin Species in Absorbent Hygiene Products and Materials, Absorbent Hygiene Materials -Organotin I
NWSP 352.0.R0 (20)	Determination of Organotin Species Extracted from Absorbent Hygiene Products and Materials with Synthetic Urine, Absorbent Hygiene Products – Organotin II
NWSP 353.0.R0 (15)	Determination of Aceton Extractable Finish on Nonwoven
NWSP 354.0.R1 (15)	Absorption Before Leakage Using an Adult Mannequin
NWSP 360.1.R0 (20)	Determination of trace chemicals extracted from absorbent hygiene products (AHPs) using simulated urine/menses Part 1: Milling of AHPs to produce a homogenized sample
NWSP 360.2.R0 (20)	Determination of trace chemicals extracted from absorbent hygiene products (AHPs) using simulated urine/menses Part 2: Extraction of trace chemicals from homogenized AHPs into a simulated urine/menses solution
NWSP 360.3.R0 (20)	Determination of trace chemicals extracted from absorbent hygiene products (AHPs) using simulated urine/menses Part 3: Analysis of trace chemicals in aqueous extracts (biological fluid simulants) of AHPs
20) SUPPLEMENTARY PROCEDURES	
NWSP 400.0.R1 (20)	Surface Linting of Nonwovens
NWSP 401.0.R0 (20)	Composites Lamination Strength
NWSP 402.0.R0 (20)	Cup Crush
NWSP 403.0.R0 (20)	Testing High Loft and Needled Batting for Flame Resistance and Thermal Transfer Properties
NWSP 404.0.R0 (20)	Homogenization of Absorbent Hygiene Products Using a Laboratory Cutting Mill
NWSP 407.0.R0 (20)	Fiber Orientation Distribution of Nonwoven Fabrics

(EDANA 2021)