



ILMANSUODATTIMIIN SOPIVAN HYLKIVYYS- JA PALONESTOKE- MIKAALIYHDISTELMÄN SELVITTÄMINEN

Jasmin Eeva

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2015
Paperi-, tekstiili- ja kemian-
tekniikan koulutusohjelma
Tekstiilitekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Tekstiilitekniikan suuntautumisvaihtoehto

EEVA, JASMIN:

Ilmansuodattimiin sopivan hylkivyyss- ja palonestokemikaaliyhdistelmän selvittäminen

Opinnäytetyö 52 sivua

Maaliskuu 2015

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmansuodattimiin sopiva hylkivyyss- ja palonestokemikaaliyhdistelmä, joka tuottaisi halutut tulokset sekä hylkivyyss- että palonkestotestauksista. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Ahlstrom Tampere Oy. Työn kokeellinen osuus suoritettiin yhteistyössä yrityksen kanssa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkittiin kuitukankaiden valmistusta, käyttökohteita ja käyttöä suodatinmateriaaleina. Työssä perehdyttiin myös viimeistyskäsitteisiin, joista tarkemmin tarkasteltiin hylkivyyssviimeistys- ja palosuojausta.

Hylkivyyss- ja palonestokemikaaliyhdistelmän toimivuutta tutkittiin kvantitatiivisella tutkimusmenetelmällä. Testaukset suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa vertailtiin hylkivyyssaineita, minkä avulla pystyttiin rajaamaan testattavat hylkivyysskemikaalit tutkimuksen toiseen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa testattiin palosuoja-
tun kuitukangasmateriaalin hylkivyyttä ja palonestoa yhdessä hylkivyysskemikaalien kanssa.

Testatuloksia analysoitiin tutkimustulosten ja teorian pohjalta. Opinnäytetyössä lopullista optimaalista kemikaaliyhdistelmää ei löydetty. Testatuloksista voidaan päätellä, että kuitukangasmateriaalia tai kemikaaliyhdistelmää vaihtamalla saavutettaisiin mahdollisesti halutut tulokset. Opinnäytetyössä kemikaalien nimet esitetään numeroituina.

Asiasanat: viimeistys, ilmansuodatin, hylkivyyssaine, palonestoaine, kuitukankaat

ABSTRACT

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

EEVA, JASMIN:

Determining a Suitable Combination of Repellent Agents and Fire Retardants for Air Filters

Bachelor's thesis 52 pages
March 2015

The objective of this thesis was to determine a suitable combination of repellent agents and fire retardants for air filters that would generate the desired results from both repellency and flammability testing. The thesis was commissioned by Ahlstrom Tampere Oy. The experimental study of this thesis was executed in cooperation with the company.

In the theoretical section the manufacturing of nonwovens, applications and nonwovens as air filter media are studied. Also the finishing of textiles, more precisely repellent and fire retardant finishes, is researched.

The functionality of combining repellent chemicals and fire retardant chemicals was studied by a quantitative data analysis. The testing was performed in two separate phases. In the first phase, repellent agents were compared to narrow down agents for the next phase. In the second phase, flammability and repellency were tested on a fire retardant nonwoven material, which was also treated with repellent agents.

The results were analyzed in comparison with the theoretical material. The definitive optimal chemical combination was not found but the findings indicate that by changing the nonwoven material or the chemical combination, the desired results might be achieved. In this thesis the names of the chemicals are presented as numbers.

Key words: finishing, air filter, repellent agent, fire retardant, nonwoven

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AHLSTROM OYJ.....	7
2.1	Ahlstrom Oyj	7
2.2	Ahlstrom Oyj Suomessa ja Ahlstrom Tampere Oy	7
3	KUITUKANKAAT.....	9
3.1	Määritelmä	9
3.2	Valmistus	9
3.2.1	Kuivamenetelmä	10
3.2.2	Märkämenetelmä.....	12
3.2.3	Kehruumenetelmä	13
3.3	Rainan sitominen	15
3.3.1	Mekaaninen sitominen	15
3.3.2	Kemiallinen sitominen	17
3.3.3	Lämpösidonta	20
3.4	Käyttökohteet.....	21
4	KUITUKANKAAT SUODATINMATERIAALINA.....	23
4.1	Määritelmä	23
4.2	Suodatusprosessit.....	23
4.3	Sovellukset.....	24
4.3.1	Ilmansuodattimet.....	24
4.3.2	Nestesuodattimet	26
4.3.3	Moottorikoneiden suodattimet	27
5	VIIMEISTYSKÄSITTELYT	28
5.1	Yleisesti	28
5.2	Hylkivyyt.....	28
5.3	Palosuojaus	31
5.3.1	Palamisominaisuudet	32
5.3.2	Palosuojausviimeistykset ja paloturvalliset kuidut	33
6	TESTAUKSET.....	35
6.1	Testauksien kulku	35
6.1.1	Käsittelyliuoksen valmistus	35
6.1.2	Käsittely	36
6.2	Hydrostaattisen paineen kesto	36
6.3	Mason Jar-testi.....	38
6.4	Öljytippatesti.....	39
6.5	IPA-tippatesti	40

6.6	Vinoliekkipolttokoe	41
6.7	Vaakasuora polttokoe	42
7	TULOKSET	44
7.1	Hylkivyyssaineiden vertailu	44
7.2	Hylkivyyss- ja palonestokemikaaliyhdistelmä.....	46
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	48
	LÄHTEET.....	50

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää toimivin hylkivyyss- ja palonestokemikaalilyhdistelmä ilmansuodattimiin. Ilmansuodattimien toiminnallisuuden ja paloturvallisuuden kannalta, tulisi hylkivyyden ja palosuojauksen saavuttaa määrätyt vaatimustasot.

Viimeistyskemikaalien yhdistäminen on haasteellista, sillä kemikaalit voivat vaikuttaa toisiinsa heikentävästi tai estää toistensa toimintaa. Yhdisteltäessä kemikaaleja täytyy tuotteen ominaisuuksien säilyminen varmistaa testaamalla. Tuotteen hylkivyyteen ja palonsuojaukseen vaikuttaa olennaisesti käytetyt kemikaalit sekä käytettävä materiaali. Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa tutkitaan kuitukankaiden valmistusta, käyttökohteita ja käyttöä suodatinmateriaaleina. Työssä perehdytään myös viimeistyskäsittelyihin, joista erityisesti hylkivyyssi viimeistyksiä ja palosuojauksia tutkitaan tarkemmin. Viimeistyskäsittelyt rajataan lähinnä kemiallisiin viimeistyksiin.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Ahlstrom Tampere Oy. Ahlstrom Oyj:tä ja Ahlstrom Tampere Oy:tä esitellään työn alussa lyhyesti. Työn kokeellinen osuus suoritettiin yhteistyössä toimeksiantajan kanssa yrityksen laboratorio- ja tehdastiloissa. Ilmansuodattimiin käytettäviä kuitukangasmateriaaleja testattiin yrityksen antamien ja standardeihin perustuvien ohjeiden mukaan.

Työ suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa suoritettiin hylkivyyssaineiden vertailu, jonka avulla rajattiin käytettävät hylkivyysskemikaalit tutkimuksen toiseen osaan. Toisessa osassa testattiin palosuojatun kuitukangasmateriaalin hylkivyyttä ja palo-ominaisuuksia yhdessä hylkivyysskemikaalien kanssa. Opinnäytetyön tuloksia käytetään yrityksen tuotekehitykseen.

2 AHLSTROM OYJ

2.1 Ahlstrom Oyj

Ahlstrom Oyj valmistaa erilaisia kuitumateriaaleja usealle teollisuuden alalle sekä terveydenhuollon tarpeisiin. Maailmanlaajuinen yritys pyrkii vaikuttamaan tuotevalikoimallaan terveen ja puhtaan elinympäristön tuottamiseen, jotta se voisi vastata kestävä kehityksen haasteisiin. (Ahlstrom Corporation 2013.)

Liiketoiminta-alueet on jaettu kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat Filtration, Building and Energy ja Food and Medical. Filtration koostuu suodatinmateriaaleista, joita käytetään kuljetusteollisuudessa, ilman- ja vedensuodattimissa, kaasuturbiineissa ja bioteknologiassa. Building and Energy keskittyy rakentamisessa käytettyihin tuotteisiin kuten akustiikkalevyihin, tapetteihin ja lattiamateriaaleihin, mutta myös energia-alan tuotteisiin kuten tuulimyllyjen siipilapoihin. Food and Medical-osa-alueeseen kuuluvia tuotteita ovat muun muassa terveydenhuollon hygienia tuotteet ja elintarvikepakkaukset. (Ahlstrom Corporation 2015; Ahlstrom Oyj 2015a, 2015b.)

Nykyään Ahlstrom Oyj:llä on toimintaa 24 maassa ja noin 3500 työntekijää. Tehtaita on 29 ja myyntitoimistoja 25. Ahlstrom Oyj:n liikevaihto oli vuonna 2013 noin 1,3 miljardia euroa. Liikevaihdon mukaan puolet markkina-alasta jakautuu Eurooppaan, 22 % Pohjois-Amerikkaan ja loput Etelä-Amerikkaan, Aasiaan, Tyynenmeren alueelle ja muualle maailmaan. Konsernin toimitusjohtajana toimii Marco Levi. (Ahlstrom Oyj 2015c, 2015d.)

2.2 Ahlstrom Oyj Suomessa ja Ahlstrom Tampere Oy

Ahlstrom Oyj perustettiin vuonna 1851. Antti Ahlström perusti suomalaisen perheyrittäjän alunperin sahateollisuuden, laivanvarustuksen ja puukaupan ympärille. Myöhemmin yritys lisäsi toimintaansa myös paperi-, sellu- ja lasitehtaita sekä konepajoja. Yrityksen toiminnan laajeneminen kansainvälisesti alkoi 1960-luvulla, jolloin Ahlstrom Oyj osti italialaisen paperitehtaan. Tämän jälkeen yrityksen toiminta on levinnyt kuuheen eri maanosaan. Vuonna 2001 konserni jakautui kolmeksi eri yhtiöksi, ja Ahlstrom Oyj keskitti toimintansa kokonaan erikoispapereihin ja kuitukankaisiin. Kaksi muuta

yhtiötä olivat Ahlström Capital Oy ja A. Ahlström Osakeyhtiö, joka myöhemmin sulautettiin Ahlström Capital Oy:öön. Historiansa aikana Ahlstrom Oyj on jättänyt jälkensä muun muassa Suomen kulttuuriperintöön, arkkitehtuuriin ja tekniikan kehitykseen. (Ahlstrom Corporation 2009; Ahlstrom Oyj 2015e; Ahlströmin ruukit.)

Suomessa Ahlstrom Oyj:llä on tehtaita Tampereella, Kotkassa, Kauttualla ja Mikkelissä. Konsernin pääkonttori ja myyntikonttori sijaitsevat Helsingissä. Tampereella sijaitseva tehdas Ahlstrom Tampere Oy valmistaa suodatinmateriaaleja ja teknisiä kuitukan-kaita erityisesti ajoneuvo- ja ilmanvaihtosuodatintuotteisiin. Tehtaalla työskentelee noin 60 työntekijää. Ahlstrom Tampere Oy kuuluu Filtration- liiketoiminta-alueeseen. (Ahlstrom Oyj 2006; Ahlstrom Oyj 2015f.)

3 KUITUKANKAAT

3.1 Määritelmä

Kuitukankaita valmistetaan muodostamalla raina, tasomainen rakenne tai harso suoraan tekstiilikuiduista. Kuidut sidotaan yhteen kitkan, koheesion, adheesion tai näiden yhdistelmän avulla. Kuidut voivat olla yhdensuuntaisesti tai sekalaisesti orientoituneita, ja ne voivat olla luonnonkuituja tai tekokuituja. Kuitukankaiksi ei lueta kudottuja tai neulottuja kankaita, tuftattuja, huovutettuja tai neulottuja tuotteita eikä paperia. (Russell 2007, 2; EDANA: Glossary-Nonwovens Terms.)

Tarkemmin kuitukangas voidaan määritellä myös erottamalla märkämenetelmällä valmistetut kuitukankaat märkämenetelmällä valmistetusta paperista. Erottelun mukaan kuitukankaan kuitumassassa olevista kuiduista yli 50 % täytyy olla tekokuituja, jotka ovat pituus-poikkileikkaussuhteeltaan yli 300. Yleisesti voidaan määritellä kuitukankaaksi kangas, jossa yli 30 % kuitumassassa olevista kuiduista on tiheydeltään pienempiä kuin $0,4 \text{ g/a/m}^3$ ja pituus-poikkileikkaussuhteeltaan yli 300. (Russell 2007, 2.)

3.2 Valmistus

Professori S.J Russellin (2007, 9–10) mukaan kuitukankaissa käytetään eniten raaka-aineina muuntokuituja ja synteettisiä kuituja, jotka muodostavat yli 90 % raaka-aineiden tuotantomäärästä. Polypropeenin osuus maailman kuitukankaiden tuotannosta on noin 63 %. Polyesterin osuus on noin 23 % ja viskoosin noin 8 %. Kuitukankaisiin voidaan käyttää kaikenlaisia kuituja, myös langan kehräykseen sopimattomia erittäin lyhyitä kuituja. Raaka-aineiden valintaan vaikuttaa lopputuotteen halutut ominaisuudet, odotettu elinikä ja hinta. (Talvenmaa 2002, 34–35; Russell 2007, 2–10.)

Kuitukankaiden tuotanto on kasvanut suurimmillaan 10 % vuodessa. Päivi Talvenmaan (2002, 34) mukaan tuotannon jatkuva kasvu alkoi 1970-luvulla, jonka jälkeen kuitukankaat ovat syrjäyttäneet monissa käyttötarkoituksissa niin sanottuja perinteisiä tekstiiliraakenteita, kuten kudottuja ja neulottuja kankaita. Koska kuitukankaisiin ei tarvita lankaa, kuitukankaan valmistusprosessista saadaan huomattavasti lyhyempi, mikä vähentää tuotannon kustannuksia (Talvenmaa 2002, 10, 34).

Kuitukankaiden valmistus tapahtuu yksinkertaistettuna kahdessa vaiheessa. Ensin muodostetaan kuituraina rainanmuodostusmenetelmällä, joista yleisimmin käytetyt menetelmät ovat kuiva-, märkä- ja kehrumenetelmät. Tämän jälkeen kuituraina sidotaan ja viimeistellään lopputuotteeksi. Kuiturainan valmistus, sitominen ja viimeistys tapahtuu yleensä peräkkäisinä ja keskeytymättöminä prosesseina samalla tuotantolinjalla. (Jirsák & Wadsworth 1999, 51; Talvenmaa 2002, 34.)

Kuitukankaiden valmistustekniikoiden alkuperät sijaitsevat muiden tuotteiden valmistustekniikoissa. Kuivamenetelmällä valmistetut kuitukankaat jäljittelevät tekstiilien valmistusta, kehrumenetelmällä valmistetut muovien valmistusmenetelmiä ja märkämenetelmällä valmistetut paperin valmistusta. Menetelmät eroavat toisistaan prosessillisesti, tuottavuudeltaan, kuitukerroksien muodostamisominaisuuksiltaan ja kuitujen orientaatioiltaan. (Jirsák & Wadsworth 1999, 51; Russell 2007,4–5.)

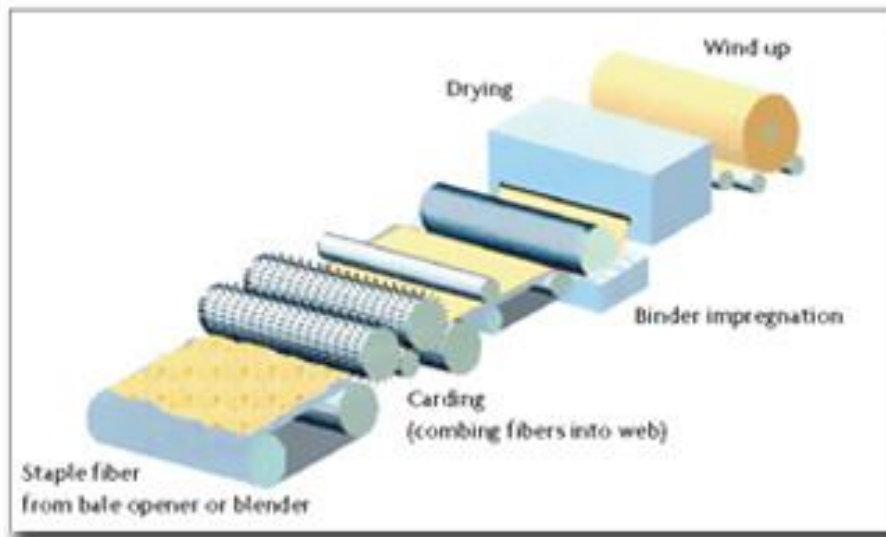
Ennen varsinaista valmistusprosessia kuidut valmistellaan. Valmisteluun kuuluu muun muassa kuitujen puhdistus, avaus ja sekoitus. Kuidut voidaan valmistaa myös suoraan polymeereistä, jolloin valmistusprosessi lyhenee huomattavasti. (Jirsák & Wadsworth 1999, 51)

3.2.1 Kuivamenetelmä

Kuivamenetelmässä kuituraina muodostetaan joko karstaamalla tai aerodynaamisesti eli ilmapvirran avulla. Joskus raina saatetaan muodostaa yhdistämällä edellä mainittuja tapoja eli mekaanis-aerodynaamisesti. Raina sidotaan yhteen mekaanisesti, kemiallisesti tai lämmön avulla. (Jirsák & Wadsworth 1999, 51; Russell 2007, 5.)

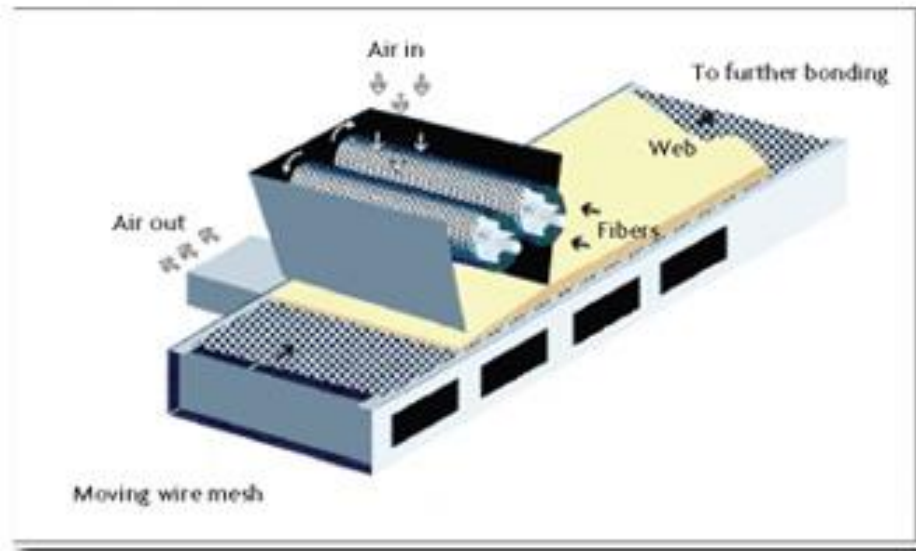
Karstausprosessi on hyvin joustava teollisuuden käyttämien tekstiilikuitujen suhteen. Tämän johdosta karstauksessa voidaan käyttää hyvin monipuolisesti erilaisia tapulikuituja, mukaan lukien polymeerit, keraamiset kuidut ja lasikuidut. Karstauksessa eniten käytetään polyesteriä, koska se on edullista ja sillä on monipuoliset käyttömahdollisuudet. Ilmalevityksessä käytetään eniten puuselluloosaa ja selluloosakuituja. Näiden sekaan voidaan sekoittaa hydrofobisia synteettisiä kuituja, jotka pitävät tuotteen kuohkeana myös kosteissa olosuhteissa. (Russell 2007, 16, 76–77.)

Karstausta aloitetaan avaamalla paalit pienemmiksi kuitukimpuiksi tai yksittäisiksi kuituiksi. Eri mittaisia, laatuja ja tyyppisiä kuituja sekoitetaan usein yhteen, mikä mahdollistaa raaka-aineiltaan halvan tai fysikaalisilta ominaisuuksiltaan hyvän lopputuotteen valmistuksen. Avaaminen ennen karstausta vähentää kuitujen rikkoutumista, nypyn muodostumista ja laadun heikentymistä. Kuidut syötetään karstauskoneelle, jonka tarkoituksena on muodostaa homogeeninen ja tiheydeltään tasainen raina. Karstauskone kampa kuituja pyörivän karstasylinterin tai -sylinterien avulla. Karstasylinterin pinnassa on piikkejä, joiden asettelu määrää kuitujen orientaation ja kuitukankaan painon. Karstauksella tehtyjen rainojen kuidut voivat olla joko yhdensuuntaisia tai ristikkäissuuntaisia. Kuvassa 1 on esitetty karstaustapa, jossa käytetään sideaineita rainan sitomiseen. (EDANA: Formation; Russel 2007, 20, 24, 32.)



KUVA 1 Karstaustapa kuitujen syötöstä kuitukankaan käärimiseen (Rupp 2008)

Ilmalevityksessä ilmavirtaan syötetään huolellisesti avattuja ja eroteltuja kuituja (kuva 2). Parhain tulos saadaan kuiduista, jotka ovat eivätkä ole toisiinsa kiinnittyneinä. Ilmavirrassa kulkevat kuidut johdetaan kuljetinhihnalle, johon kuidut asettuvat satunnaissuuntaisesti. Koska kuidut ovat rainassa satunnaisesti suuntautuneina, ilman avulla valmistetuilla kuitukankailla on samat ominaisuudet kaikissa suunnissa eli kuitukangas on isotrooppinen. (Russell 2007, 76, 80.)

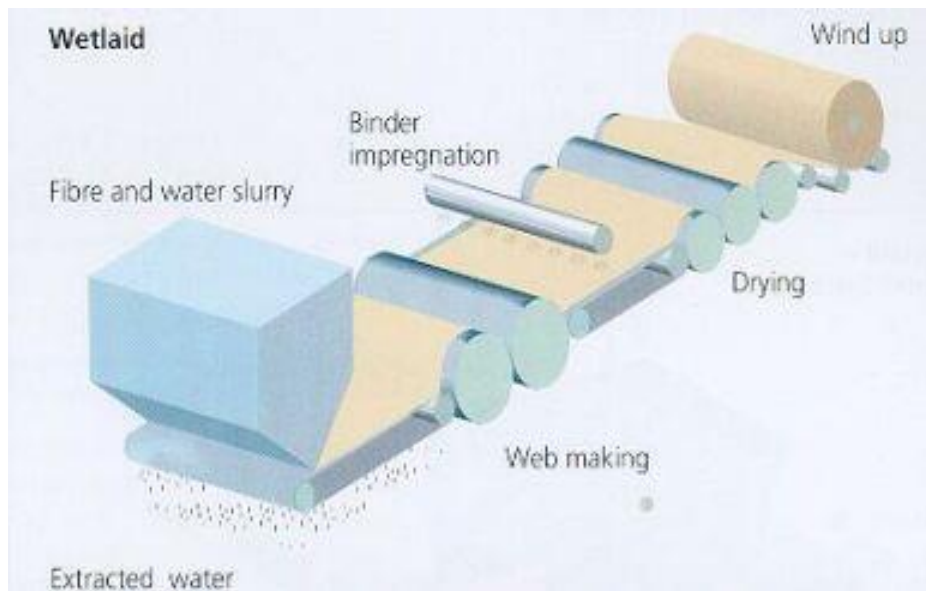


KUVA 2 Ilmalevitysprosessi (Rupp 2008)

Jürg Rupp (2008) mukaan ilmalevitysprosessissa voidaan käyttää monipuolisesti erilaisia kuituja, myös erittäin lyhyitä, mikä sallii myös kierrätettyjen kuitujen käytön. Karstaukseen verrattuna ilmalevitysprosessilla saadaan mutkattomammin kuohkeita ja tiheydeltään alhaisia tuotteita. Ilmalevitys voi myös olla tehokkaampi rainanmuodostusmenetelmä kuin karstaus, jos kuituhienous ja kuitutyypit valitaan oikein. (Russell 2007, 76.)

3.2.2 Märkämenetelmä

Märkämenetelmällä valmistettu kuitukangas valmistetaan lähes samoin kuin paperi. Kuidut dispergoidaan ja kostutetaan vedessä, minkä jälkeen vesi-kuituseos lasketaan viiran päälle. Seoksesta imetään ja/tai puristetaan sylinterien avulla ylimääräinen vesi pois, jolloin kuiduista muodostuu kostea kuituraina (kuva 3). Tämän jälkeen raina kuivataan ja sidotaan. Raina sidotaan useimmiten selluloosakuitujen muodostamien vetysidoksien tai erillisten sideaineiden avulla. (Jirsák & Wadsworth 1999, 65; Talvenmaa 2002, 34; EDANA: Formation.)



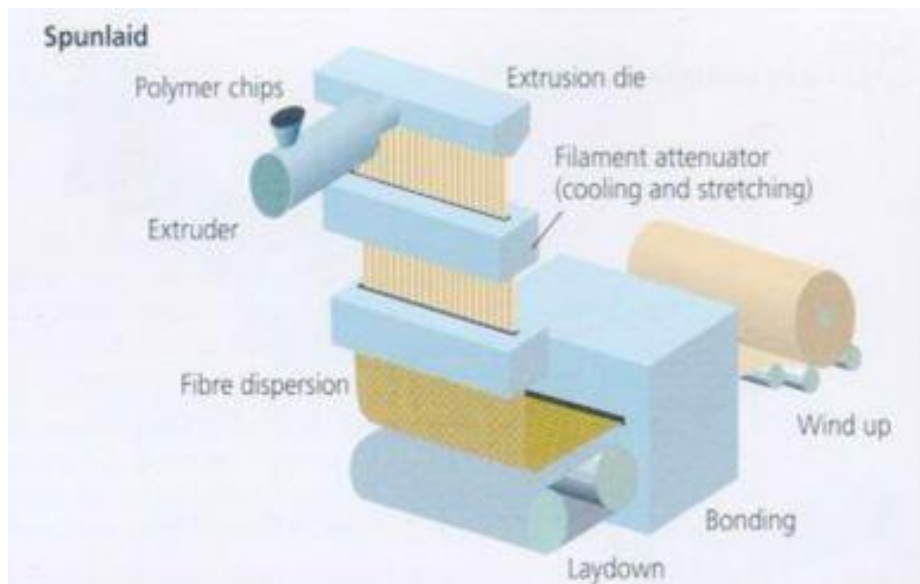
KUVA 3 Märkämenetelmä (Polymer Group Inc.: Web Formation)

Märkämenetelmässä käytetään tekokuituja ja/tai luonnonkuituja ja vettä. Kuidut orientoituvat kuitukankaassa satunnaisesti. Luonnonkuiduista puuselluloosaa käytetään eniten, koska sen prosessointi on helppoa ja edullista. Valmistuksessa saatetaan käyttää myös sideaineita, lisäaineita ja tensidejä. Russellin (2007, 139) mukaan märkämenetelmä mahdollistaa myös hyvin hauraiden kuitujen käytön ja kuitukankaan valmistuksen pienillä kuitumassoilla. (Russell 2007, 116–118.)

3.2.3 Kehruumenetelmä

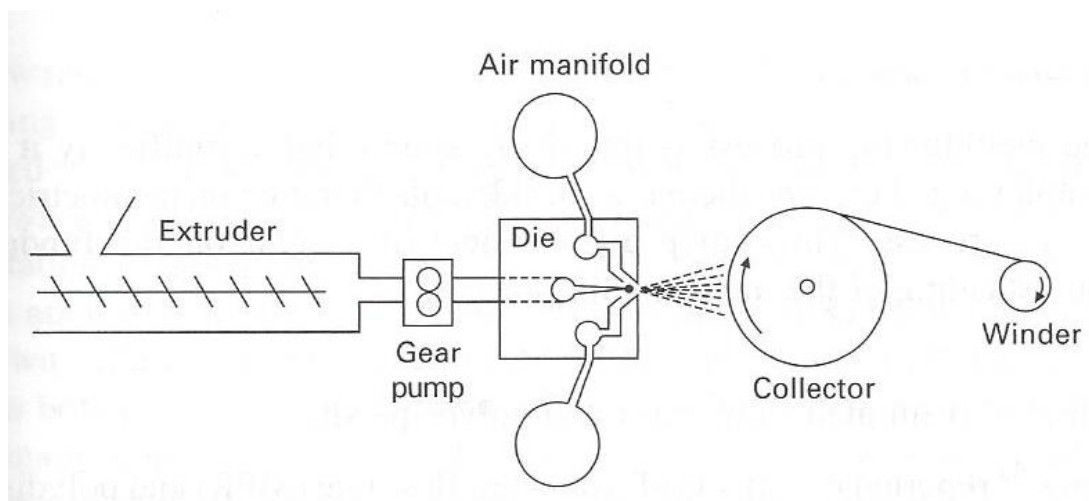
Kehruumenetelmässä raina valmistetaan suoraan sulasta polymeerimassasta. Raina voidaan valmistaa sulakehruulla, sulapuhalluksella tai sähkökehruulla. Näistä yleisimmin käytetään kahta ensimmäisenä mainittua menetelmää. Menetelmien eroavaisuudet näkyvät käytetyissä valmistustekniikoissa ja valmiiden kuitukankaiden ominaisuuksissa sekä rakenteissa. (Jirsák & Wadsworth 1999, 67; Russell 2007, 143.)

Sulakehruulla valmistetaan suurin osa nykyajan kuitukankaista. Sulakehruu alkaa polymeerirakeiden sulatuksella. Tämän jälkeen sulatettu polymeerimassa puristetaan suolakkeiden läpi jatkuviksi filamenttikuiduiksi, jotka jäädytetään viileällä ilmavirralla. Filamentit vedetään ja laskostetaan kuljetinhihnalle kuiturainaksi. Kuvassa 4 on esitetty sulakehruuprosessin vaiheet. (Jirsák & Wadsworth 1999, 68–69; EDANA: Formation.)



KUVA 4 Sulakehruu polymeerimassasta (Polymer Group Inc.: Web Formation)

Sulapuhallusmenetelmässä sula polymeerimassa puristetaan hyvin pienien suolakkeiden läpi voimakkaaseen ja kuumaan ilmavirtaan (kuva 5). Kuuma ilmavirta ohentaa puristusta polymeerimassasta äärimmäisen ohuita kuituja, joita kutsutaan myös mikrokuiduiksi. Mikrokuidut asettuvat viileään ilmavirran kuljettamana sylinteriviiralle kuiturainaksi. Sulapuhallettua kuiturainaa ei ole pakollista sitoa erikseen, sillä kuidut kietoutuvat ja liimautuvat yhteen asettuessaan sylinteriviiralle. (Russell 2007, 172–173.)



KUVA 5 Sulapuhallusmenetelmän periaate (Russell 2007, 173)

Sähkökehruu perustuu kuitujen muodostumiseen voimakkaassa sähkökentässä sähköstaattisten voimien avulla. Polymeeriliuos suihkutetaan sähkökenttään, jonka jälkeen liuksesta eriytyy pieniä sähköisesti varautuneita kuituja. Kuidut kuljetetaan pohjakan-

kaalle, jonka alla oleva levy on vastakkaisesti varautunut ja vetää kuidut puoleensa. Kuituraina muodostuu pohjakankaan päälle. (Jirsák & Wadsworth 1999, 78–79; Russell 2007, 193–194.)

3.3 Rainan sitominen

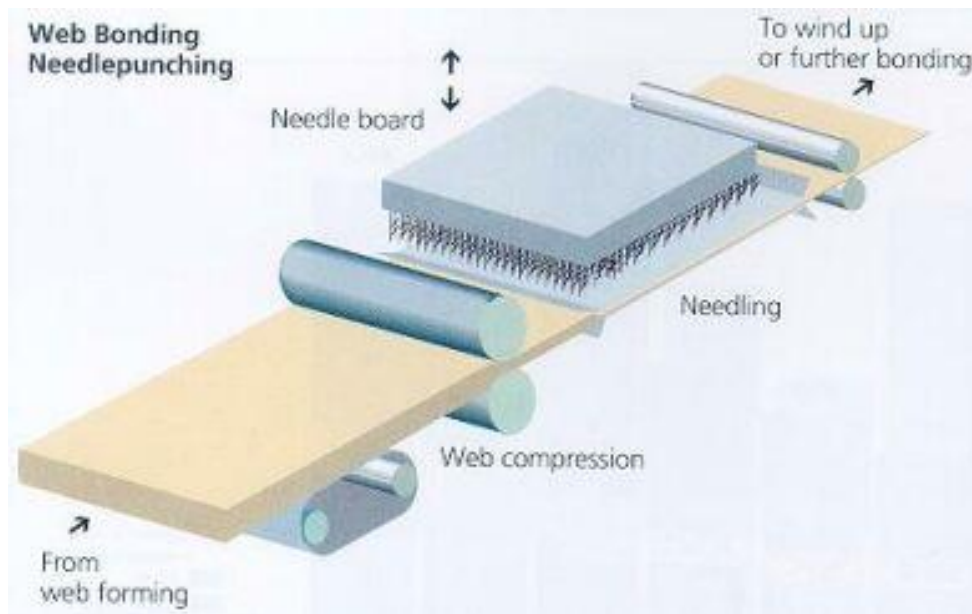
Raina sidotaan yleensä peräkkäisenä prosessina heti rainanmuodostuksen jälkeen, mutta se voidaan myös erottaa omaksi prosessikseen. Joissakin tapauksissa saatetaan käyttää useampaa kuin yhtä rainan sitomismenetelmää. Kuituraina sidotaan mekaanisesti, kemiallisesti tai lämmön avulla. (Russell 2007, 9.)

Käytetty rainansitomismenetelmä vaikuttaa merkittävästi kuitukankaan ominaisuuksiin valittujen tekstiilikuitujen ohella. Ominaisuuksista esimerkiksi lujuus, pehmeys, tiheys ja joustavuus voidaan määrittää sitomismenetelmän valinnalla. Ilman kuiturainan sitomista rainat ovat hyvin heikkoja, lukuun ottamatta kehruumenetelmällä valmistettuja rainoja. (Russell 2007, 9; Polymer Group Inc.: Web Bonding)

3.3.1 Mekaaninen sitominen

Mekaanisessa menetelmässä kuidut sidotaan toisiinsa kitkavoimien avulla. Kuidut kietoutuvat toisiinsa kolmen eri menetelmän avulla, jotka ovat neulaus, ommelsidonta ja vesineulaus. Mekaanisia menetelmiä suositaan, koska ne ovat energiaa säästäviä ja ympäristöystävällisiä. (Jirsák & Wadsworth 1999, 79; Polymer Group Inc.: Web Bonding.)

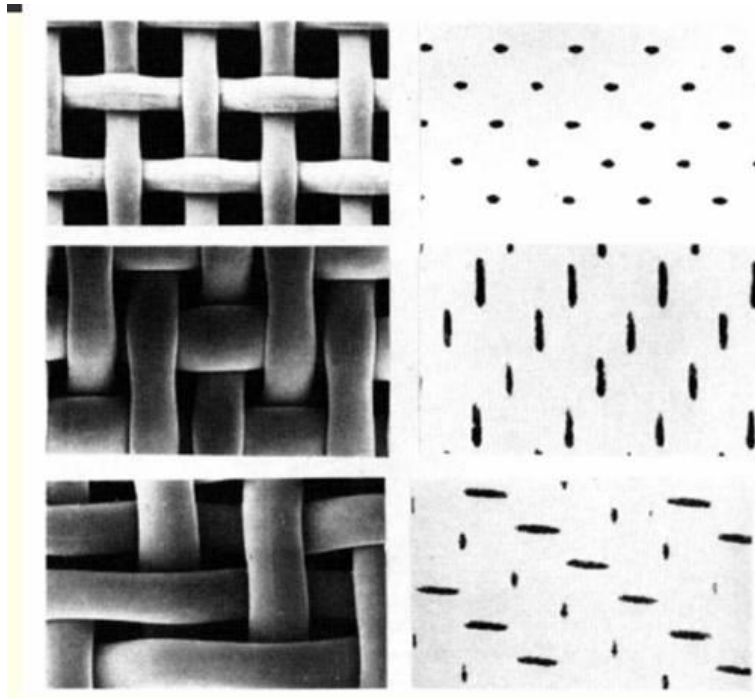
Neulaus on vanhin ja suosituin mekaanisista menetelmistä. Neulauksessa kuiturainaa neulataan edestakaisin neuloilla, joissa on pieniä väkäsiä. Väkäset tarttuvat kuituihin ja sekoittavat niitä kuiturakenteeseen. Neulauskoneessa raina kulkee kahden rei'itetyn laatan välissä (kuva 6). Neulauspalkki työntää neulat jaksoittain laattojen läpi. Neulauskoneen tehokkuus riippuu neulauksen toimintataajuudesta ja neulojen määrästä. Toimintataajuus on yleensä välillä 800-2500 lyöntiä minuutissa. (Jirsák & Wadsworth 1999, 80–81.)



KUVA 6 Neulaus (Polymer Group Inc.: Web Bonding)

Jirsákin ja Wadsworthin (1999) mukaan neulauksen tärkein elementti on neula. Neulan terä on usein kolmikulmainen, ja neulassa on väkisiä yhdellä, kahdella tai kolmella sivustalla. Neulojen valintaan vaikuttaa kuitutyypin ja -koko sekä toivottu kuitukankaan neliöpaino. Neulojen ominaisuuksilla on suuri merkitys kuitukankaan lopullisiin ominaisuuksiin ja neulausprosessiin. (Jirsák & Wadsworth 1999, 83–84; Russell 2007, 226.)

Vesineulauksen suosio on noussut viime vuosien aikana. Vesineulauksella saadaan aikaan miellyttäviä esteettisiä ominaisuuksia sekä pehmeyttä, laskeutuvuutta ja suhteellisen hyvää lujuutta. Vesineulauksessa kuiturainaa kuljetetaan kudotun aluskankaan päällä samanaikaisesti kun korkeapaineiset vesisuihkut tunkeutuvat kuiturainan läpi. Vesisuihkujen, kuitujen ja aluskankaan keskinäinen vuorovaikutus saa aikaan kuitujen kietoutumisen ja sekoittumisen toisiinsa. Aluskankaan valinta vaikuttaa lopputuotteen kuviointiin ja kolmiulotteisuuteen, sillä aluskankaan kuviointi lävistäytyy vesineulauksen aikana kuitukankaaseen. Kuvassa 7 on esitetty erilaisia aluskankaan muodostamia pintakuviointeja. (Jirsák & Wadsworth 1999, 87–91; Russell 2007, 255.)



KUVA 7 Kuviointia vesineulatussa kuitukankaassa. Vasemmalla aluskangas, oikealla kuitukangas (Kamath, Dahiya & Hegde 2004)

Ommelsidonnassa kuituraina ommellaan tai neulotaan yhteen ylimääräisen langan avulla, mutta sitominen on mahdollista tehdä myös tekstiilikuituja käyttämällä. Ommelsidotu kuitukangas on monikomponenttinen kangas, jonka yksi komponentti on läpi kankaan kulkevat ompeleet. Loput komponentit voivat olla aluskankaita, kuiturainoja tai lankoja. Ommelsidonnalla valmistettujen kuitukankaiden ominaisuuksiin vaikuttaa muun muassa ommelkuviointi, kuitutyypit ja lankojen ominaisuudet. (Jirsák & Wadsworth 1999, 87; Russell 2007, 201.)

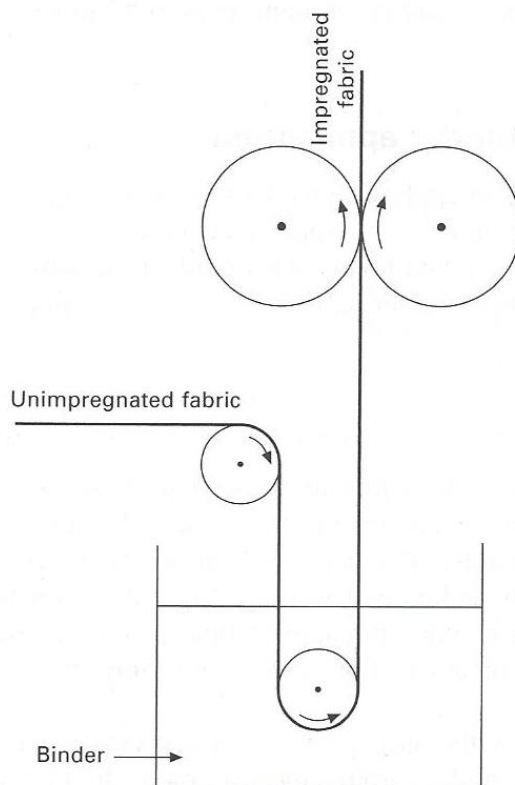
3.3.2 Kemiallinen sitominen

Kemiallinen sitominen perustuu adheesioon. Kuituraina lujitetaan sideaineella, joka liimaa kuidut yhteen. Yleisimmin käytettyjä sideaineita ovat monikäyttöiset ja edulliset lateksipolymeerit. Muita sideaineita ovat muun muassa luonnolliset sideaineet kuten tärkkelykset ja kumit, vinyylipohjaiset polymeerit ja akrylaattipolymeerit. (Russell 2007, 330–332.)

Sideaineiden valinta vaikuttaa kuitukankaiden moniin ominaisuuksiin. Kuitukankaan hengittävyys, jäykkyys, lujuus ja pehmeys ovat muutamia näistä ominaisuuksista. Myös kuitukankaan biohajoavuus tai kierrätysmahdollisuudet riippuvat sideaineen valinnasta.

Erilaisten sideaineiden käyttöä voidaan soveltaa jo aiemmin sidottujen kuitukankaiden toiminnallisuuden ja ominaisuuksien lisäämiseksi. On esimerkiksi hyvin tavanomaista, että vesineulatut, neulatut tai lämmöllä sidotut kuitukankaat sidotaan uudelleen kemiallisella sidontamenetelmällä ulkonäön tai ominaisuuksien parantamiseksi. (Russell 2007, 330–331.)

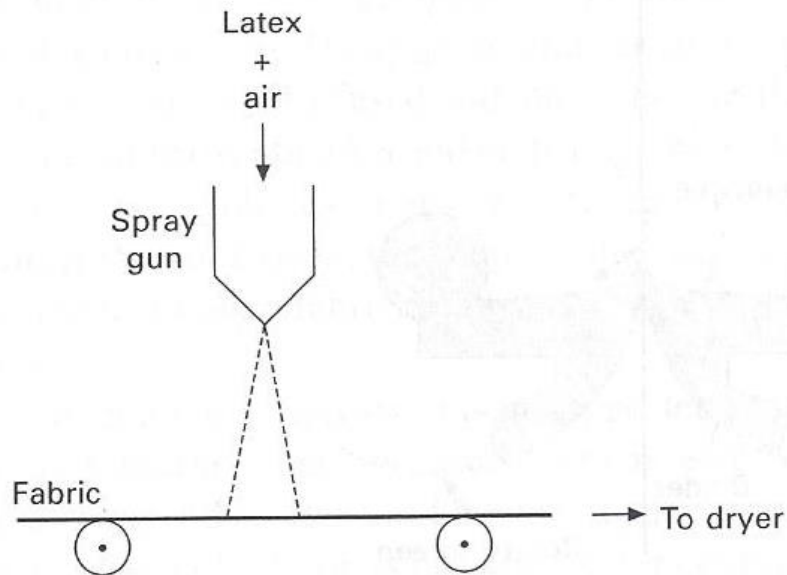
Kuiturainat käsitellään sideaineella impregnoimalla, suihkuttamalla, painamalla, vaahdottamalla tai pinnoittamalla. Impregnoinnissa kuituraina kastetaan kokonaan sideaineliuokseen ja vedetään puristusvalssien läpi (kuva 8). Puristusvalssit säätelevät kuiturainaan jäävää sideainemäärää ja puristavat pois ylimääräisen sideaineen. Impregnoinnilla saadaan peitettyä kaikki tai lähes kaikki kuidut sideaineella, mikä muokkaa valmiin kuitukankaan fysikaalisia ominaisuuksia ja toimii erittäin tärkeässä roolissa hydrofobisten tai hydrofiilisten tuotteiden valmistuksessa. (Russell 2007, 349–350.)



KUVA 8 Impregnointi (Russell 2007, 350)

Impregnoinnissa puristusvalssit aiheuttavat kuitukankaan kokoonpuristumista kun taas suihkuttamalla saadaan aikaan hyvin huokoisia ja kuohkeita tuotteita, joita käytetään esimerkiksi suodatinmateriaaleina, eristeinä ja saniteettituotteina. Ilmanpaineen, hydraulisen paineen tai keskipakovoiman sumuksi hajoittama sideaine suihkutetaan liik-

kuvan kuiturainan päälle, jonka jälkeen sideaine kuivatetaan (kuva 9). Sideainetta voidaan suihkuttaa kuiturainan molemmille puolille. Jirsákin ja Wadsworthin (1999, 96) mukaan suihkuttamalla pystytään annostelevaan sideainetta tarkemmin, mutta sideaine voi jakautua kuiturainalle epätasaisesti eikä kaikkea suihkutettua sideainetta välttämättä pystytä hyödyntämään. (Russell 2007, 353.)



KUVA 9 Sideaineen suihkutus (Russell 2007, 353)

Sideaine voidaan levittää kuiturainan pintaan käyttämällä ilman ja veden avulla ohennettua sideainevaahtoa. Sideainevaahto levitetään rainan pintaan yhdellä tai kahdella vaahdottajalla, jotka liikkuvat edestakaisin rainan leveyssuunnassa rainan liikkeessä pituussuuntaan. Tämän jälkeen ylimääräinen vaahto poistetaan puristusvalsseilla. Vaahdottamalla saadaan vähennettyä energiakustannuksia ja rainan kuivumisaikaa. (Russell 2007, 350–351.)

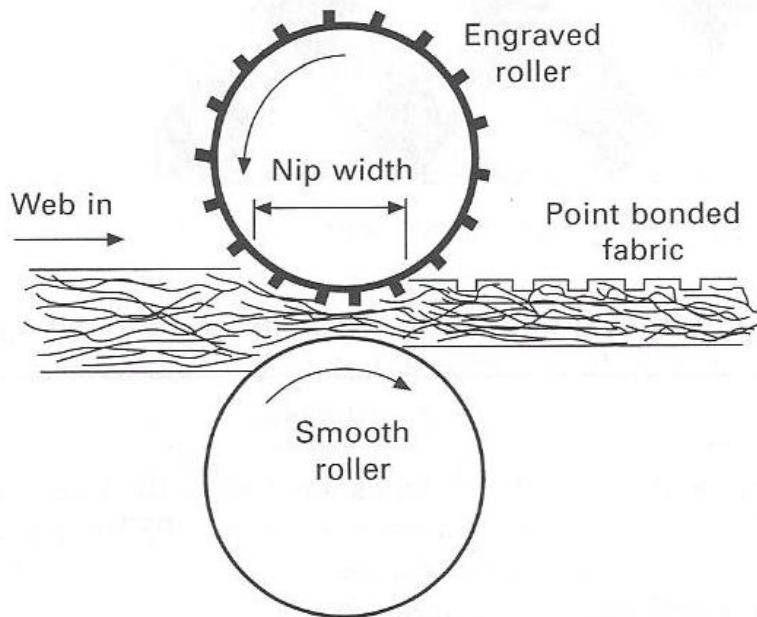
Painamismetodia käytetään silloin, kun halutaan kohdistaa sideainetta vain tiettyihin kohtiin kuiturainassa. Tällöin kaikki kuidut eivät sitoudu, ja kuitukankaasta saadaan pehmeän tuntuinen ja/tai kuvioitu. Kuituraina kulkee kahden rumpuseulan välistä, jotka painavat sideaineen rainan pinnalle rumpuseuloissa olevista raoista. Pinnoituksessa sideaineen levitykseen käytetään veistä, joka kaapii paksunnetun sideaineseoksen kuiturainan pintaan. (Russell 2007, 353–355.)

Sideainekäsittelyn jälkeen kemiallisen sitomisen viimeinen vaihe on kuivattaminen. Kuiturainasta haihdutetaan sideaineessa alusaineena toiminut vesi, jolloin sideaine liimaa kuiturainan yhtenäiseksi kuitukankaaksi. (Russell 2007, 356–357.)

3.3.3 Lämpösidonta

Lämpösidonnassa käytetään hyödyksi termoplastisia materiaaleja, jotka yhdistetään toisiinsa koheesiolla. Termoplastisia tekstiilikuituja, jauheita, bikomponenttikuituja ja monia muita lämmössä sulavia tai pehmentyviä komponentteja on kehitetty vastaamaan markkinakysyntään. Lämpösidonta on kasvattanut vetovoimaansa sidontamenetelmänä lisääntyneiden energiakustannusten ja ympäristötietoisuuden seurauksena. Kemialliseen sidontaan verrattuna lämpösidonta kuluttaa vähemmän energiaa ja on ympäristöystävällisempi, koska lämpösidonnassa ei tarvita sideaineita tai veden haihduttamista. (Russell 2007, 298–300.)

Lämpösidonta on mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla kuten kalanteroimalla, säteilyttämällä tai kuumaa ilmaa käyttäen. Kalanteroinnin periaatteena on yhdistää termoplastiset komponentit toisiinsa kuljettamalla kuituraina kahden toisiinsa puristuvan ja sisältä lämmitetyn puristusvalssin läpi (kuva 10). Kulkiessaan kuumien puristusvalssien läpi kuidut tahmenevat ja pehmentyvät. Nestemäinen polymeerimassa kerääntyy kuitujen kosketuspisteisiin ja jäähtyessään sitoo kuiturainan yhteen. Kuituraina voidaan sitoa joko koko alueelta tai pistemäisesti. Kalanterointi toimii parhaiten kevyiden kuiturainojen sitomismenetelmänä. (Russell 2007, 305–306, 318, 322.)



Kuva 10 Pistemäisesti kalanteroidun kuitukankaan sitomismenetelmä (Russell 2007, 307)

Kuumalla ilmalla toimivan lämpösidontakoneen toimintaperiaatteena on kuljettaa kuiturainaa lämpöä läpäisevän rummun läpi, jonne puhalletaan kuumaa ilmaa. Tässä menetelmässä käytetään lähes pelkästään bi- tai trikomponenttikuituja. Kuumalla ilmalla saadaan aikaan paksuja, pehmeitä ja laskeutuvia kuitukankaita. (Russell 2007, 318.)

Säteilytys tehdään infrapunasäteilyllä tai ultraäänellä. Russellin (2007, 323) mukaan säteilytyksen tavoitteena on kasvattaa säteilyenergian absorboitumista materiaaliin esimerkiksi tummemman värin, epätasaisen pinnan tai oikean aaltopituuden avulla. Säteilyenergia kasvattaa kuitujen sisäistä lämpötilaa, jolloin kuidut pehmenyvät. Ultraäänellä pystytään kuumentamaan hyvin tarkkoja alueita kuiturainasta, mikä mahdollistaa loppuotteiden kuohkeuden, pehmeän tunnun ja ilmanläpäisykyvyn. (Jirsák & Wadsworth 1999, 112–114.)

3.4 Käyttökohteet

Kuitukankaita tuotetaan ja kehitetään vastaamaan käyttökohteitaan, mikä nostaa kuitukankaiden ominaisuudet tärkeään asemaan. Ominaisuuksiin kuuluu monia tarkoituksenmukaisia toiminnallisuksia, joita yhdistelemällä saadaan lukemattomia erilaisia tuotteita. Kuitukankaiden ominaisuudet, hinta ja elinikä tasapainoitetaan tuottoisaksi

yhdistelmäksi. Tuotteiden käyttöikä vaihtelee kertakäyttöisyydestä moniin vuosiin. (EDANA: What are nonwovens?.)

Yhdistelemällä kuitukankaita erilaisiin materiaaleihin ja kankaisiin saadaan aikaan hyvin monipuolisia tuotteita. Kuitukangastekniikka mahdollistaa myös ulkonäöllisesti, lujuudellisesti ja tekstuurillisesti perinteisten kankaiden kaltaisten tuotteiden valmistuksen. (Russell 2007, 2; EDANA: What are nonwovens?.)

EDANAn (2013) mukaan vuonna 2012 Euroopassa tuotetuista kuitukankaista noin kolmannes päätyi hygieniatuotteisiin. Rakentamiseen tuotettiin 17,8 % ja kertakäyttöpyyhkeisiin 16,1 %. Noin 5 %:in osuudella seurasivat kodintuotteet, autoteollisuuden tuotteet ja suodatinmateriaalit. (EDANA 2013.)

Monipuolisten kuitukankaiden käyttökohteita on lähes rajattomasti, joista esimerkkeinä voidaan mainita seuraavat:

- hygieniatuotteet kuten vaipat, terveystiet ja meikinpoistotuotteet
- meditekstiilit kuten potilasvaattet ja kirurgiatuotteet
- suojavaatetukset, kenkien vuoraukset ja sisävuoret
- kodintuotteet kuten patjat ja peitteet
- rakennustekstiilit ja geotekstiilit kuten eristysmateriaalit ja suodatinkankaat
- suodatinmateriaalit kuten teepussit, polttoainesuodattimet ja hengityssuojaimet
- autoteollisuuden ja teollisuuden tuotteet. (Russell 2007, 3.)

4 KUITUKANKAAT SUODATINMATERIAALINA

4.1 Määritelmä

Suodattava kuitukangas on sekalaisesti orientoituneista filamenteista tai kuiduista valmistettu huokoinen kangas, jonka tarkoituksena on poistaa tai suodattaa ainesosia ja faaseja suodatettavasta aineesta. Kuitukangas voi toimia joko suodattajana tai suodattavan aineen alustana. (Hutten 2007, 9.)

Kuitukankaassa voi olla ainesosia, jotka toimivat osana suodatusprosessia. Ainesosat voivat olla esimerkiksi lisäaineita, pehmentimiä, kostuttimia tai fillereitä. Kuitukankaan kuiturakenne toimii suodattimen perustana, ja rakenteen kuitujen täytyy olla sidottuja jollakin sidontamenetelmällä. Suodattimena toimivan kuitukankaan ominaisuuksia voidaan tarvittaessa tehostaa mekaanisilla tai kemikaalisilla käsittelyillä. (Hutten 2007, 9.)

4.2 Suodatusprosessit

Suodatuksessa hyödynnetään erilaisia suodatusprosesseja. Yksinkertaisimmillaan suodatusprosessissa erotetaan valikoidut partikkelit aineesta. Suodattaminen on mahdollista myös adsorboimalla, absorboimalla, saostamalla ja uuttamalla sekä suodattamalla elektrostaattisin tai antimikrobisin keinoin. Adsorboinnissa virtaavasta nesteestä poistetaan nestemäisiä aineita ja liukenevia epäpuhtauksia pidättämällä aineet suodattimen pintaan. Aktiivihiiiltä käytetään usein adsorbenttina. Adsorboivia suodattimia käytetään esimerkiksi kaasunaamareissa ja autojen ilmansuodattimissa. (Hutten 2007, 6–7.)

Absorboivat suodattimet toimivat imeyttämällä epäpuhtauksia huokoiseen rakenteeseensa. Hyvä imukyky ei ole usein toivottu ominaisuus suodattimissa, mutta kuitukankaita käytetäänkin usein vain absorboivana suodattimen kokoavana rakenteena. Saostavat suodattimet poistavat sekoittumattomia nestemäisiä partikkeleja kaasusta tai nesteestä kuten öljyä ja kosteutta ilmasta tai hiilivetyjä vedestä. (Hutten 2007, 7.)

Antimikrobiset suodattimet estävät bakteerien, hiivan ja sienien kasvua sekä vastustavat mikro-organismien kulkua suodattimeen tai sen läpi. Elektrostaattisesti varautuneita kuituja tai suodatinaineita käytetään ilmansuodatuksessa. Uuttamisprosessi on yleinen

esimerkiksi kahvin ja teen suodattamisessa, jolloin kuitukangas toimii lähinnä prosessin rakenteellisena vahvikkeena. (Hutten 2007, 8.)

Kuitukankaita käytetään monissa suodattimien sovelluksissa rakenteena, joka sisältää itse suodattavan aineen ja toimii vain osana suodatusprosessia. Suodattavissa komposiitirakenteissa voidaan hyödyntää erilaisten kuitukankaiden suodatusominaisuuksia sekä yhdistää muita tekstiilirakenteita kuitukankaisiin. (Hutten 2007, 8–9.)

4.3 Sovellukset

Suodattimia tarvitaan pääasiassa kahdenlaiseen suodatukseen: ilman ja nesteen suodatukseen. Näitä kutsutaan myös kuivaksi ja kosteaksi suodatukseksi. Useimmiten ilman- ja nestesuodattimia valmistetaan märkä-, sulakehruu- ja sulapuhallusmenetelmällä, mutta valmistusmenetelmä valitaan aina tuotteen käyttökohteen mukaan. Sulakehruumenetelmällä valmistetaan lisääntyvässä määrin paneeli- ja kennosuodattimia sekä erilaisia alusrakenteita suodatussovelluksiin. Sulakehruumenetelmän suosion odotetaan kasvavan tulevaisuudessa. Suodatinmateriaaleihin valmistettavista kuitukankaista noin 70 % tuotetaan ilmansuodattimiin ja loput noin 30 % nestesuodattimiin. (Nonwoven Industry 2001; Gregor 2009.)

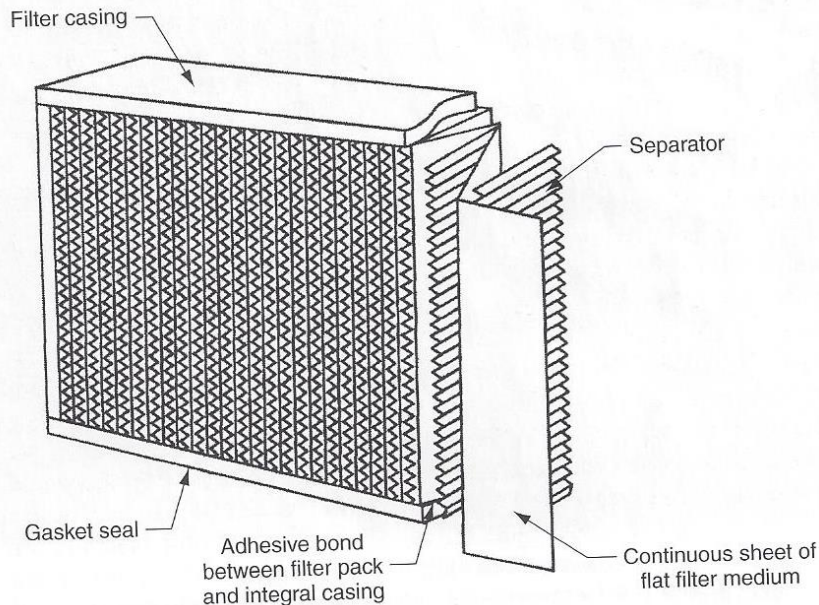
Kuitukankaisia suodatinmateriaaleja pystytään valmistamaan edullisesti ja hyödyllisin ominaisuuksin. Nonwovens Industry-lehden (2001) mukaan kuitukankaisien suodattimien markkina-asema on kasvanut tasaisesti, ja kuitukankaat valtaavat suodatinmarkkinoita syrjäyttämällä erilaisissa sovelluksissa muita suodatinmateriaaleja kuten kudottuja kankaita ja paperia. (Nonwoven Industry 2001.)

4.3.1 Ilmansuodattimet

Ilmansuodattimet suodattavat ilmansaasteita, pölyä, savua ja huujuja sekä auttavat ehkäisemään niiden aiheuttamia terveysriskejä ja vaikutuksia luontoon. Ilmansuodattimet auttavat myös säästämään kuluja tilojen ja laitteiden huollossa. (Tharewal, Landage & Wasif 2013, 15, 17.)

Kuitukankaisia ilmansuodattimia esiintyy hyvin laajasti erilaisissa sovelluksissa. Teollisuudessa niitä käytetään pölyn, kaasujen ja huujujen suodattamiseen. Ilmastoinnissa ja

ilmanvaihdossa käytetyt HVAC (Heat Ventilation and Air Conditioning)-suodatinjärjestelmät kontrolloivat työpaikkojen ja kotien ilman laatua. Erittäin vaativissa tiloissa, esimerkiksi puhdastiloissa, suositetaan HEPA (High Efficient Particulate Air)-tai ULPA (Ultra Low Penetration Air)-suodattimia. Kuvassa 11 on esitetty yksi HEPA-suodatinmalli. Gregorin (2009) mukaan HEPA-suodattimet valmistetaan usein lasikuidusta märkämenetelmällä. (Hutten 2007, 325, 329, 334.)



KUVA 11 HEPA-suodattimen rakenne (Hutten 2007, 349)

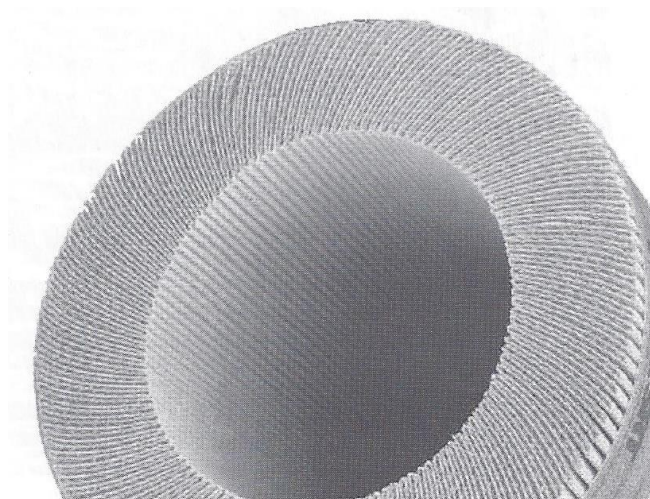
Hengitysilman puhdistaminen on monissa olosuhteissa olennaista. Kasvosuojukset, hengityssuojaimet ja kaasunaamarit sisältävät kehuu- tai märkämenetelmällä valmistettuja kuitukankaita. Ilmavirtauksista kosteutta ja hiilivety- tai öljysumua poistaviin ilmansuodattimiin valitaan raaka-aineeksi lähes aina lasikuitua tai mikrokuitua, koska ne ovat tarvittavan hienoja tekstiilikuituja saostamisprosessiin. (Hutten 2007, 11–13, 357, 366–367.)

Kuivamenetelmällä valmistettuja paksuja ilmansuodattimia käytetään usein polttoaineen, lian ja pölyn suodatukseen. Ohuempia suodattimia valmistetaan märkä- ja kehuumenetelmällä. Märkämenetelmällä valmistettuja kuitukankaita käytetään muun muassa HVAC-suodatinjärjestelmissä ja autojen tuloilman suodatuksessa. (Tharewal ym. 2013, 23–25.)

Ilmansuodattimille tärkeä ominaisuus on vedenhylkivyyys, joka estää ilmansuodattimen kostumista ja hajoamista. Vedenhylkivyyttä lisätään hylkivyy sviimeistyksillä tai hydrofobisilla kuiduilla kuten polyesterillä tai polyolefiinikuiduilla. Monissa sovelluksissa vaaditaan myös palosuojausta. Kuitukankaisten ilmansuodattimien ilmanläpäisevyyteen vaikuttaa kankaan paino, tiheys ja paksuus. Kankaan painon, tiheyden ja paksuuden noustessa ilmanläpäisevyys laskee, venymän sieto ja hankauksenkesto nousee sekä suodatuskyky paranee. (Hutten 2007, 190–194; Tharewal ym. 2013, 28.)

4.3.2 Nestesuodattimet

Suodatettavia nesteitä on kahden tyyppisiä: vesipohjaisia ja hiilivetypohjaisia. Kuitukankaisia vesipohjaisten nesteiden suodattimia käytetään muun muassa teollisuuden prosesseissa, veden ja juomien suodatuksessa, lääketieteellisissä sovelluksissa ja uima-altaiden veden puhdistamisessa. Yleisiä nestesuodattimia ovat kennosuodattimet, joiden sisälle kuitukangas laskostetaan (kuva 12). Hiilivetypohjaisten nesteiden suodattimia käytetään esimerkiksi moottorien, teollisuuden hiilivetyjen ja dieselöljyn suodatuksessa sekä ruokaöljyjen puhdistamisessa. (Hutten 2007, 291–292.)



KUVA 12 Laskostettu kennosuodatin (Hutten 2007, 309)

Nesteiden suodatuksessa tyypillisimpiä kuitukankaita ovat kehrumenetelmällä valmistetut kuitukankaat, joista sulakehrumenetelmällä valmistettuja kuitukankaita voidaan käyttää lähes missä tahansa nesteen suodatussovelluksessa. Myös neulattuja kuitukankaita käytetään nestesuodattimissa, mutta ne ovat tavallisempia ilmansuodattimissa. (Hutten 2007, 292–294.)

4.3.3 Moottorikoneiden suodattimet

Moottoroitujen koneiden ja laitteiden suodattimet ovat moninaisia ja muodostavat suuren osan suodattimiin käytettävien kuitukankaiden markkina-alasta. Moottorikoneiden suodatukseen käytetään sekä ilman- että nestesuodattimia. Pelkästään yksi henkilöauto sisältää 25 erilaista suodatinta. Kuvassa 13 on esitetty eräitä autoissa olevia ilman-suodattimia. Muita moottoroituja koneita ja laitteita ovat esimerkiksi junat, lentokoneet, laivat ja erilaiset työkoneet. (Hutten 2007, 369.)



KUVA 13 Ilmansuodattimia henkilöautossa (Tharewal ym. 2013, 29)

Moottoroiduissa koneissa ja laitteissa suodattimia käytetään voiteluöljyjen, polttoaineen, tuloilman ja matkustamon sisäilman suodatukseen. Matkustamon sisäilman suodatuksessa käytetään usein aktiivihiiltä sisältäviä komposiittimateriaaleja. Moottorikoneiden suodattimet ovat yleisimmin laskostetussa muodossa kuten kuvassa 12, ja ne ovat kenno- tai paneelisuodattimia. Suodattimen muoto kuitenkin vaihtelee paikan ja sovelluksen mukaan. (Hutten 2007, 369.)

5 VIIMEISTYSKÄSITTELYT

5.1 Yleisesti

Tekstiilien viimeistyskäsittelyt jaetaan mekaanisiin ja kemiallisiin käsittelymenetelmiin. Mekaaniset viimeistyskäsittelyt, kuten kalanterointi ja harjaus, toimivat muuttamalla fyysisesti kankaan ominaisuuksia ja samalla ulkonäköä. Kemiallisilla viimeistyskäsittelyillä saavutetaan halutut ominaisuudet muuttamatta kankaan pinnan ulkonäköä. Viime vuosien aikana kemialliset viimeistyskäsittelyt ovat lisääntyneet huipputeknisten ja suorituskykyisten tuotteiden noustessa suosioon. (Heywood 2003, 102; Schindler & Hauser 2004, 1–2.)

Kemiallisessa viimeistyskäsittelyssä muutetaan kankaan kemiallista rakennetta lisäämällä erilaisia kemikaaleja. Yleisimmin kemikaali lisätään kankaaseen veden seassa liuoksena tai emulsiona, joko kastamalla koko kangas liuokseen tai ajamalla kankaaseen täsmällinen määrä liuosta. Kemikaalin valintaan vaikuttaa olennaisesti ominaisuusvaatimukset, mutta myös esimerkiksi käytetyt tekstiilikuidut, kankaan rakenne, kustannustehokkuus ja käytössä oleva laitteisto. Kemikaalikäsittelyn jälkeen kankaat kuivataan, ja tarpeen mukaan kemikaali kiinnitetään kankaaseen kuumentamalla. (Schindler & Hauser 2004, 7, 67.)

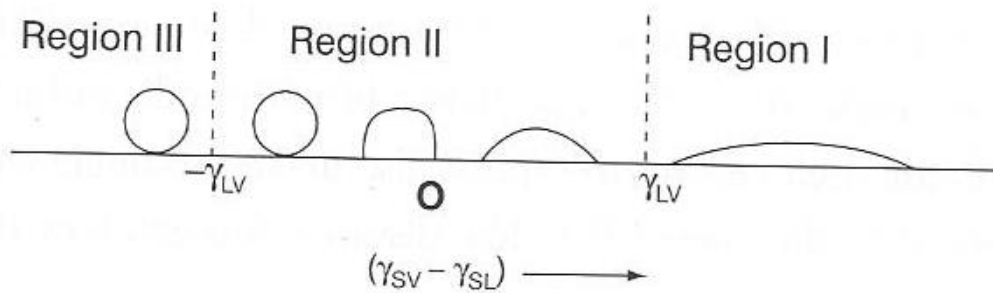
Yleisimmät tekstiilien viimeistyskäsittelyt ovat pehmenys-, hylkivyys- ja palosuojausviimeistykset, joista pehmenysviimeistykset ovat selkeästi merkittävimmissä asemassa. Käytössä on myös lukuisia muita viimeistyskäsittelyjä kuten antimikrobi- ja antistaattisuusviimeistykset sekä helppohoitoisuus- ja liestymättömyysviimeistykset. Viimeistyskäsittelyjä yhdistellään usein taloudellisista syistä, mikä on osoittautunut viimeistyskäsittelyjen haastavimmaksi osa-alueeksi. (Schindler & Hauser 2004, 4–5.)

5.2 Hylkivyys

Hylkivyysviimeistykset tarkoitetaan käsittelyjä, joilla tekstiili viimeistellään käyttötarkoituksensa mukaan vettä, öljyä tai likaa hylkiväksi. Hylkivyys saavutetaan alentamalla kuitujen/tekstiilin pinnalla olevaa vapaata energiaa. Kun pintaenergia on alempi kuin hyljittävän aineen pintajännitys, aineen suuremmat sisäiset vetovoimat pitävät aineen

koossa eikä aine imeydy kuituun. Toisin sanoen, kuidun ja aineen väliset adheesiovoimat ovat pienemmät kuin aineen sisäiset koheesiovoimat. (Schindler & Hauser 2004, 75.)

Pintaenergiaa alennetaan viimeistysaineilla, joilla on pieni pintajännitys. Kun tekstiilin pintaenergiaa alennetaan, saadaan nesteen ja tekstiilin välille mahdollisimman suuri pintajännitysero, joka on negatiivinen. Kuvasta 14 nähdään, että mitä suurempi pintajännitysero (negatiivinen) on, sitä paremmin tekstiili hylkii nestettä. Tekstiilien pintaenergiaa voidaan mitata nestetipan kontaktikulmasta. Kontaktikulman kasvaessa tekstiilin hylkivyyys lisääntyy eli suuri kontaktikulma tarkoittaa hyvin hylkivää pintaa (kuva 15). Huonosti kostuvia pintoja ovat pinnat, joiden kontaktikulma on suurempi kuin 110° . (Heywood 2003, 137–139, 144–145.)



KUVA 14 Pintajännityseron vaikutus (Heywood 2003, 145)



KUVA 15 Kontaktikulmat (Vieno 2013)

Vettä- ja öljynhylkivyyksiä viimeistelyssä tarkoituksena on estää tekstiilin kostuminen. Likaahylkivyyksiä viimeistely suojellee tekstiiliä sekä kuivalta että kostealta lialta. Vettä-hylkivyyksiä saadaan aikaan parafiineilla, rasvahappoyhdisteillä, silikooneilla ja fluoraatuilla hiilivedyillä. Fluoratuilla hiilivedyillä on erittäin alhainen pintajännitys, joka mahdollistaa ainoana viimeistelyaineena myös öljynhylkivyyden saavuttamisen, koska öljyn pintajännitys on paljon pienempi kuin veden. Taulukossa 1 on esitetty eri aineiden ja tekstiilikuitujen pintajännityksiä (γ) yksiköllä mN/m (millinewtonia per metri). (Heywood 2003, 145; Schindler & Hauser 2004, 75.)

TAULUKKO 1 Pintajännitysarvoja 20°C:ssa (Heywood 2003, 142, muokattu)

Neste	γ (mN/m)	Tekstiilikuidut	γ (mN/m)
Vesi	73	Polyamidi 6.6	46
Maapähkinäöljy	40	Villa	45
Oliiviöljy	32	Valkaistu puuvilla	44
Parafiiniöljy	31	Polyester	43
Bensiini	26	Polypropeeni	29
n-oktaani	22		
n-heptaani	20		
Vesi (sis. Kostustusaineen)	25-35		

Tekstiilin kyky vastustaa kostumista ja nesteenläpäisyä riippuu kuiduista, kankaan rakenteesta ja käytetystä hylkivyysskemikaalista. Kuitujen pinnan kemiallinen luonne, muoto ja karheus sekä pintaenergia vaikuttavat hylkivyyteen. Kuten taulukosta 1 nähdään, taulukossa esitetyt tekstiilikuidut kostuisivat suurimmalla osalla nesteistä. Hyvin tiheä, sileä tai päällystetty kangas hylkii hyvin nestettä. Ohuet kankaat ovat huonosti hylkiviä. (Heywood 2003,141–142, 144, 148–149.)

Kun käytetään hylkivyysskemikaaleja, on mahdollista, että huonot ja ei-toivottavat ominaisuudet korostuvat tarkoituksettomasti. Esimerkiksi huono puhdistuvuus, staattiset ominaisuudet, värin harmaantuminen pesussa, syttymisherkyys ja kova tuntu voivat lisääntyä. (Schindler & Hauser 2004, 74.)

Kemiallisten käsittelymenetelmien lisäksi pyritään kehittämään uusia keinoja erinomaisen hylkivyyden saavuttamiseksi. Nanoteknologian avulla esimerkiksi biologisia meka-

nismeja, kuten lootuksen lehteä, pystyttäisiin jäljittelemään käyttämällä synteettisiä materiaaleja ja olemassa olevia valmistusmenetelmiä. (Heywood 2003, 198–199.)

Hylkivyyksikäsiteltyjä tekstiilejä testataan yleisimmin standardisoiduilla yksinkertaisilla ja nopeilla tippatesteillä ja suihkutesteillä sekä hydrostaattisen paineen keston testillä. Testauksien avulla voidaan arvioida, vertailla ja tarkkailla hylkivyyttä. (Schindler & Hauser 2004, 84.)

5.3 Palosuojaus

Palosuojauksella estetään palon alkaminen tai hidastetaan tulen leviämistä, mikä auttaa pelastamaan ihmishenkiä sekä suojelemaan omaisuutta ja ympäristöä. Palosuojattuja tekstiilejä tarvitaan muun muassa sisustustuotteissa, pelastustyöntekijöiden vaatetuksessa, rakennusmateriaaleissa ja julkisissa kulkuvälineissä. Tekstiilien palovaarojen tunnistaminen toisen maailmansodan jälkeen lisäsi tarvetta kehittää tuotteiden paloturvallisuutta. Tarvittiin tehokkaita ja kestäviä viimeistyksiä, joilla on vain vähäinen vaikutus tuotteen muihin ominaisuuksiin kuten tuntuun tai ulkonäköön. (American Chemistry Council; Heywood 2003, 214; Schindler & Hauser 2004, 98.)

Palosuojausviimeistyksiä kehitettiin aina 1980-luvulle asti, jonka jälkeen uusien viimeistysaineiden kehitys on lähes pysähtynyt. Lainsäädännölliset määräykset, ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja uusien kemikaalien kehityskustannukset yhdessä jo olemassa olevien tehokkaiden palonsuoja-aineiden kanssa johtivat tutkimus- ja kehitystoiminnan hidastumiseen. (American Chemistry Council; Heywood 2003, 214.)

Hiljattain on kehitetty uusi palonsuoja-aine, jolla pinnoitetaan tekstiili tai palosuojasta tarvitseva alusta. Palon alkaessa kuumuuden aiheuttama kemiallinen reaktio saa aineen paisumaan moninkertaiseksi vaahdoksi, joka lopulta jähmettyy hiiltymäksi tekstiilin pinnalle. Vaahto suojaa tekstiiliä toimimalla tulen eristeenä, ja vähentää savun sekä myrkyllisten kaasujen muodostumista. Paisuvaa palonsuoja-ainetta tutkitaan edelleen yhtenä mahdollisena vaihtoehtona aiemmin kehitetyille palonsuojakemikaaleille. Ainetta kutsutaan myös kuplautuvaksi päällysteeksi (Intumescent coating). (Nullifire; Heywood 2003, 246–247.)

5.3.1 Palamisominaisuudet

Syttymiseen tarvitaan happea, lämpöä ja polttoainetta, esimerkiksi tekstiilikuituja. Kun lämpöä on tarpeeksi, alkaa materiaalin kemiallinen hajoaminen eli pyrolyysi. Pyrolyysi muodostaa hapen kanssa syttyvän kaasuseoksen, joka syttyy kipinästä tai mahdollisesti jopa itseksensä. Tekstiilin syttymiseen vaikuttaa tekstiilin ja tekstiilikuidun kemiallinen rakenne. Ohut rakenteinen tekstiili syttyy herkemmin kuin paksu. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 13–14; Schindler & Hauser 2004, 98.)

Termoplastiset kuidut kutistuvat lämmön vaikutuksesta ja vetäytyvät pois sytyttävän tulen läheisyydestä, mutta joutuessaan kosketuksiin tulen kanssa ne palavat raivokkaasti. Esimerkiksi kuitusekoitteissa ja komposiittirakenteissa termoplastisten kuitujen kutistuminen estyy, jolloin termoplastinen kuitu sulaa toisen kuidun pintaan ja syttyy. (Heywood 2003, 220.)

Ryynäsen, Kalloksen ja Ahosen (2001) mukaan palonsuoja-aineet vaikuttavat syttyvyyteen. Palonsuoja-aine voi estää syttymislämpötilan saavuttamisen sitomalla lämpöenergiaa, ohjata tekstiilin hajoamista vähentämällä palavia kaasuja, hajottaa eli hiiltää tekstiilin ennen syttymislämpötilaa tai estää hapen kulkeutumisen tekstiiliin muodostamalla kaasuja. Vaikka palonsuoja-aineet estävät tekstiilin syttymistä, ne voivat kuitenkin epätäydellisen palamisen takia lisätä palamisesta muodostuvan savun määrää ja näin ollen huonontaa näkyvyyttä sekä lisätä palokaasujen määrää. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 14–16.)

Syttymis- ja pyrolyysilämpötilan ollessa alhaisia materiaali syttyy herkemmin. Taulukosta 2 nähdään, että esimerkiksi selluloosakuidut (puuvilla ja viskoosi) ja akryyli sytyvät alhaisemmissa lämpötiloissa toisin kuin hyvin lämpöä kestävät aramidit. Vaikka selluloosakuidut ovat herkästi syttyviä, niitä käytetään noin 80 %:ssa palosuojatuista tekstiileistä. Selluloosakuituja käytetään, koska ne on helppo palosuojata ja niitä on helppoa saatavilla. (Heywood 2003, 215–217.)

Palamisominaisuuksia arvioidaan LOI (Limited Oxygen Index)-happi-indeksin avulla. Ilmassa on happea 20,8 %, joten LOI-arvon ollessa alle 21 tekstiilikuitu palaa helposti. Arvon ollessa yli 21 tekstiilikuitu syttyy ja palaa hitaasti. Yli 26 ylittävillä arvoilla tekstiili läpäisee kaikki pienellä liekillä tehdyt testaukset ja on paloa hidastava. Taulukossa

2 esiintyvistä tekstiilikuiduista modakryyli, PVC (polyvinyylidikloridi), meta- ja para-aramidi ylittävät arvon 26. (Heywood 2003, 2018.)

TAULUKKO 2 Tekstiilikuitujen lämpökäyttäytyminen (Heywood 2003, 218, muokattu)

Tekstiilikuitu	Pehmenemislämpötila (°C)	Sulamislämpötila (°C)	Pyrolyysilämpötila (°C)	Syttymislämpötila (°C)	LOI-arvo (%)
Villa	-	-	245	570-600	25
Puuvilla	-	-	350	350	18,4
Viskoosi	-	-	350	420	18,9
Polyamidi (Nylon 6)	50	215	431	450	20-20,5
Polyester	80-90	255	420-447	480	20-21
Akryyli	100	>220	290	>250	18,2
Polypropeeni	-20	165	470	550	18,6
Modakryyli	<80	>240	273	690	29-30
PVC	<80	>180	>180	450	37-39
Meta-aramidi (Nomex)	275	375	410	>500	29-30
Para-aramidi (Kevlar)	340	560	>590	>550	29

Jo syttyneen tekstiilin palamisnopeuteen vaikuttaa kuitujen ja tekstiilin rakenteen lisäksi tekstiilin palamisasento, ilmavuus ja hapen saanti. Suurella palamislämmöllä palavat tekstiilikuidut lisäävät palon leviämiskaavaa. Kuiduilla kuten polypropeenilla ja akryyllillä on suuri palamislämpötila, ja puuvillalla alhainen. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 15–16.)

5.3.2 Palosuojausviimeistykset ja paloturvalliset kuidut

Palosuojaus voidaan tehdä pysyväksi tai pesussa pois huuhtoutuvaksi. Pysyvä palosuojaus saadaan aikaan pysyvällä viimeistyksellä, luonnostaan paloturvallisilla tekstiilikuiduilla tai paloturvallisiksi modifioituilla kuiduilla. Tekokuiduista ja luonnokuiduista valmistetut tekstiilit palosuojataan palosuojausviimeistyksillä, joissa tekstiiliin lisätään palosuoja-aine ruiskuttamalla tai upottamalla. Tekokuidut voidaan palosuojata myös kuidun valmistuksen aikana. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 25, 30.)

Luonnostaan paloturvallisia kuituja ovat muun muassa aramidikuidut, polyamidiimidikuidut, polyimidikuidut, klorokuidut, hiillytetyt kuidut ja fenolikuidut. Luonnostaan paloturvalliset kuidut ovat kalliimpia kuin tavalliset tekstiilikuidut, ja niitä käytetäänkin yleensä erikoistekstiileissä kuten suojavaatteissa. Palamattomia kuituja ovat lasikuitu ja keraamiset kuidut, jotka eivät pala edes puhtaassa hapessa. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 26–27; Schindler & Hauser 2004, 114.)

Palosuoja-aineissa on usein yhtä tai useampaa alkuainetta. Fosfori, typpi, bromi, boori, antimoni ja kloori ovat tavallisimpia palosuoja-aineiden sisältämiä alkuaineita, mutta muitakin alkuaineita saatetaan käyttää. Kankaita voidaan palosuojata myös epäorgaanisilla suoloilla kuten halogeeniyhdisteillä ja ammoniumsuoloilla. Palosuojatuissa tekstiileissä eniten käytetyt selluloosakuidut palosuojataan fosforia ja typpeä sisältävillä yhdisteillä sekä epäorgaanisilla suoloilla. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 29–31; Schindler & Hauser 2004, 104.)

Palosuojausviimeistykset voivat aiheuttaa tekstiilin tunnun ja vetolujuuden heikkene mistä sekä värimuutoksia. Palosuojausominaisuudet voivat heikentyä, jos tekstiiliin yhdistetään samanaikaisesti muita viimeistyyksiä kuten hylkivyyttä tai pehmenysviimeistyyksiä. Ominaisuuksien säilyvyys tarkistetaan testaamalla. (Schindler & Hauser 2004, 115.)

Tekstiileille on määritelty erilaisia paloturvallisuusvaatimuksia käyttökohteiden mukaan. Esimerkiksi lelujen ja liikennevälineiden sisusteiden paloturvallisuudesta on säädetty direktiivit. Palosuojausominaisuuksien arviointiin on kehitetty lukuisia erilaisia testausmenetelmiä. Testausmenetelmät vaihtelevat muun muassa koekappaleen asennon ja sytytystavan mukaan. (Ryynänen, Kallonen & Ahonen 2001, 66; Schindler & Hauser 2004, 113.)

6 TESTAUKSET

6.1 Testauksien kulku

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin Ahlstrom Tampere Oy:n laboratorio- ja tehdastiloissa. Ilmansuodattimiin käytettäviä kuitukangasmateriaaleja testattiin yrityksen antamien ja standardeihin perustuvien ohjeiden mukaan. Testauksien tarkoituksena oli löytää hylkivyy- ja palonestokemikaalilyhdistelmä, joka tuottaisi hyvät testaustulokset sekä hylkivyy- että palonkestotestauksista.

Testaukset suoritettiin kahdessa eri vaiheessa. Testaaminen aloitettiin hylkivyyssaineiden vertailulla. Vertailussa käytettävä kuitukangaslaatu leikattiin A4-kokoisiksi arkeiksi, jotka käsiteltiin yrityksen valitsemilla 26 hylkivyysskemikaalilla. Testauksiin kuului neljä eri hylkivyyssestausta, joista saatuja tuloksia käytettiin rajaamaan suotuisimmat tulokset antavat hylkivyysskemikaalit. Hylkivyyssestaukset olivat Mason Jar, hydrostaattisen paineen kesto, öljytippatesti ja IPA-tippatesti eli isopropanolitippatesti.

Vertailun avulla rajattiin 17 hylkivyysskemikaalia seuraavaan vaiheeseen, jossa hylkivyysskemikaaleja testattiin yhdessä palosuojatun kuitukangaslaadun kanssa. Palosuojattu kuitukangaslaatu sisälsi palonestoaineita, ja osa sen raaka-aineista oli palamatonta lasikuitua (Schindler & Hauser 2004, 114). Testauksia varten A4-kokoiset arkit käsiteltiin rajatuilla hylkivyysskemikaaleilla. Hylkivyy- ja palonestokäsitellyille kuitukangasarkeille suoritettiin sekä hylkivyy- että palonkestotestaukset tehokkaimman kemikaalilyhdistelmän selvittämiseksi. Palonkestotestaukset sisälsivät vinoliekkipolttokokeen ja vaakasuoran polttokokeen.

6.1.1 Käsittelyliuoksen valmistus

Hylkivyysskemikaaleille määritettiin ainepitoisuudet eli massakonsentraatiot, joilla testaukset suoritettiin. Hylkivyysskemikaalien vertailussa hylkivyysskemikaalien pitoisuudet olivat 4 g/l ja 10 g/l (grammaa per litra). Testauksien toisessa vaiheessa hylkivyysskemikaalien pitoisuutta nostettiin 30 g:aan/l, koska palosuojattu kuitukangaslaatu vaatii korkeamman ainepitoisuuden saavuttaakseen tarvittavat ominaisuudet (Ahlstrom Tampere Oy 2014).

Liuoksissa käytettiin hylkivyysskemikaalia, vettä ja isopropanolia. Isopropanoli toimii liuoksessa tensidin tavoin alentaen nesteen pintajännitystä, jotta kangasarkit imisivät mahdollisimman paljon kemikaaliliuosta (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio, 2010, 73). Liuoksen kokonaistilavuus oli 500 millilitraa, joka vastaa 500 grammaa. Isopropanolia liuoksesta oli 10 % eli 50 grammaa. Liuoksen sisältämä kemikaalin massa laskettiin yhtälöstä 1

$$c_m = \frac{m \times w_B}{V_{TOT}} \quad (1)$$

, jossa c_m on massakonsentraatio, m on kemikaalin massa, w_B on kemikaalin massaosuus ja V_{TOT} on liuoksen kokonaistilavuus (Antila ym. 2010, 63; Mäkelä, Soininen, Tuomola, & Öistämö 2005, 184).

Liuoksen sisältämä veden osuus saatiin vähentämällä liuoksen kokonaistilavuudesta kemikaalin ja isopropanolin massa. Osalle kemikaaleista määritettiin kemikaalin massaosuus eli kuiva-aineprosentti infrapunakuivaimen avulla.

6.1.2 Käsittely

Kuitukangasarkkeja käsiteltiin ensimmäistä vaihetta varten kuusi kappaletta jokaista hylkivyysskemikaalia kohden. Puolet kuudesta arkista käsiteltiin 4 g/l pitoisella liuksella ja puolet 10 g/l pitoisella liuoksella. Toiseen vaiheeseen käsiteltiin seitsemän arkkiä yhtä hylkivyysskemikaalia kohden 30 g/l pitoisella liuoksella.

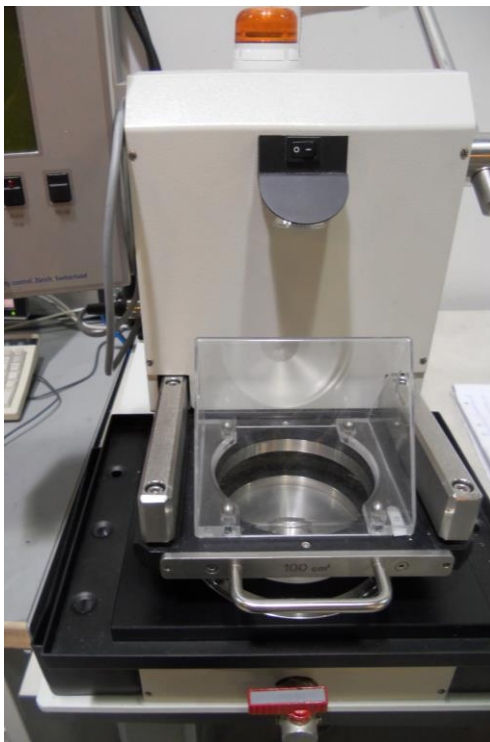
Kemikaaliliuoskäsittelyn jälkeen arkkeja kuivattiin uunissa 110 °C:ssa. Arkit punnittiin ennen ja jälkeen kuivauksen. Kuivattuja arkkeja kypsytettiin 170 °C:ssa, jonka jälkeen arkkeja ilmastoitiin vakio-olosuhteissa vähintään puolen tunnin ajan ja punnittiin uudelleen. Standardin SFS-EN ISO 139 (2012, 10–12) mukaisissa vakio-olosuhteissa lämpötila on $20,0 \pm 2,0$ °C ja suhteellinen kosteus $65,0 \pm 4,0$ %.

6.2 Hydrostaattisen paineen kesto

Hydrostaattista painetta testataan mittaamalla kankaan vedenläpäisyvastusta eli vesitiivyyttä hydrostaattisen paineen alaisena. Hydrostaattisen paineen nostonopeus ilmoite-

taan yksiköllä mbar/min, joka ilmaisee kuinka monta millibaaria veden paine lisääntyy yhdessä minuutissa. 1 millibaari vastaa 1,02 senttimetrin veden painetta eli vastaavasti nostopaine voidaan ilmoittaa myös yksiköllä cm H₂O/min (vesipatsassenttimetriä minuutissa). Testaustulokset ilmoitetaan joko yksiköllä mbar tai cm (senttimetri). Tässä tutkielmassa tulokset ilmoitetaan yksiköllä mbar. (Standard test: WSP 80.6 2009.)

Hydrostaattisen paineen kesto määritettiin WSP 80.6 standardin (2009) mukaan. Testauslaitteen vesisäiliö täytettiin tislatulla vedellä. Näyte asetettiin näytepitimen päälle yläpinta alaspäin ja lukittiin paikalleen. Näytteen tuli olla yli 100 cm² kokoinen, jotta se ylittäisi näytepään ulkoreunat. Standardista poiketen testauslaite asetettiin lisäämään painetta 200 mbar:a/min, ja testaus suoritettiin vain yhdestä näytteestä. Testauslaitteena käytettiin hydrostaattisen paineen keston testauslaitetta Hydrotester FX 3000-3L:ää (kuva 16). (Standard test: WSP 80.6 2009.)



KUVA 16 Hydrotester FX 3000-3L (Kuva: Jasmin Eeva 2015)

Näyte alistettiin vakiodun ja tasaisesti lisääntyvän paineen alaiseksi kunnes vesi läpäisi kankaan. Vedenpaine suuntautui kankaaseen alhaalta päin. Standardin mukaan mittaus päättyy kolmannen pisaran ilmestyttyä kankaan pintaan, mutta standardista poiketen mittaus keskeytettiin ensimmäisen pisaran kohdalla. (Standard test: WSP 80.6 2009.)

6.3 Mason Jar-testi

Mason Jar-testausmenetelmällä määritetään kankaan kykyä kestää vedenläpäisyä tietyllä aikavälillä. Testin tarkoitus on jäljitellä lopputuotteen käyttöolosuhteita, jolloin tuotteen yläpinta on altistettuna nestemäiselle aineelle samaan aikaan kun alapinta on kiinniköissä pinnassa. Testaustulokseksi kirjataan veden läpimenoaika minuuteissa. (Standard test: WSP 80.11 (09) 2009.)

Testauksissa käytettiin Mason Jar-testauspurkkia, johon lisättiin 475 millilitraa 0,9 % natriumkloridiliuosta (NaCl). Kuitukangasarkista leikattiin 10 cm² kokoinen näytepala, joka asetettiin pintapuoli vesisäiliötä vasten. Testauspurkki suljettiin tiiviisti ja käännettiin ylösalaisin lasialustan päälle (kuva 17). Lasialustan alapuolella olevasta peilistä tarkkailtiin vedenläpäisyä. Kun yksi tippa läpäisi kankaan, testi päättyi. Testimenetelmän tulokset ovat väliltä 0-90 minuuttia, joista 90 minuuttia on paras. Mason Jar-testit pohjautuivat WSP 80.11 standardiin. (Ahlstrom Tampere Oy 2014.)



KUVA 17 Mason Jar-testausasetelma (Kuva: Jasmin Eeva 2015)

6.4 Öljytippatesti

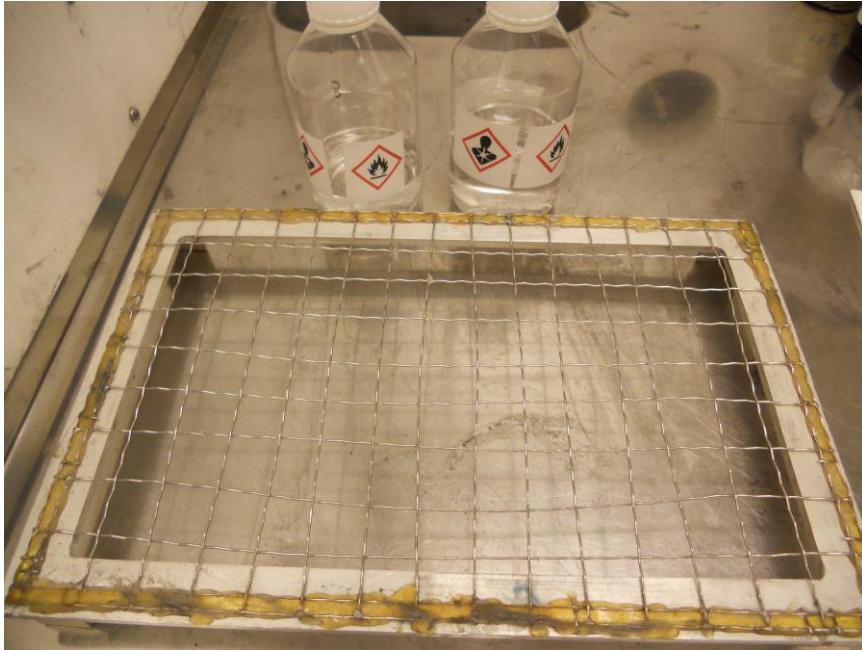
Öljytippatestillä selvitetään kankaan öljynhylkivyyttä ja kostumisalttiutta. Tämä testausmenetelmä on suunniteltu fluorokemikaalin tai muun matalan pintajännityksen omaavan yhdisteen olemassaolon havainnointiin. Pinnoilla, joilla on vain vähäistä vuorovaikutusta nesteiden kanssa, on hyvin matala pintaenergia ja täten myös kyky hylkiä öljyä. Öljynhylkivyyttä saavutetaan usein vain käyttämällä fluorattuja hiilivetyjä, koska niillä mahdollistetaan matalin pintaenergia tekstiilikuiduille. Testin avulla pystytään vertailemaan kuitukankaiden hylkivyyksiä. (Standard test: WSP 80.7 (09) 2009; Schindler & Hauser 2004, 75, 79.)

Testausmenetelmässä käytetään öljyjä, jotka ovat tyydyttyneitä hiilivetyjä eli alkaaneja (Antila ym. 2010, 274). Öljyihin kuuluu kahdeksan eri hiilivetyä, jotka ovat pinjännityksiltään vaihtelevia. Öljytippatestin tulokset ilmoitetaan numeroin 3-8, joista 8 on paras. Tulokseksi saatu numero vastaa öljyä, joka ei ole kostuttanut tai läpäissyt kangasta vaan pysynyt kankaan pinnalla kokonaisuena pisarana. Öljyjen nimet ja niitä vastaavat luokitukset on esitetty taulukossa 3. (Standard test: WSP 80.7 (09) 2009.)

TAULUKKO 3 Öljytippatestin luokitukset ja englanninkieliset nimet

Luokka	Öljy	Hydrocarbon
3	Heksadekaani	Hexadecane
4	Tetradekaani	Tetradecane
5	Dodekaani	Dodecane
6	Dekaani	Decane
7	Oktaani	Octane
8	Heptaani	Heptane

Testaukset tehtiin mukailen WSP 80.7 (09) standardia. Kuitukangasarkki asetettiin tasan ritilän päälle (kuva 18). Arkin päälle pipetöitiin noin viiden millimetrin kokoinen öljytippa, jonka tilavuus oli 0,05 millilitraa. Tippaa tarkasteltiin noin 45 asteen kulmasta 30 sekunnin ajan. Jos tippa oli säilynyt ehjänä ja pyöreänä, tulos oli hyväksytty. Levinnyt tai kankaaseen imeytynyt pisara oli hylätty tulos. Testaukset aloitettiin alimman numeron öljyllä 3. Öljystä numero 3 siirryttiin aina suurempaan luokkaan kunnes lopullinen tulos saavutettiin. (Standard test: WSP 80.7 (09) 2009)



KUVA 18 Alusta tippatestille (Kuva: Jasmin Eeva 2015)

6.5 IPA-tippatesti

Kuitukankaiden alkoholin hylkivyyttä testataan IPA-tippatestillä. Testauksiin käytetään puhdasta alkoholia ja alkoholivesiseoksia, joiden pitoisuudet vaihtelevat taulukon 4 mukaan. Alkoholiseoksen pintajännitys laskee alkoholin konsentraation noustessa, minkä takia puhdas alkoholi imeytyy kankaaseen helpommin. Alkoholin hylkivyyttä voidaan testata käyttämällä metanolia, etanolia tai isopropanolia. IPA-tippatestimenetelmässä käytetään liuottimena isopropanolia eli isopropyylialkoholia. (Standard test: WSP 80.8 (09) 2009.)

TAULUKKO 4 IPA:n ja veden massaprosentit liuoksessa

Luokka	IPA, %	vesi, %
1	10	90
2	20	80
3	30	70
4	40	60
5	50	50
6	60	40
7	70	30
8	80	20
9	90	10
10	100	0

Testaukset aloitettiin vähiten IPA:a sisältävällä alkoholiseoksella luokalla 1, jonka jälkeen siirryttiin aina suurempaan luokkaan kunnes saavutettiin kankaaseen imeytyvä liuospitoisuus. Lopullinen tulos oli suurin mahdollinen luokka, joka ei imeytynyt kankaaseen. IPA-tippatestiin käytettävät kuitukangasarkit asetettiin kuvan 18 esittämälle ritilälle pintapuoli ylöspäin. Arkin päälle pipetöitiin noin viiden millimetrin kokoinen öljytippa, jonka tilavuus oli 0,05 millilitraa. Kuvassa 19 nähdään testauksessa käytetty pipetti. Tippaa tarkasteltiin 30 sekunnin ajan. Tulos hyväksyttiin, jos tippa oli säilynyt kankaan pinnalla pyöreänä ja ehjänä. Tulos hylättiin, jos tippa oli imeytynyt kankaaseen tai levinnyt sen pinnalle. Testausmenetelmä perustui WSP 80.8 (09) standardiin. (Standard test: WSP 80.8 (09), 2009.)



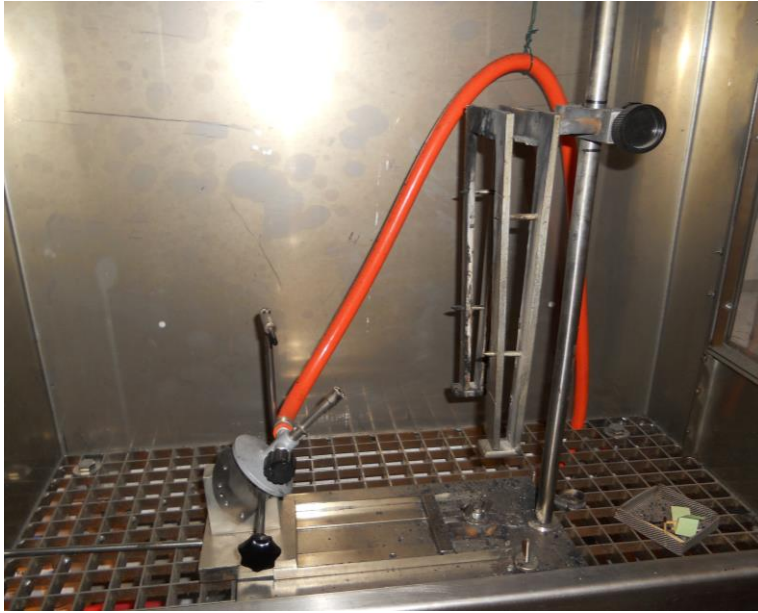
KUVA 19 Pipetti (Kuva: Jasmin Eeva 2015)

6.6 Vinoliekkipolttokoe

Vinoliekkipolttokokeen avulla voidaan selvittää kuitukangasmateriaalien mahdollista palokäyttäytymistä pienen liekin aiheuttaman syttymisen aikana. Testausmenetelmällä selvitetään erityisesti kuitukankaan reaktiota kankaan pinnasta syttyneeseen paloon. (German Institute for Standardization 1984.)

Vinoliekkipolttokokeet tehtiin standardin DIN 53438 Part 3 mukaan. Kuitukankaasta leikattiin standardista poiketen yksi koepala, joka oli kooltaan 95×240 millimetriä. Koepala asetettiin näytepitimeen ilmastointikaapin sisään (kuva 20). Poltin säädettiin 45 asteen kulmaan. Polttimen päähän sytytettiin 20 millimetrin pituinen liekki, ja liekki siirrettiin näytteeseen kiinni niin, että polttimen etureunan oli noin 5 millimetrin päässä näytteestä. Mittausaika käynnistettiin. Liekki irrotettiin näytteestä 15 sekunnin kuluttua, jonka jälkeen ajan mittausta jatkettiin niin kauan kunnes liekki ei enää edennyt tai kunnes liekki saavutti näytteen ylämerkin 190 millimetrin kohdalla. Jos liekki ei edennyt

ollenkaan, mittaus lopetettiin 15 sekunnin jälkeen. (German Institute for Standardization 1984; Viskari 2014.)



KUVA 20 Vinoliekkipolttokokeen koelaitteisto (Kuva: Jasmin Eeva 2015)

Tulokset arvioitiin taulukossa 5 esitettyjen arviointikriteerien mukaan. Lopputulokseksi saatiin luokka F1, F2 tai F3, joista F1 on paras. Lopullisen luokan arviointiin vaikuttivat hiiltymän pituus, palamisaika ja mahdollinen jälkihehkumisaika. (Viskari 2014.)

TAULUKKO 5 Vinoliekkipolttokokeen arviointi (Viskari 2014, muokattu)

Luokka	Arviointi
F1	Näyte sammuu itsestään alle 150mm:n matkalla
F2	Näyte palaa yli 150mm:n matkan yli 20 sekunnin aikana
F3	Näyte palaa yli 150mm:n matkan alle 20 sekunnin aikana

6.7 Vaakasuora polttokoe

Vaakasuorat polttokokeet pohjautuivat standardiin numero 302 (Flammability of Interior materials). Standardi määrittelee palonkestovaatimuksia moottorien osissa käytettäville materiaaleille. Tekemällä standardisoituja vaakasuoria polttokokeita voidaan vähentää moottoriajoneuvojen paloista aiheutuvia henkilövahinkoja. (U.S Department of Transportation 1997.)

Testausta varten leikattiin 4×14 tuuman kokoinen koepala, joka vastaa noin 10×35 senttimetrin koepalaa. Koepala asetettiin U-muotoiseen näytepitimeen (kuva 21), joka sijoitettiin horisontaalisesti testauskaapin sisällä olevaan telineeseen. Polttimeen sytytettiin liekki, joka osui näytteen alkupäähän. Liekin annettiin palaa 15 sekunnin ajan. Ajan mittaus aloitettiin kun näytteessä etenevä palo saavutti ensimmäisen merkkiviivan 1,5 tuuman kohdalla. Mittausta jatkettiin kunnes palo sammui tai kunnes palomatka oli 10 tuumaa. (Ahlstrom Tampere Oy 1999.)



KUVA 21 U-muotoinen näytepidin, vasemmassa reunassa ensimmäinen merkkiviiva (Kuva: Jasmin Eeva 2015)

Näytteestä mitattiin paloaika- ja matka, joista saatiin näytteen palamisnopeus. Testaus-tulokset ilmoitettiin yksiköllä in/min (tuumaa minuutissa). Palamisnopeus laskettiin yhtälöllä 2

$$B = 60 \times \frac{D}{T} \quad (2)$$

, jossa B on palamisnopeus, D on palomatka tuumissa ja T on paloaika sekunneissa. Jos näyte paloi alle 60 sekuntia ja alle kahden tuuman matkan, tulokseksi saatiin 0. Materi-aali saavutti standardissa vaaditun palamisnopeuden tuloksella, joka on alle 4 in/min. (U.S Department of Transportation 1997.)

7 TULOKSET

7.1 Hylkivyyssaineiden vertailu

Hylkivyyssaineiden vertailussa käytettiin kemikaaliliuoksia, joiden pitoisuudet olivat 4 g/l ja 10 g/l. Testauksiin valittiin kaksi pitoisuutta, jotta voitaisiin selvittää saavuttaako yksikään kemikaaleista alemmalla pitoisuudella lopputuotteiden vaatimia tuloksia ja jotta saataisiin selville mahdollinen tarve kasvattaa kemikaalipitoisuuksia. Suurin osa pienemmällä kemikaalipitoisuudella käsitellyistä kuitukankaista eivät saavuttaneet haluttuja testaustuloksia, mutta pitoisuutta lisäämällä tuloksia saatiin parannettua. Taulukossa 6 on esitetty pitoisuudella 4 g/l testattujen kuitukankaiden testaustulokset.

TAULUKKO 6 Testaustulokset pitoisuudella 4 g/l

Kemikaali	Mason Jar (min)	Hydrostaattisen paineen kesto (mbar)	Öljytippatesti (3-8)	IPA-tippatesti (1-10)
1	18	26,0	5	10
2	19	29,1	6	7
3	4	30,3	6	10
4	6	28,3	6	9
5	4	31,5	6	7
6	6	27,1	7	9
7	31	53,3	6	4
8	90	65,5	7	10
9	47	34,5	5	8
10	2	26,0	3	6
11	0	21,7	4	7
12	1	27,1	6	6
13	5	27,2	6	9
14	0	29,3	6	7
15	29	26,1	5	8
16	2	30,3	6	8
17	90	34,4	6	8
18	1	27,4	6	9
19	90	39,2	7	9
20	23	38,1	6	9
21	3	26,3	6	8
22	9	31,4	<3	2
23	0	24,1	7	7
24	8	25,3	5	10
25	2	31,6	6	6
26	0	23,9	5	6

Hylkivyytestauksista parhaimmat tulokset pienemmällä pitoisuudella saatiin kemikaaleilla 8, 17 ja 19, jotka saivat Mason Jar- testissä tulokseksi parhaimman eli 90 minuuttia ja molemmista tippatesteistä kohtuullisen hyvät tulokset. Kemikaali 8 kesti kaikista vertailun kemikaaleista parhaiten hydrostaattista painetta tuloksella 65,5 mbar. Pienemmällä pitoisuudella Mason Jar- testistä ja hydrostaattisen paineen kestosta saatiin paljon heikkoja tuloksia. Suurempi kemikaalipitoisuus 10 g/l vaikutti jokaisen kemikaalin testaustuloksiin. Suuremmalla pitoisuudella käsiteltyjen kuitukankaiden testaustulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7 Testaustulokset pitoisuudella 10 g/l

Kemikaali	Mason Jar (min)	Hydrostaattisen paineen kesto (mbar)	Öljytippatesti (3-8)	IPA-tippatesti (1-10)
1	90	42,0	8	10
2	90	50,2	7	10
3	90	50,2	7	10
4	90	58,3	7	10
5	90	58,3	7	10
6	90	42,1	7	10
7	90	60,6	7	4
8	90	68,6	7	10
9	90	53,2	7	10
10	90	56,6	7	10
11	5	33,6	5	8
12	90	50,2	7	9
13	90	58,8	7	10
14	90	64,3	8	10
15	90	54,6	7	10
16	90	59,7	7	10
17	90	65,7	7	10
18	90	47,8	7	10
19	90	60,5	8	10
20	90	63,7	7	10
21	90	50,1	7	10
22	50	68,1	<3	3
23	90	46,9	8	10
24	90	48,7	7	10
25	90	59,8	7	10
26	90	42,3	6	9

Pitoisuudella 10 g/l saatiin lähes kaikilla kemikaaleilla testaustuloksiksi arvosteluluokien korkeampia arvoja. Suurin osa kemikaaleista sai Mason Jar-testissä tulokseksi 90 minuuttia, öljytippatestistä 7, IPA-tippatestistä 10 ja hydrostaattisen paineen kestosta yli 50 mbar:a. Öljytippatestistä parhaimman tuloksen eli 8 sai neljä kemikaalia, jotka olivat 1, 14, 19 ja 23.

Kemikaali 22 sai koostumuksensa vuoksi molemmilla pitoisuuksilla tippatesteistä huonoja tuloksia. Kemikaali 11 taas ei saavuttanut hylkivyydestä hyviä tuloksia kummallakaan pitoisuudella.

7.2 Hylkivyy- ja palonestokemikaaliyhdistelmä

Hylkivyyssaineiden vertailun tuloksien perusteella kemikaaleista karsittiin pois yhdeksän kemikaalia. Karsinnassa otettiin huomioon myös yrityksen kokemukset aiemmin tuotannossa käytettyjen kemikaalien toimivuudesta. Jäljelle jääneille 17 kemikaalille suoritettiin hylkivyy- ja palonestotestaukset palosuojatulla kuitukangaspohjalla. Testausten tulokset ja valitut kemikaalit on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8 Testaustulokset hylkivyy- ja palonestotestauksista, pitoisuus 30 g/l

Kemikaali	Mason Jar (min)	Hydrostaattisen paineen kesto (mbar)	Öljytippatesti (3-8)	IPA-tippatesti (1-10)	Vinoliekkipoltokoe (F1-F3)	Vaakasuora polttokoe (tuumaa/min)
2	40	32,3	7	10	F1	0
3	28	40,8	8	10	F1	0
4	28	37,8	7	10	F1	0
5	20	34,6	8	10	F1	0
7	20	34,8	8	7	F1	0
8	15	29,3	7	10	F1	0
13	28	33,6	8	10	F1	0
14	30	34,6	8	10	F1	0
15	15	34,7	8	10	F1	0
16	13	32,4	8	10	F1	0
17	15	29,2	8	10	F1	0
19	15	29,4	8	10	F1	0
20	20	32,3	8	10	F1	0
21	10	34,6	8	10	F1	0
23	20	35,7	8	10	F1	0
24	30	31,3	8	10	F1	0
25	20	28,4	8	10	F1	0

Hylkivyyssaineiden vertailusta saatiin selville, että hylkivyysskemikaaleja käytettäessä tarvitaan suurempi pitoisuus, jotta saavutetaan halutut testaustulokset ilmansuodattimiin sopivilla kuitukankailla. Koska palosuojattu kuitukangaslaatu vaatii korkean hylkivyysskemikaalipitoisuuden toimiakseen sekä palonkestävänä että hylkivänä materiaalina, pitoisuudeksi valittiin 30 g/l. Pitoisuus oli kolme kertaa korkeampi kuin hylkivyyssaineiden vertailussa käytetty suurempi pitoisuus.

Hylkivyyssastauksien tulokset eivät vastanneet täysin odotuksia. Mason Jar-testin ja hydrostaattisen paineen keston tulokset jäivät odotettua alhaisemmiksi. Kemikaali 2 sai Mason Jar-testistä tulokseksi 40 minuuttia, mutta kaikki muut kemikaalit saivat vain 30 minuuttia tai alle. 40 minuutin tulos on silti alle puolet Mason Jar-testin parhaimmasta arvosta 90 minuuttia. Hydrostaattisen paineen keston tulokset lähentelivät 30 mbar:a.

Kuten taulukosta 8 nähdään, kemikaalien öljytippatestien ja IPA-tippatestien tulokset olivat hyviä. Lukuunottamatta kemikaalia 7, kaikki kemikaalit saivat IPA-tippatestistä tulokseksi 10. Öljyn- ja alkoholinhylkivyyss säilyi hylkivyysskäsitellyillä ja palosuojatuilla kuitukankailla vaikka vedenhylkivyysskyky heikentyi.

Palonkestotestauksissa kemikaalit saavuttivat parhaimmat mahdolliset tulokset. Kaikki 17 kemikaalia saivat vinoliekkipolttokokeesta tulokseksi F1 ja vaakasuorasta polttokokeesta 0 in/min. Kuitukankaan palosuojaus ei heikentynyt, kun hylkivyysskäsitelyssä käytettiin 30 g/l pitoisia kemikaaliliuoksia.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmansuodattimiin sopiva hylkivyyss- ja palonestokemikaaliyhdistelmä, joka tuottaisi halutut tulokset sekä hylkivyyss- että palonestotestauksista. Toimivinta kemikaaliyhdistelmää ei löydetty, mutta testaustulosten avulla saatiin karsittua yhdistelmään sopimattomat kemikaalit sekä luotua johtopäätöksiä mahdollisista ongelmakohdista.

Hylkivyyssaineita vertailemalla saatiin selville kemikaalien hylkivyyssominaisuuksien eroavaisuudet. Osaa hylkivyysskemikaaleista voitaisiin käyttää yksinään vettä ja öljyä hylkivissä tuotteissa, jos kuitukankaat käsitellään korkeamman pitoisuuden kemikaaliliuksilla. Alhaisemmalla pitoisuudella vain muutama kemikaali saavutti Mason Jar-testistä parhaimman mahdollisen tuloksen. Mason Jar-testistä odotettiin 90 minuutin tuloksia. Korkeammalla pitoisuudella käsitellyt kuitukankaat paransivat testaustuloksiaan huomattavasti. Tämän johdosta kemikaalipitoisuuden kasvattaminen 10 g/aan/l kyseessä olevaa kuitukangaslaatua käytettäessä olisi suositeltavaa.

Palosuojattu kuitukangaslaatu ei saavuttanut tarpeeksi hyviä tuloksia vedenhylkivyydestä, mutta palosuojaus sekä öljyn- ja alkoholinhylkivyyss eivät häiriintyneet kemikaaliyhdistelmän vaikutuksesta. Hylkivyysskemikaali ei siis lisännyt tuotteen syttymisherkkyyttä tai vaikuttanut tuotteen paloturvallisuuteen.

Vedenhylkivyyss on mahdollisesti heikentynyt kemikaalien vuorovaikutuksen, käytetyn kuitukangaslaadun ja/tai tekstiilikuitujen vaikutuksesta. Koska palosuojattu kuitukangaslaatu ei saavuttanut hyviä tuloksia Mason Jar-testistä eikä hydrostaattisen paineen kestoista, on kuitukangaslaadun vedenläpäisyvastus paineen alaisena tai pitkän aikavälin altistuksessa heikko. Öljyllä on vettä pienempi pintajännitys, minkä vuoksi kankaan pinnan tulisi myös hylkiä vettä.

Palosuojatun kuitukankaan vaatima kemikaaliliuksien korkea kemikaalipitoisuus 30 g/l lisää valmistuskustannuksia huomattavasti ja kuormittaa ympäristöä. Jotta pitoisuus saataisiin mahdollisimman alhaiseksi, tulisi palosuojattua kuitukangasta kehittää. Muuttamalla palosuojatun kuitukankaan rakennetta paksummaksi, tiiviimmäksi tai sileämmäksi sekä valitsemalla pintajännitykseltään luonnollisesti alhaisempia tai erittäin hie-

noja tekstiilikuituja, voitaisiin vettähylykyvyyttä lisätä kemikaaleja vaihtamatta. Palosuojattua kuitukangasmateriaalia vaihtamalla voidaan mahdollisesti parantaa tuotteen hylkyvyysominaisuuksia. Kuitukankaan vaihtaminen kuitenkin todennäköisesti muuttaisi samalla hylkyvyyskemikaalin käyttäytymistä, minkä johdosta ominaisuuksien muutokset ilmenisivät testaustuloksissa. Tällöin myös kemikaaliyhdistelmä pitäisi tutkia uudelleen. Käyttötarkoituksessaan ilmansuodattimina tiiviimpien tai paksumpien kuitukankaiden valmistus ei kuitenkaan välttämättä ole mahdollista.

Aikarajoitteiden ja suuren kemikaalimäärän vuoksi testaukset tehtiin hieman standardeista poiketen. Testauksien tuloksista olisi saatu luotettavia ja vertailukelpoisia, jos testauksiin olisi käytetty useampaa kuin yhtä näytepalaa kemikaalia kohden. Näytepalojen rakenteiden eroavaisuudet, esimerkiksi taitteet tai ohentumat, vaikuttavat testaustuloksiin. Testaamalla useita eri palosuojattuja kuitukangaslaatuja, myös pohjan vaikutukset saataisiin selville. Lisäksi kuitukangasarkkien viimeistyskäsittelyssä tai testauksissa mahdollisesti tapahtuneiden virheiden vaikutus virhemarginaaliin tulee ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa. Opinnäytetyössä tehdyissä testauksissa saavutettiin kuitenkin suuntaa-antavat testaustulokset, joiden avulla tuotteita voidaan kehittää eteenpäin.

LÄHTEET

Ahlstrom Corporation. 2009. Ahlstrom history. Luettu 11.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/Static/flash/history/>

Ahlstrom Corporation. 2013. Ahlstromin strategia 2013-2020. Pdf-dokumentti. Julkaistu 24.10.2013. Startegiapresentaatio. Luettu 7.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/globalassets/files/about-ahlstrom/ahlstrom-strategy-presentation-fi.pdf>

Ahlstrom Corporation. 2015. Products by Business Area. Luettu 07.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/en/Products/Products-by-Business-Area/>

Ahlstrom Oyj. 2006. Ahlstrom investoi Tampereen tehtaaseen. Julkaistu 02.01.2006. Lehdistötiedote. Luettu 24.02.2015.
<http://www.ahlstrom.com/fi/Media/tiedotteet/lehdistotiedotteet/2006/Ahlstrom-investoi-Tampereen-tehtaaseen/>

Ahlstrom Oyj. 2015a. Liiketoimintarakenne. Luettu 7.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/fi/Ahlstrom/Liiketoimintarakenne/>

Ahlstrom Oyj. 2015b. Tuotteet. Luettu 7.01.2015. <http://www.ahlstrom.com/fi/Tuotteet/>

Ahlstrom Oyj. 2015c. Avainluvut vuosittain. Luettu 11.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/fi/Sijoittajat/Taloustietoa/Avainluvut-vuosittain/>

Ahlstrom Oyj. 2015d. Ahlstrom. Luettu 11.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/fi/Ahlstrom/>

Ahlstrom Oyj. 2015e. Yritysvastuuhistoria. Luettu 11.01.2015.
<http://www.ahlstrom.com/fi/Yritysvastuu/Kestava-kehitys1/Historia/>

Ahlstrom Oyj. 2015f. Yhteystiedot. Luettu 24.02.2015.
<http://www.ahlstrom.com/fi/Yhteystiedot/>

Ahlströmin ruukit. Ahlströmin historiaa lyhyesti. Luettu 11.01.2015.
<http://www.ahlstrominruukit.fi/index.php/historia.html>

Ahlstrom Tampere Oy. 1999. Vaakasuora polttokoe. Työohje. Tampere: Ahlstrom Tampere Oy

Ahlstrom Tampere Oy. 2014. Työmenetelmien läpikäynti. Muistiinpanot. Työhönopastus marraskuu 2014. Ahlstrom Tampere Oy. Tampere

American Chemistry Council. FAQs: Flame Retardant Basics. Luettu 04.03.2015.
<http://flameretardants.americanchemistry.com/FAQs/Flame-Retardant-Basics.html>

Antila, A.M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2010. Tekniikan kemia. 10.-12. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.

- EDANA. 2013. Facts and figures. Luettu 25.2.2015. Tiivistelmä raportista: 2012 European Nonwovens Production and Deliveries. Bryssel: EDANA (European Disposables and Nonwovens Association). <http://www.edana.org/discover-nonwovens/facts-and-figures>
- EDANA. Formation. Luettu 18.02.2015. Bryssel: EDANA (European Disposables and Nonwovens Association). <http://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they%27re-made/formation>
- EDANA. Glossary-Nonwovens Terms. Bryssel: EDANA (European Disposables and Nonwovens Association)
- EDANA. What are nonwovens?. Luettu 25.02.2015. Bryssel: EDANA (European Disposables and Nonwovens Association). <http://www.edana.org/discover-nonwovens/what-are-nonwovens->
- German Institute for Standardization. 1984. DIN 53438 Part 3. Testing of combusting materials; response to ignition by a small flame; surface ignition. Berliini: German Institute for Standardization
- Gregor, E.C. 2009. Primer On Nonwoven Fabric Filtration. Textile World .Billiang Publishing Inc. Luettu 12.3.2015. http://www.textileworld.com/Issues/2009/March-April/Nonwovens-Technical_Textiles/Primer_On_Nonwoven_Fabric_Filtration
- Heywood, D. 2003. Textile Finishing. Bradford: Society of Dyers and Colourists
- Hutten, I.M. 2007. Handbook of Nonwoven Filter Media. 1.painos. Oxford: Elsevier Ltd.
- INDA & EDANA. 2009. Standard test: WSP 80.6. Standard Test Method for Evaluation of Water Resistance (Hydrostatic Pressure) Test. INDA & EDANA
- INDA & EDANA. 2009. Standard test: WSP 80.7 (09). Standard Test Method for Penetration by Oil (Hydrocarbon Resistance). INDA & EDANA
- INDA & EDANA. 2009. Standard test: WSP 80.8 (09). Standard Test Method for Alcohol Repellency of Nonwoven Fabrics. INDA & EDANA
- INDA & EDANA. 2009. Standard test: WSP 80.11 (09). Standard Test Method for Nonwoven Wet Barrier Mason Jar. INDA & EDANA
- Jirsák, O. & Wadsworth, L.C. 1999. Nonwoven textiles. Durham: Carolina Academic Press
- Kamath, M.G., Dahiya, A. & Hegde, R.R. 2004. Spunlace (Hydroentanglement). Luettu 23.02.2015. <http://www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Spunlace.htm>
- Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2005. Tekniikan kaavasto. 5. painos. Hämeenlinna: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.
- Nonwovens Industry. 2001. Nonwovens in Filtration. Government regulations and consumer requirements drive growth. Nonwovens Industry 11/2001.

- Nullifire. Intumescent coating. Luettu 04.03.2015.
http://www.nullifire.com/products/intumescent_coating_intro.php
- Polymer Group Inc. Web Bonding. Luettu 23.02.2015. <http://www.pgi-industrial-europe.com/en/web-bonding>
- Polymer Group Inc. Web Formation. Luettu 18.02.2015. <http://www.pgi-industrial-europe.com/en/web-formation>
- Rupp, J. 2008. Drylaid Nonwovens. Textile World. Billiang Publishing Inc. Luettu 18.02.2015. http://www.textileworld.com/Issues/2008/March-April/Nonwovens-Technical_Textiles/Drylaid_Nonwovens
- Russell, S.J. 2007. Handbook of nonwovens. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Ryynänen, T., Kallonen, R. & Ahonen, E. 2001. Palosuojatut tekstiilit. Ominaisuudet ja käyttö. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Espoo: Otamedia Oy
- Schindler, W.D. & Hauser, P.J. 2004. Chemical finishing of textiles. Cambridge: Woodhead Publishing Limited
- Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2012. SFS EN ISO 139. Tekstiilit. Ilmastoinnissa ja testauksessa käytettävät vakio-olosuhteet. 1. painos. Standardoimisyhdistys TEVASTA ry.
- Talvenmaa, P. 2002. Tekstiilit ja ympäristö. 2. painos. Kainuun Sanomat Oy
- Tharewal, P. G., Landage, S. M. & Wasif, A.I. 2013. Application of nonwovens for air filter media. International Journal of Advanced Research in IT and Engineering 2 (2), 14-36.
- U.S Department of Transportation. 1997. §571.302 Standard no. 302; Flammability of Interior materials. Washington: U.S Department of Transportation
- Vieno, N. 2013. Mitä yhteistä on lootuksella ja paistinpannulla?. Julkaistu 27.06.2013. Vesiuutisvuoto- blogi. Luettu 03.03.2015. <http://www.envieno.com/2013/06/mita-yhteista-on-lotuksella-ja-paistinpannulla/>
- Viskari, A. 2014. Vinoliekkipolttokoe. Työohje. Tampere: Ahlstrom Tampere Oy