



Pilot-päällystyskoneen käyttöönotto kuitukankaalle

Eetu Toikka

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024

Biotuotetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TOIKKA, EETU:
Pilot-päällystyskoneen käyttöönotto kuitukankaalle

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Maaliskuu 2024

Opinnäytetyö tuotettiin SUSTAFIT-projektille. Työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) pilot-päällystyskoneetta voitaisiin hyödyntää kuitukankaan funktionalisoinnissa. Funktionalisoinnilla tarkoitetaan opinnäytetyön tapauksessa kuitukankaan hydrofobisointia. Päällystyskone on suunniteltu papereiden ja kartonkien päällystykseen ja painatukseen, ja siinä käytetään päällystysmenetelmänä sivelytelapäällystystä. Erityistä huomiota kiinnitettiin mahdollisuuksiin parantaa kuitukankaan hydrofobisuutta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko pilot-päällystyskoneella mahdollista päällystää onnistuneesti kuitukankaita ja millä parametreilla sen kuivatus saadaan suoritettua. Tutkitut ominaisuudet, joita verrattiin päällystämättömän ja päällystetyn kuitukankaan välillä, olivat neliömassa, paksuus, tiheys, repäisyjuuus, vetolujuus, puhkaisulujuus, ilmanläpäisevyys, öljyabsorptio, vesiabsorptio sekä vesipisaran kontaktikulma. Opinnäytetyössä onnistuttiin selvittämään sopivimmat ajoparametrit parhaan lopputuloksen saamiseksi. Varsinaiset ajokokeet suoritettiin käyttäen ilmarainattua kuitukangasmateriaalia ja päällystysaineena käytettiin AKD-dispersiota. Tulokset osoittivat käytetyn dispersion kehittävän kuitukankaan veden ja öljyn hylkivyyttä ja vähentävän ilmanläpäisevyyttä. Päällystyksellä ei ollut merkittävää vaikutusta kuitukankaan lujuusominaisuuksiin. Myös neliömassassa, tiheydessä ja paksuudessa nähtiin kasvua päällystykseen tuloksena.

Kuitukangasta pystyttiin päällystämään onnistuneesti, mutta päällystyskoneen kuivausteho ei riittänyt tarvittavaan kuivaustulokseen. Saatujen tulosten perusteella laitteisto ei sovellu huokoisen kuitukankaan päällystykseen.

Asiasanat: kuitukangas, päällystys, paperilaboratorio

ABSTRACT

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

TOIKKA, EETU:

The Introduction of a Pilot Coating Machine for Non-Woven Fabric

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 4 pages
March 2024

The thesis was conducted as part of the SUSTAFIT project. The purpose of the study was to investigate how the pilot coating machine at Tampere University of Applied Sciences (TAMK) could be utilized for functionalizing non-woven fabrics by improving the hydrophobicity of the non-woven fabrics. The machine was designed to be used for coating paper and paperboard. An applicator roll was used as the coating method.

The thesis aimed to determine how the pilot coating machine could be utilized to coat non-wovens, what are the best parameters for successful coating and how the most optimal drying results could be achieved. Tests were conducted with air-laid non-woven and AKD dispersion was used as the coating agent. The properties studied and compared between untreated and coated non-wovens were basis weight, thickness, density tear strength, tensile strength, bursting strength, air permeability, oil absorption, water absorption and contact angle. The coating results showed improvements in permeability of the non-woven fabric. There were increases in the physical properties but no significant change in strength properties was observed.

The non-woven fabrics were successfully coated but the drying capacity was insufficient. Based on the results, the coating machine wasn't suitable for porous non-woven fabrics.

Key words: non-wovens, coating, paper laboratory

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KUITUKANGAS	8
2.1	Kuitukankaan määritelmä.....	8
2.2	Kuitukankaiden hydrofobisointi	8
2.3	Ilmarainattu kuitukangas	9
2.4	Ilmarainatun kuitukankaan valmistus	10
2.5	Ilmarainatun kuitukankaan käyttökohteet	11
3	KUITUKANKAIDEN PÄÄLLYSTYS.....	13
3.1	Päällystysmenetelmän valinta	13
3.2	Sivelytelapäälllystys	13
3.3	Syväpainotelapäälllystys	14
4	ALKYYLIKETEENIDIMEERI	15
5	KOKEELLINEN OSUUS	16
5.1	Laitteisto.....	16
5.2	Koeajot.....	16
5.3	Varsinainen ajo	19
6	LAADUNMÄÄRITYKSET	22
6.1	Olosuhteet.....	22
6.2	Neliömassa, paksuus ja tiheys.....	22
6.3	Lujuusominaisuudet	23
6.4	Läpäisyominaisuudet	25
6.5	AKD:n viskositeetti	30
7	TULOKSET	31
7.1	Ajoparametrit.....	31
7.2	Arkkien päällystys	31
7.3	Neliömassa, paksuus ja tiheys.....	32
7.4	Lujuusominaisuudet	32
7.5	Läpäisyominaisuudet	33
7.6	AKD:n viskositeetti	35
8	POHDINTA	36
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	40

LYHENTEET JA TERMIT

AKD	Alkyyliketeenidimeeri
Alkalinen	Emäksisesti reagoiva, vesiliuoksessa luovuttaa hydroksyyli-ioneja
CV	Variaatiokerroin
Dispersio	Seos, jossa kaksi toisiinsa liukenematonta ainetta tassaisesti
Hydrofiilinen	Vettä itseensä absorboiva
Hydrofobinen	Vettä hylkivä
Konesuunta	Paperikonetekstiilin kulkusuunta paperinvalmistuksessa
Oleofobinen	Öljyä hylkivä
Poikkisuunta	Konesuuntaan nähden poikittainen suunta
SD	Keskihajonta

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kuitukankaan funktionalisointi Tampereen ammattikorkeakoulun pilot-päällystyskoneella. Funktionalisoinnilla tarkoitetaan työn tapauksessa kuitukankaan hydrofobisointia. Opinnäytetyö tehtiin SUSTAFIT-tutkimusprojektin toimeksiantona. Tutkimusprojektin tarkoitus on tarjota ratkaisuja suomalaisen teollisuuden kilpailukyvyyn parantamiseen ja mahdollisuuksien laajentamiseen kestävien kuitukankaiden markkinoilla. Tutkimuksen rahoittaa Business Finland. Tutkimushankkeessa on Tampereen ammattikorkeakoulun lisäksi mukana useita yhteistyökumppaneita kuten Kemira, SharpCell, Aalto-yliopisto ja VTT. (TUNI n.d.)

Kuitukangas on monipuolinen materiaali, jota käytetään laajasti eri kuluttaja- ja teollisuustuotteissa. Sen käyttökohteet vaihtelevat maanviljelystä ja rakentamisesta vaatteisiin, sisustukseen ja terveydenhuoltoon. Erityisesti kertakäyttötuotteissa kuitukankaiden kysyntä kasvaa jatkuvasti, mikä korostaa tarvetta kehittää uusia, kestävämpiä ja ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja. (Chapman 2010, 46–47)

Työssä tutkitaan, kuinka Tampereen ammattikorkeakoulun pilot-päällystyskoneella voitaisiin funktionalisoida SharpCellin ilmarainattua kuitukangasmateriaalia käyttäen päällystysaineena Kemiran AKD-pohjaista dispersiota. Käytetty pilot-päällystyskone on suunniteltu paperien ja kartonkien päällystykseen, ja päällystysmenetelmänä käytetään sivelytelapäällystystä. Työssä selvitetään, millä pilot-laitteiston kokoonpanolla saadaan paras lopputulos.

Työn ensimmäisessä kappaleessa käsitellään kuitukankaita, hydrofobisten ominaisuuksien parantamista ja tarkastellaan kuitukankaiden valmistusta ja käyttökohteita erityisesti ilmarainauksen näkökulmasta. Lisäksi käydään läpi päällystykseen teoriaa. Tämän jälkeen kokeellisessa osassa esitellään päällystykseen suoritukseen ja mittauksiin käytettävät laitteet ja millaisia mittauksia niillä tehdään.

Työn tarkoituksena on selvittää pilot-päälystyskoneelle ajoparametrit, joilla kuitukangasta optimaalisimmin voidaan päälystää. Päälystetystä kuitukankaasta kerätään näytteitä, joista selvitetään, millaisia ominaisuuksia päälystyksellä saavutetaan. Tuotetun kuitukangasmateriaalin hydrofobisuutta pyritään päälystykseen avulla kehittämään. Lopuksi työssä arvioidaan kokeiden tulokset, pohditaan työn onnistumista ja kartoitetaan tutkimuksen mahdolliset jatkomahdollisuudet.

2 KUITUKANGAS

2.1 Kuitukankaan määritelmä

Kuitukankaita pidetään innovatiivisina, korkean teknologian tuotteina, jotka valmistetaan kuiduista. Niitä käytetään laajasti kuluttaja- ja teollisuustuotteissa, yksinään ja muiden materiaalien kanssa yhdistettynä. Kuitukankaat suunnitellaan tarkasti niiden tiettyä käyttötarkoitusta varten, oli kyseessä sitten kevyistä kuitukankaista raskaisiin kuitukankaisiin kuluttaja- ja teollisuuskäytössä. Niitä voidaan sekoittaa keskenään, päällystää, painattaa ja laminoida tuottaen hyvin monenlaisia lopputuotteita. (EDANA n.d.a)

Kuitukankaat muodostavat tekstiileissä nopeimmin kasvavan osa-alueen, ja niiden kysyntä kasvaa globaalisti varsinkin kertakäyttötuotteissa. Niiden kulutuksen lisääntyessä biohajoavat kuitukankaat ovat yhä tärkeämmässä roolissa myös tulevaisuutta ajatellen. (Chapman 2010, 46–47)

Kuitukangas voidaan määritellä standardien ISO 9092 ja CEN EN 29092 mukaan. Nämä kaksi sisällöltään vastaavaa dokumenttia ovat kansainvälisesti tunnustettuja kuitukankaan määritelmiä. Alun perin kuitukankaan standardit julkaistiin vuonna 1988 ja niitä päivitetään säännöllisesti alan asiantuntijoiden toimesta heijastamaan paremmin nykyistä ymmärrystä käsitteestä. Edellä mainittujen standardien mukaan määritelmällisesti kuitukankaat ovat pääasiassa tasomaisia kuitumaisia rakenteita, jotka sisältävät mitattavissa määrin vetolujuutta ja jotka on valmistettu fyysisin ja/tai kemikaalisin keinoin poissulkien kudonnan, neulonnan tai paperinvalmistuksen. (EDANA n.d.a)

2.2 Kuitukankaiden hydrofobisointi

Joissain käyttötarkoituksissa kuitukankaiden täytyy toimia barrier-pintoina, jolloin niitä käytetään pysäyttämään vesipitoisten nesteiden läpäisy. Tämä voidaan toteuttaa käsittelemällä kuitukankaat hydrofobisilla yhdisteillä tai polymeereillä. Eri-laisia käsittelytapoja ovat päällystys, neste- ja vaahtoimpregnointi sekä ruiskutus.

Kuitukankaiden hydrofobisoinnin ongelmiksi voivat koitua korkeat materiaalikustannukset ja käytettyjen yhdisteiden haitallisuus, mikä on rajoittanut niiden käyttöä. Perinteisesti hydrofobisointiin on käytetty paljon silikoni- ja fluorihilivety-pohjaisia yhdisteitä, jotka on lisätty vesipitoisina dispersioina. Fluorihilivedyt eli HFC-yhdisteet muodostavat hyvin heikon pintajännityksen kuitukankaan pintaan, joka sopii hyvin myös estämään öljyjen imeytymistä synteettisiin kuituihin. Kuitenkin perfluorioktaanihappo, karsinogeeni, joka yhdistetään fluorihilivetyihin, on kiihdyttänyt etsintää vaihtoehtoisille yhdisteille. (Russel 2022 476–477; Saha 2021, 1)

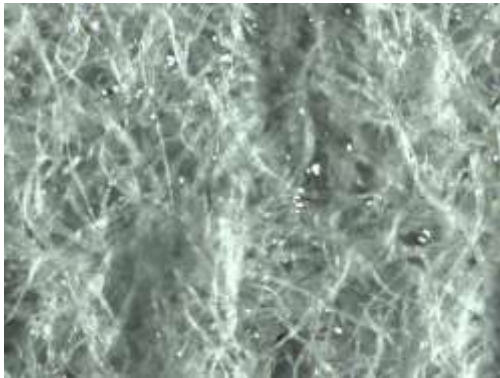
Yksi potentiaalinen vaihtoehto voi olla silaani-pohjaisen päällysteen, kuten heksadekyylitrimetoksisilaanin (HDTMS) käyttö. Sen etuihin kuuluvat edullisuus, ekologisuus ja päällystyksen yksinkertaisuus, sekä helppo kemiallisen koostumuksen vaivaton säätö. (Saha 2021, 1–4)

Kuitukankaan hydrofobisuuden saavuttamiseen voidaan käyttää myös luonnostaan hydrofobisia luonnonkuituja. Tällainen luonnonkuitu on esimerkiksi mesisilkkiyrtti, jonka ominaisuuksiin kuuluvat hydrofobisuus, erinomainen kemikaalinsieto ja värjäytyvyys. Mesisilkkiyrtistä voidaan valmistaa tarvittaessa myös hyvin imukykyistä, pehmeää ja lujaa materiaalia. Kasvin kuitujen hydrofobisuus selittyy sen sisältämistä luonnollisista vahoista kuitujen pinnalla. Onton rakenteen vuoksi kuidut tarjoavat myös erinomaiset lämmöneristys- ja imeytymisominaisuudet puuvillalankoihin verrattuna. Mesisilkkiyrtin hydrofobisuutta on myös aiemmin hyödynnetty pelastusliivien valmistuksessa. (Chapman 2010, 50; Mula, Tekbas, Cengiz, Yüksek & Gürarslan 2023, 12523)

2.3 Ilmarainattu kuitukangas

Ilmarainatut kuitukankaat (airlaid non-wovens) ovat perinteisiin kuitukankaisiin verrattuna imukykyisempiä johtuen niiden suuresta huokoisuudesta (Bartels 2011, 113–114). Niiden etuihin kuuluvat parhaimmillaan yhtenäiset ominaisuudet kuitukankaan eri suunnissa (isotrooppisuus) ja yhteensopivuus monien muiden kuitutyypin kanssa. Ilmarainauksen heikkouksiin kuuluu kuituradan reunoihin

kohdistuvan ilmavirran taipumus aiheuttaa laadun epätasaisuuksia sekä kuitujen sotkeutumisesta aiheutuvat ongelmat rainan rakenteeseen. (Russell 2022, 147)



KUVA 1. Mikroskooppikuva ilmarainatun kuitukankaan rakenteesta

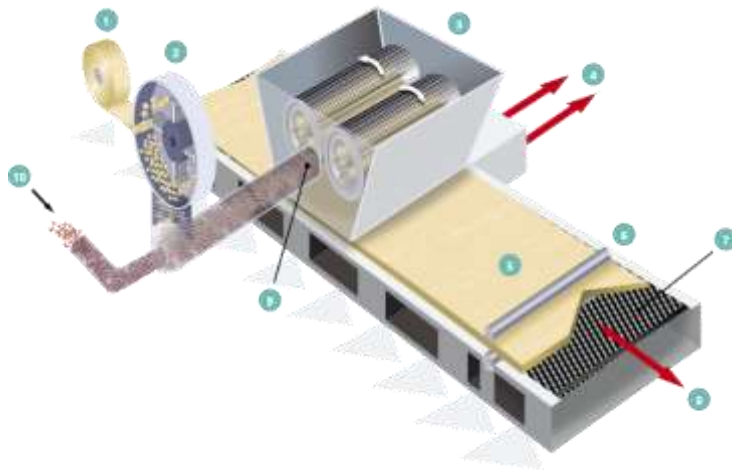
Ilmarainausa käytetään, kun halutaan muodostaa rainaa, jonka lujuusominaisuudet ovat mahdollisimman tasaiset jokaiseen suuntaan. Ilmarainaus sopii varsinkin lyhyille, paksuille ja vähemmän kiharille kuiduille karkeamman kuituverkon tuottamiseen. (Wulfhorst ym. 2006, 172.)

2.4 Ilmarainatun kuitukankaan valmistus

Kuitukankaan valmistus on kolmiosainen prosessi, joka sisältää rainan muodostuksen, sidonnan ja jälkikäsitteilyn. Nykyteknologia mahdollistaa näiden vaiheiden tekemisen osittain samanaikaisesti. Erilaisia valmistusmenetelmiä ovat kuivarainaus (drylaid), ilmarainaus (airlaid), märkärainaus (wetlaid), sulakekehräys (spunlaid), sulapuhallus (meltblown) ja submikronikoisten kuitujen kehräys (submicron spinning). Kuitukankaiden valmistus alkaa järjestämällä kuidut rainaksi. Kuidut voivat olla katkokuituja tai polymeerirakeista valmistettavia filamentteja. (EDANA n.d.b)

Ilmarainauksessa prosessin alussa (kuva 2) kuidut siirtyvät kuitusyötöstä (1) kuitutukseen, jossa kuidut erotetaan toisistaan ja valmistellaan käsiteltävämpään muotoon (2). Tämän jälkeen ne kulkevat formeriin (3) ilmavirtauksen voimalla, missä kuidut asettuvat melko satunnaisesti rainaksi. Formerissa kuitujen joukkoon lisätään myös lämmössä sulavia kuituja (thermofusible fibre) (10). Ylimää-

räinen ilma ja sen mukana liiallinen kosteus poistetaan (4) ja formerilta muodostetaan kuiturata eli raina (5). Raina kulkee prosessissa viirakankaan (8) päällä. Raina kulkee seuraavaksi puristinosan (6) läpi, jonka jälkeen raina siirretään viimeistelyyn. Ilmarainauksella voidaan valmistaa kuitukankailta, jotka ovat neeliömassaltaan 10–600 g/m². (EDANA n.d.b; Das & Pourdeyhimi 2014, 93)



KUVA 2. Ilmarainauksen vaiheet (EDANA n.d.b)

2.5 Ilmarainatun kuitukankaan käyttökohteet

Kuitukankaita käytetään lähes kaikkialla: maanviljelyksessä, rakennusalalla, vaatteissa, sotilaskäytössä, sisustuksessa, hygieniatuotteissa, terveydenhuollossa ja kotitalouskäytössä. Suuressa osassa näistä käyttötarkoituksista kuitukankaat ovat kertakäyttöisiä, ja valmistettu perinteisistä kesto- ja muovimateriaaleista. Kestomateriaalien ongelma on esimerkiksi niiden hajoamattomuus luonnossa. Vastaus tähän ongelmaan voi löytyä biohajoavista materiaaleista, luonnollisista ja uusiutuvista materiaaleista kuten puuvillasta, hampusta ja puusta. (Chapman 2010, 46–47)

Ilmarainatusta kuitukankaasta voidaan valmistaa monenlaisia tuotteita. Raskeista ilmarainatuista kuitukankaista voidaan valmistaa pidemmän käyttöiän omaavia tuotteita kuten vaatteita, mattoja, huonekaluja, eristysmateriaaleja, suo-

datinkankaita. Kevyemmistä ilmarainatuista tuotteista valmistetaan usein kertakäyttötuotteita kuten hygienia tuotteita ja terveysalan kuitutuotteita. Niitä käytetään myös elintarvikkeiden tuotepakkauksiin, lautasliinoin ja pöytäliinoin.
(Russel 2022, 177)

3 KUITUKANKAIDEN PÄÄLLYSTYS

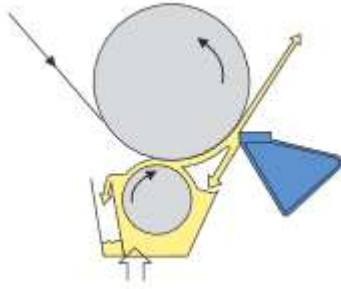
3.1 Päällystysmenetelmän valinta

Monenlaiset tekijät vaikuttavat materiaaleille käytetyn päällystysmenetelmän valintaan. Valintaan vaikuttavia syitä voivat olla pääoma- ja operointikustannukset, halutun päällystepinnan paksuus, tuotteen ulkonäköön kohdistuvat kriteerit tai päällystettävän materiaalin rakenne. Päällystyslaitteiden kehitystä kiihdyttää erityisesti tarve prosessien tehokkuuden parantamiseen ja päästöjen pienentämiseen. (Jones, Nichols & Pappas 2017, 331)

Kuitukankaiden päällystyksellä pyritään yleisesti säilyttämään mahdollisimman paljon kuitukankaan alkuperäisistä ominaisuuksista, kuten visuaaliset ominaisuudet. Ongelmia voi koitua siitä, että pinnan ominaisuudet kuitukankaan päällystämättömän puolen ja päällystetyn puolen välillä eroavat tai massa kasvaa päällysteen lisäyksen tuloksena. Päällysteen määrän hallinta on yksi kuitukankaan päällystyksen päätavoitteista, ja sen säätämiseen on kehitetty erilaisia ratkaisuja. Se toteutetaan usein päällystysaineen tiheyttä ja viskositeettiä muuttamalla. Tehokkaimpia tapoja lisätä kuitukankaisiin pieniä määriä päällystysainetta ovat syväpainotelapäällystys, suutinapplikointi, ja vaahtopäällystys. (Fung 2002, 84–85)

3.2 Sivelytelapäällystys

Sivelytelapäällystys (kuva 3) on vanhin päällystysmenetelmä, ja se on yhä yleisessä käytössä paperien päällystyksessä. Sivelytelapäällystysasema on rakenteeltaan melko yksinkertainen ja rakenteeltaan vankka. Sitä voidaan käyttää päällystyksessä korkeintaan 1200 m/min nopeuteen asti. (Fourne 1999, 368; Linnonmaa ym. 2009, 472)



KUVA 3. Työssä käytettyä päällystystä vastaava sivelytelapäällystys (Linnonmaa ym. 2009)

Päällystysyksikkö koostuu kahdesta telasta; vastatelasta, joka on halkaisijaltaan suurempi, ja tukee rainaa päällystysprosessissa, ja sivelytelasta, joka on halkaisijaltaan pienempi ja nopeudeltaan usein 15–25 % koneen nopeudesta. Rainan pinnan ja applikointitelan väliin jätetään pieni rako. Applikointitela pyörii rainansuuntaisesti ja sen nopeus riittää ideaalisesti raon täyttämiseen päällystysaineella päällystäen radan. Pyörivän applikointitelan pohja uppoaa applikointialtaaseen, josta päällyste syötetään. Yhden sivelytelan käyttö on suositeltavaa, jos päällystetään pitkään samalla tuotteella. Jos ajetaan erätoimisesti, tai käytettyä kemikaalia välillä muutetaan, suositellaan kahden sivelytelapäällystimen asentamista sarjaan. (Fourne, 999, 368; Linnonmaa ym. 2009, 472)

Applikoidun päällysteen määrää voidaan säätää muuttamalla rakoa applikointitelan ja vastatelan välillä, muuttamalla applikointitelan nopeutta ja päällysteen viskositeetin avulla. (Linnonmaa ym. 2009, 473)

3.3 Syväpainotelapäällystys

Syväpainotelapäällystyksessä (gravure coating) käytetään applikointitelaa, jossa on kuviointi. Päällystysaineen määrää voidaan tarkemmin annostella, koska päällystysaine siirtyy vain telan kuvioinnista applikoitavalle materiaalille. Päällystystapa vaatii päällysteeltä alhaista viskositeettia. (Ebnesajjad 2013, 225–226)

4 ALKYLIKETEENIDIMEERI

Alkyliketeeniidimeeri eli AKD on sellukuiduille käytetty tärkeä liima-aine, jolla on hydrofiilisiä ominaisuuksia. AKD-partikkelissa on hydrofobinen pää, joka saattaa selittää sen sellukuituihin tuomat ominaisuudet. Tarkkaa sidosreaktiota selluloosakuitujen kanssa ei tunneta. (Hagiopol & Johnston 2011, 296; Quanxiao, Wencai & Yubin 2011, 1872)

Alkyliketeenit eivät liukene veteen ja käyttöä varten AKD:stä on valmistettava dispersio. AKD:stä valmistetut dispersiot ovat yleensä epävakaita, ja niiden säilyvyyden parantamiseksi AKD ensin laimennetaan hiilivetyhartsilla tai parafiinilla sen sidosten kristallisoitumisen estämiseksi. AKD toimii parhaiten neutraaleissa ja alkalisissa olosuhteissa. (Hagiopol ym. 2011, 286)

Yleisimmät käyttötarkoitukset ovat kirjoitus- ja tulostuspaperien, elintarvikepakkauksen ja sanomalehtipaperien valmistuksessa. Sen käyttöä lisäaineena kuitujen ominaisuuksien parantamiseksi on tutkittu. (Quanxiao ym. 2011, 1872)

5 KOKEELLINEN OSUUS

5.1 Laitteisto

Kuitukankaan päällystäminen toteutettiin TAMKin pastalaboratoriossa sijaitsevalla pilot-päällystyskoneella (kuva 4). Päällystyskone on suunniteltu papereiden ja kartonkien päällystykseen ja painatukseen. Kuvassa näkyy päällystyksessä käytetty kokoonpano. Päällystyskoneessa on rainan kuivatusta varten neljä infrapunakuivatinta, kaksi puhalluskuivatinta ja sylinterikuivatus. Päällystyskoneen auki- ja kiinnirullainten sijaintia voidaan muuttaa.

Päällystystesteistä selvitettiin parhaat ajoparametrit, jotka on esitetty taulukossa 1. Taulukossa ilmoitetaan tiivistetysti tiedot koeajon ja varsinaisen ajon vaiheista.



KUVA 4. Pilot-päällystyskone

5.2 Koeajot

Ennen kuitukangasmateriaaliin siirtymistä ensimmäiset koeajot tehtiin taustapaperilla askeltesteillä. Askeltesteissä kuitukangas ensin pyritään päällystämään hallitusti pienellä määrällä päällystettävää paperia ennen kuivaamista, jolloin parametrejä on helppo säätää ja mahdolliset ongelmat havaitaan nopeasti.

Kiinnirullauksen painetta voidaan säätää, ja näin vaikuttaa radan kireyteen. Huomattiin että kiinnirullaimen paineella 1 bar päästiin parhaaseen lopputulokseen. Koneetta ajettiin nopeudella 1, koska nopeampi ajonopeus heikentäisi kuivaustulosta. Kuitukangas oli hyvin helposti repeävää. Huokoisen kuitukankaan radan kireyttä nostettaessa ilmeni radan katkeamista, mutta muutoin se ei näyttänyt vaikuttavan päällystystulokseen merkittävästi.

Applikointitelan ja vastatelan välistä rakoa pystytään säätämään kahden säätöruuvien avulla, joille etsittiin koeajoissa parasta asetusta. Rakoa säätämällä voidaan muuttaa päällystysprofiilia, kunnes paras lopputulos saadaan. Profiilisäädön raon ollessa liian pieni päällystys jakautui epätasaisesti. Myös liian suuri rako estää päällysteen siirtymisen kuitukankaan pinnalle. Pastan levittymisen taseisuutta säädettiin vastatelan ja aplikointitelan välisen telaraon säädön eli profiilisäädön avulla. Telaraon yksikön kuuluksi vastata 10 mikrometriä. Telarakoa säätäviä ruuveja ei ole kuitenkaan kalibroitu, joten tuloksia ei voida ilmoittaa mikrometreinä. Profiilisäädöksi ensimmäiseen ajotestiin valittiin vasemmasta säätöruuvista 40 ja oikeasta ruuvista 75, Päällystysterän teräkulman säätöruuvit olivat arvoissa 8009 ja 8700.

Ensimmäisessä testissä käytettiin päällystysaineena styreeni-butadieeni-lateksia. Rata jäi kuitenkin ensimmäisellä yrittämällä liian löysäksi, ja se tippui lateksiin ennen sivelytelaa aiheuttaen sen katkeamisen (kuva 3). Tässä kohtaa huomattiin myös, että päällystysterän kulman säätö oli jumissa, ja terä päätettiin ottaa tois-
taiseksi kokeista pois käytöstä.



KUVA 5. Katkennut rata päällystysyksiköllä

Seuraavaksi vaihdettiin päällystysaineeksi lateksin tilalle applikointialtaaseen vettä, koska aiemmin käytetty lateksi katsottiin kokeisiin epäsopivaksi. Askeltesti onnistui taustapaperilla telan profiilisäädössä 20, 45. Materiaaliksi vaihdettiin kuitukangas ja saatiin melko tasainen kastelujälki (kuva 6). Profiilisäädöksi asetettiin arvot 15, 40, jolloin vesi ei enää kastellut kuitukangasta. Arvoilla 25, 50 saatiin hieman parempi lopputulos kuin aikaisemmalla yrityksellä. Materiaalin paksuus ja formaatio vaihtelivat paljon, ja oletettiin epätasaisen kuitukankaan kastumisen johtuvan osittain tästä. Profiilisäädöksi valittiin lopulta arvot 19, 45, jolla saatiin paras lopputulos. Kuvan 6 viimeinen kastelujälki näyttää olevan toispuoleinen, mutta tämä saatiin korjattua siirtämällä rataa manuaalisesti keskemälle, jolloin saatiin aikaan tasainen jälki.



KUVA 6. Kastelujäljet vasemmalta oikealle: telarako 20&45, telarako 25&50 ja telarako 19&45

Seuraavaksi suoritettiin askeltesti kuitukankaalle. Koetta varten Asetettiin terä takaisin, jota ei edelleenkään voitu säätää. Profiilisäädön arvot pidettiin ennallaan. Rata katkesi pian ajon käynnistämisen jälkeen, koska kuitukangas oli alkanut siirtyä koneen sivulle törmäten ja aiheuttaen repeämän. Radan siirtyminen saatiin korjattua säätämällä telan profiilisäätö arvoihin 17, 47. Rata lähti siis kulkemaan vinoon, kun teräpäällystys otettiin käyttöön. Seuraavassa askeltestissä kuitukangas onnistuneesti päällystettiin AKD:llä, joka oli lämmitetty huoneenlämpöiseksi. Vielä ei otettu käyttöön päällystyskoneen kuivatusyksikköjä, vaan kuitukankaasta leikattiin arkkeja, jotka siirrettiin punnituksen jälkeen kuivumaan vakiokosteusolosuhteisiin.

5.3 Varsinainen ajo

Päällystyskone valmisteltiin ajoa varten. Päällystysterää ei ollut käytössä, joten teräpainetta ei käytetty. Sivelytelaa pyöritettiin vakionopeudella 10 m/min (Sunday Drive On). Puhalluskuivattimet A ja B (Heater A, Heater B) kytkettiin päälle, ja lämpötilan asetusarvoksi valittiin 90°C, ja niiden annettiin asettua asetusarvoonsa ennen päällystyskoneen käynnistämistä. Ensin testattiin kuitukankaan ajamista vedellä, ja kun tämä varmistettiin onnistuneeksi, vaihdettiin applikointialtaaseen AKD-dispersio (kuva 7).



KUVA 7. Pastakaukalo, jossa AKD-dispersio

Profiilisäätö pidettiin entisellään. Kun päällystys aloitettiin, huomattiin että kuitukangas alkoi kastuttuaan revetä reunasta aiheuttaen radan äkillisen katkeamisen (kuva 8).



KUVA 8. Katkennut rata

Päätettiin yrittää uudelleen lisäämällä ilmakeivaimen lisäksi käyttöön IR-kuivaimet eli infrapunakuivattimet, sekä sylinterikuivattimet. Sylinterikuivattimet asetettiin lämmittämään 60 celsiusasteeseen ja IR-kuivaimet 2 ja 4 asetettiin 90 asteeseen. Rataan muodostui jälleen yksi repeämä, mutta tällä kertaa rata pysyi katkeamattomana. Kuivaustulokseen ei kuitenkaan saatu merkittävää parannusta pelkkään puhallinkuivaukseen verrattuna, ja kuitukangas oli kuivatuksen jälkeen edelleen melko kostea ja käsiteltäessä herkästi repeävää.

t	Ajo- nopeus	Kiinnirullain (bar)	Materiaali	Terä	Päällyste	Tela- rako	Päällystystulos	Kuivatusmenetelmä	Kuivatustulos
1	1	1.50	Tausta- paperi	Kyllä	lateksi	40, 75	poikki	Ei	-
2	1	1.50	Tausta- paperi	Ei	vesi	20, 45	melko tasainen	Ei	-
3	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	vesi	20, 45	melko tasainen	Ei	-
4	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	vesi	15, 40	ei kastele	Ei	-
5	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	vesi	25, 50	Parannus, huonompi kuin t3	Ei	-
6	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	vesi	19, 45	tasainen	Ei	-
7	1	1.50	Kuitu- kangas	Kyllä	vesi	19, 45	poikki	Ei	-
8	1	1.50	Kuitu- kangas	Kyllä	vesi	17, 47	tasainen	Ei	-
9	1	1.50	Kuitu- kangas	Kyllä	AKD	17, 47	tasainen	Ei	-
10	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	vesi	17, 47	tasainen	Puhaltimet A,B 90C	heikko
11	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	AKD	17, 47	tasainen	Puhaltimet A,B 90C	heikompi kuin t10
12	1	1.50	Kuitu- kangas	Ei	AKD	17, 47	tasainen, repeämä	Puhaltimet A,B 90C, IR 2 lamppua 90C, sylinteri 60C	heikko, parempi kuin t10

TAULUKKO 1. Käytetyt ajoparametrit

Kuitukangas saatiin onnistuneesti ajettua rullaan (kuva 9), josta ajon pysäyttämisen jälkeen leikattiin näytearkkeja.



KUVA 9. Päällystetty kuitukangasrulla

6 LAADUNMÄÄRITYKSET

6.1 Olosuhteet

Tasapaino-olosuhteissa kuitukankaan, kuten monien muidenkin materiaalien kosteuspitoisuus riippuu ympäristön suhteellisesta kosteudesta sekä ympäröivän ilman lämpötilasta. Siihen vaikuttaa myös näytteen kosteuden historia (Kettle 2008, 266.) Näytteiden annettiin ennen kokeiden toteutusta kuivua vakio-olosuhteissa vähintään 17 tuntia.

Kaikkia fysikaalisia ja mekaanisia laboratoriokokeita varten näytteet oli ilmastoitu standardien ISO 187 (paperit, kartongit) ja ISO 139 (tekstiilit) mukaisesti vakio-olosuhteissa, joissa lämpötilan tulee olla 23°C ja suhteellisen kosteuden 50 %.

Testeissä käytettiin paperin ja kartongin laadunmäärittämiseen laadittuja standardeja. Mittauksen mukaan kokeissa mitattiin tulokset arkkien kone- ja poikkisuunnasta, tai ylä- ja alapuolelta.

6.2 Neliömassa, paksuus ja tiheys

Päällystetyistä ja kuivatuista arkeista mitattiin neliömassa ja paksuus, joiden avulla laskettiin myös arkkien tiheys. Neliömassa ilmoittaa massan pinta-alayksikköä kohden, tässä tapauksessa yksikössä g/m². Näytteet leikattiin kokoon 100 x 100 mm. Paksuus ilmoitetaan nanometreinä (µm).



KUVA 10. Paksuusmittaus

Paksuus mitattiin kuvan 10 L&W paksuusmittarilla. Näytteet leikattiin ISO 534 mukaisesti kokoon 60 mm². Arkit asetettiin mitattavaksi 10 arkin pinossa, jolloin vastaus saatiin jakamalla tulos 10:llä. Mittaus suoritettiin ylä- ja alapuolelta 20 eri näytteestä.

Tiheys kuvaa suhdetta neliömassan ja paksuuden välillä, sen käänteisarvoa kutsutaan bulkiksi (Niskanen & Pakarinen 2008, 20).

Tiheys laskettiin kaavalla

$$d_s = \frac{g}{\delta_s},$$

jossa d_s on arkin paksuus, g on massa neliömetriä kohti ja δ_s yksittäisen arkin paksuuden keskiarvo.

6.3 Lujuusominaisuudet

Lujuusominaisuuksista kuitukankaasta mitattiin repäisylujuus, puhkaisulujuus ja vetolujuus.

Repäisylujuus mittaa keskimääräistä voimaa, joka tarvitaan jatkamaan paperin repeämistä alkuperäisestä viillosta näytteessä. Repäisylujuusmittausten tulos ilmoitetaan Newtonina (N). Repäisylujuuteen vaikuttaa ainakin kuitujen pituus, -lujuus, -orientaatio ja kuitujen sidokset (Levlin 1999, 145).



KUVA 11. Repäisylujuusmittaus

Repäisylujuusmittaus toteutettiin standardin ISO 1974 mukaisesti L&W repäisylujuusmittarilla (kuva 11). Koekappaleeseen tehtiin viilto, joka repäistiin heilurin avulla.

Vetolujuus kuvaa suurinta voimaa, jonka tietyistä materiaalista valmistettu nauha voi kestää ennen katkeamista, kun kuormitus kohdistetaan nauhan pituuden mukaisesti. Vetolujuusmittarissa näytettä kuormitetaan, kunnes se katkeaa ja nauhan venymä mitataan yksikössä kN/m (Levlin 1999, 142). Vetolujuus mitattiin kahdessa eri suunnassa 5 näytteelle.



KUVA 12. Vetolujuusmittaus

Puhkaisulujuus mittaa paineen maksimiarvon, jonka näyte kestää rikkoontumatta. Puhkaisulujuuden yksikkönä käytetään kilopascaliala (Levlin 1999, 144).



KUVA 13. Puhkaisulujuusmittaus

Puhkaisulujuusmittaus suoritettiin L&W puhkaisulujuusmittarilla (kuva 11) Mullenkokeella. kuitukankaan ylä- ja alapuolelta 10 näytteellä.

6.4 Lämpäisyominaisuudet

Lämpäisyominaisuuksista kuitukankaasta mitattiin sen ilmanläpäisevyys, öljyabsorptio, vesiabsorptio sekä staattisen ja dynaamisen kontaktikulman mittaus.

Ilmanläpäisevyysmittaus suoritettiin Bendtsen-menetelmällä, joka mittaa läpäisevää ilmavirtaa. Materiaalin huokosrakennetta voidaan myös osittain määrittää mittauksen avulla, ja sen avulla voidaan selvittää suurempien huokosten esiintyvyyttä. (Knowpap n.d.)



KUVA 14. Ilmanläpäisevyysmittaus

Ilmanläpäisevyysmittaus suoritettiin kummaltakin puolelta kuitukangasnäytettä standardin ISO 5636-3 mukaisesti 10 mittausta. Yksikkönä käytettiin yksikköä $\mu\text{m}/\text{Pas}$.

Cobb-Unger- öljyabsorptio mitattiin standardin SCAN-P 37:77 mukaisesti. Ensin näytteet leikattiin mallilevyn avulla oikeaan mittaan. Mittauksia suoritettiin kummaltakin puolelta 8 kappaletta. Koeajaksi valittiin Cobb 10, eli mittausajaksi valittiin 10 sekuntia.

Tulokset laskettiin standardissa ilmoitetulla kaavalla

$$x = \frac{G_2 - G_1}{A},$$

Jossa x on Cobb-Unger öljyabsorptio, G_1 on kuivapaino, G_2 märkätaino ja A testattavan arkin pinta-ala (0.01 m^2).



KUVA 15. Öljyabsorptiomittaus

Vesiabsorptio toteutettiin ISO 535:1991 standardin mukaisesti sillä erolla, että standardista poiketen käytettiin neljää määrittystä standardin 10 määrittelyn sijasta. Mittaukset suoritettiin Cobb 60 käyttäen (60 sekuntia).



KUVA 16. Vesiabsorptiomittaus

Koe aloitettiin leikkaamalla kuitukankaasta 100 cm² kokoiset koearkit, joiden massa punnittiin. Arkkit asetettiin yksi kerrallaan sylinterin alle, jonka jälkeen se täytettiin 100 ml määrällä vettä. Aikaa otettiin sekuntikellolla, ja 45 sekunnin kuluessa ajanoton aloittamisesta ylimääräinen vesi kaadettiin pois sylinteristä, ja testiarkki asetettiin pöydällä olevan imupaperin päälle. 60 sekunnin kohdalla toinen imupaperi asetettiin testikappaleen päälle. Tämän jälkeen ylimääräinen vesi poistettiin rullaamalla metallirullalla (kerran eteen ja taakse), varoen painamatta metallirullaa liian lujasti. Tämän jälkeen kuitukangasarkit punnittiin ja laskettiin vesiabsorptio.

Absorption tulos saatiin kaavalla

$$A = (m_2 - m_1)F,$$

jossa A on vesiabsorptio, m_1 on kuivapaino, m_2 märkápaino ja F on testattavan arkin pinta-ala.

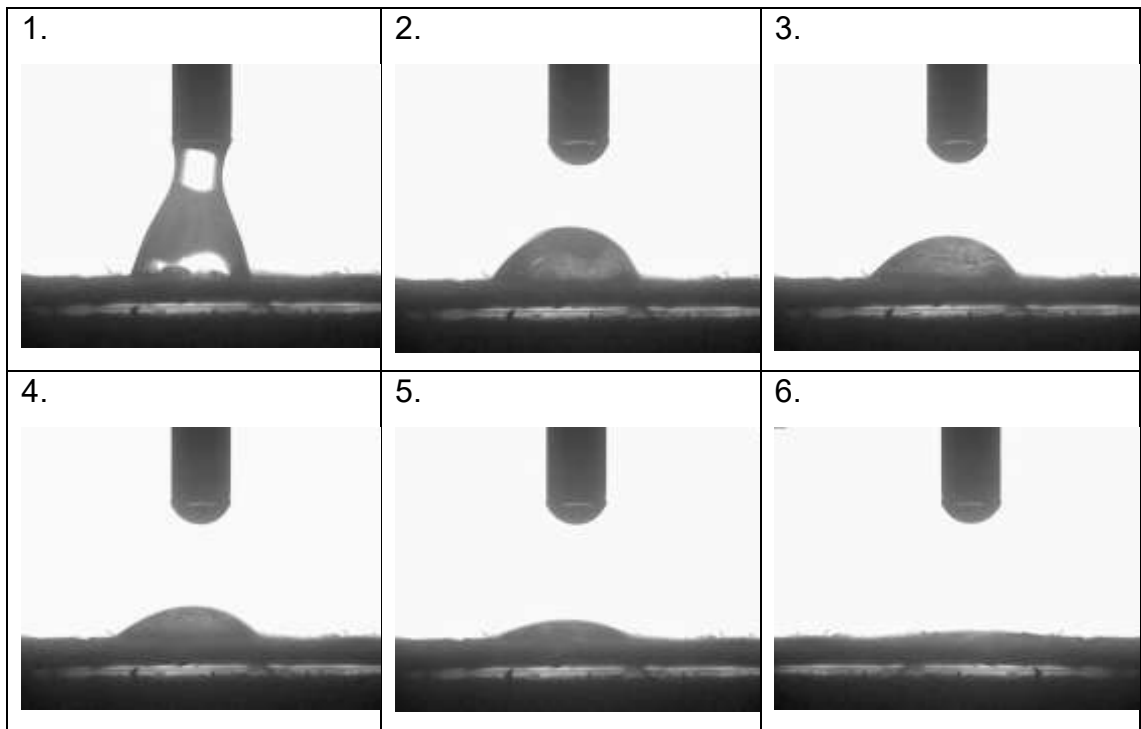
Dynaamisen ja staattisen kontaktikulman mittaus suoritettiin Pocket Goniometer -laitteella (kuva 17). Kummallakin mittaustavalla selviää tuloksista pisaran kontaktikulma, tilavuus ja pisaran pohjan leveys tasapainotilassa.

Mitä alhaisempi on nesteen ja pinnan välinen kontaktikulma, sitä tehokkaampaa on pinnan kastuminen. Kun kontaktikulma lähestyy nollaa, pinta on täysin kastunut. (Goodwin 2009, 192)



KUVA 17. Kontaktikulman mittaus

Päällystämättömälle kuitukankaalle toteutettiin dynaaminen kontaktikulman mittaus eli drop-testi. Dynaamisessa mittauksessa kuvat tallentuvat automaattisesti, kun pisara saavuttaa näytearkin pinnan. Kamera ottaa pisaran irrotessa sarjan kuvia pisarasta, ja näistä kuvista saadaan selville pisaran kontaktikulma sen imeytyessä kuitukankaaseen (kuva 18). Dynaaminen testi valittiin, koska pisara imeytyi kuitukankaaseen vesiabsorptiossa alle sekunnissa.



KUVA 18. Dynaamisen kontaktikulman mittauksen kuvasarja päällystämättömällä kuitukankaalla

Päällystetylle kuitukankaalle käytettiin staattista menetelmää, joka on tarkoitettu kiinteille materiaaleille, joita neste ei läpäise. Dynaamista kontaktikulman mittausta ei voitu suorittaa, koska pisarat jäivät päällystetyn kuitukankaan pinnalle (kuva 19).



KUVA 19. Pisarat päällystetyn kuitukankaan pinnalla

6.5 AKD:n viskositeetti

Työssä käytetystä AKD-dispersiosta mitattiin sen viskositeetti millipascalina jääkaappikylmänä (5°C) ja kuten sitä päällystyksen aikana käytettiin, huoneenlämpöisenä (23°C).



KUVA 20. Viskositeettimittaus

Viskositeetin mittaus toteutettiin Brookfield Nidek DV-II+ -rotaatioviskosimetrillä. Mittauksessa valittiin yksiköksi millipascalsekunti (mPas) joka vastaa yhtä senttipoisia (cP). Nopeudeksi kokeeseen valittiin 100 rotaatiota minuutissa.

7 TULOKSET

7.1 Ajoparametrit

Paras päällystystulos saatiin telaraolla 17,47, kun kiinnirullaimella käytettiin painetta 1.5 bar. Terää ei voitu käyttää ja kuivatusmenetelmistä oli käytössä puhallinkuivattimet 90 asteessa, 2 IR-kuivainta ja kuitukangasrata esilämmitettiin sylinterikuivatuksella. Sivelytelaa pyöritettiin vakionopeudella.

TAULUKKO 10. Parhaat ajoparametrit

Ajonopeus	Kiinnirullain paine	Terä	Päällyste	Telarako	Päällystys	Kuivatusmenetelmä
1	1.50 bar	Ei	AKD	17, 47	tasainen, repeämä	Puhallimet A&B 90°C, IR 2&4 90°C, sylinterit 60°C

7.2 Arkkien päällystys

Kaikki näytteet ilmastoitiin ISO 187 standardin mukaisesti ennen mittausten suorittamista. Kuvassa 21 on kokeisiin käytettäviä päällystettyjä kuitukangasarkkeja.



KUVA 21. Päällystettyjä arkkeja

7.3 Neliömassa, paksuus ja tiheys

Saatujen tulosten perusteella (taulukko 2) kuitukankaan neliömassa oli kasvanut merkittävästi (38.38 g/m^2), joka kertoo suuresta päällystysaineen imeytymisestä kuitukankaaseen. Myös paksuuden ja tiheyden keskiarvoissa nähtiin merkittävää kasvua. Neliömassan mittaustaulukko on esitetty liitteessä 2 ja paksuusmittausten mittaustaulukko liitteessä 3.

TAULUKKO 2. Fyysisten ominaisuuksien tulokset, 20 näytettä

	Päällystämätön	CV (%)	Päällystetty	CV (%)
Neliömassa g/m^2	53.35	1.48	91.73	4.96
Paksuus μm	185.6	9.2	224.0	15.8
Tiheys kg/m^3	287.5		409.5	

7.4 Lujuusominaisuudet

Päällystys ei vaikuttanut merkittävästi kuitukankaan lujuusominaisuuksiin tehtyjen kokeiden perusteella. Lujuusominaisuuksien mittaustaulukko on esitetty liitteessä 1.

Puhkaisulujuudessa tuloksissa (taulukko 3) ei nähty merkittävää eroa päällystämättömien ja päällystettyjen näytteiden välillä. 10 näytteen otannalla ei tulosten perusteella voida tehdä johtopäätöstä, että päällystys olisi vaikuttanut tuloksiin merkittävästi.

TAULUKKO 3. Puhkaisulujuusmittauksen tulosten keskiarvot, 10 näytettä (kPa)

Näyte	Yläpuoli	CV (%)	Alapuoli	CV (%)
Päällystämätön	71.2	14.3	66.4	13.9
Päällystetty	71.2	16.7	83.4	6.7

Repäisylujuusmittauksessa (taulukko 4) ei nähty muutosta päällystetyn ja päällystämättömien näytteiden välillä. Konesuunnan näytteissä saatiin hieman suurempia arvoja kuin päällystämättömässä, mutta poikkisuunnassa saatu tulos oli päinvastainen. Tuloksista voidaan päätellä, että erot eri näytteiden välillä eivät olleet merkittäviä.

TAULUKKO 4. Repäisylujuusmittauksen tulosten keskiarvot, 10 näytettä (kPa)

Näyte	Konesuunta	CV (%)	Poikkisuunta	CV (%)
Päällystämätön	571.8	8.9	597.2	11.8
Päällystetty	601.6	6.6	590.5	6.4

Vetolujuudessa (taulukko 5) ei nähty merkittävää muutosta päällystetyn ja päällystämättömän kuitukankaan välillä.

TAULUKKO 5. Vetolujuusmittauksen tulosten keskiarvot, 5 näytettä (N/m)

Näyte	Konesuunta	CV (%)	Poikkisuunta	CV (%)
Päällystämätön	490	4.2	476	8.4
Päällystetty	525	13.9	476	22.0

7.5 Lämpäisyominaisuudet

Päällystys vähensi mittausten mukaan kuitukankaan ilmanläpäisevyyttä selvästi (taulukko 6). Voidaan todeta päällystykseen vaikuttaneen ilmanläpäisevyyteen heikentäen ilman virtausta. Päällystetyissä arkeissa vaihtelu ilmanläpäisevyydessä näytteiden välillä väheni. Ilmanläpäisykyky huokoisella kuitukangasmateriaalilla oli kuitenkin niin suuri, että virallisesti standardin ISO 5636 mukaan laitteisto ei sovellu näin huokoisten materiaalien mittaamiseen. Ilmanläpäisevyyssmittausten mittaustaulukko on esitetty liitteessä 4.

TAULUKKO 6. Ilmanläpäisymittauksen tulosten keskiarvot, 10 näytettä ($\mu\text{m}/\text{Pas}$)

Näyte	Yläpuoli	CV (%)	Alapuoli	CV (%)
Päällystämätön	290.33	42.31	386.61	32.77
Päällystetty	162.78	13.66	179.40	23.69

Taulukon 7 öljyabsorption tuloksista voidaan havaita, että absorptio oli selkeästi alhaisempi päällystetyillä näytteillä kuin päällystämättömillä. Näin ollen voidaan olettaa, että AKD-päällyste on lisännyt merkittävästi kuitukankaan oleofobisuutta. Öljyabsorption mittaustaulukko on esitetty liitteessä 1.

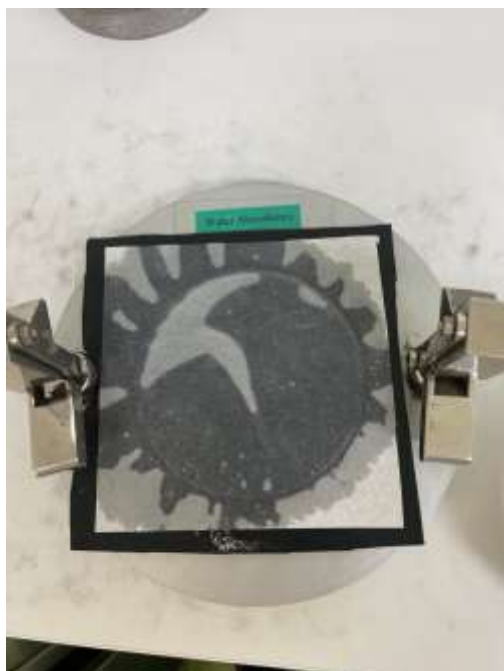
TAULUKKO 7. Öljyabsorptio mittauksen tulosten keskiarvot, 4 näytettä (g/m²)

Näyte	Yläpuoli	CV (%)	Alapuoli	CV (%)
Päällystämätön	128.83	7.64	134.80	3.54
Päällystetty	44.55	14.72	59.13	24.67

Vesiabsorptio ei onnistunut päällystämättömistä näytteistä, koska vesi läpäisi kuitukankaan välittömästi ja kasteli myös sylinterin ulkopuolelta kuitukangasta (kuva 22). Päällystetylle kuitukankaalle absorptiotesti voitiin onnistuneesti toteuttaa. Tulos kertoi päällystykseen merkittävästä vaikutuksesta kuitukankaan vedenabsorptioon, koska testin onnistuminen vaatii hydrofobisuutta. Hydrofiilisestä kuitukankaasta onnistuttiin siis tekemään hydrofobista. Vesiabsorption mittaustaulukko on esitetty liitteessä 6.

TAULUKKO 8. Vesiabsorptio mittauksen tulosten keskiarvot, 4 näytettä (g/m²)

Näyte	Yläpuoli	CV (%)	Alapuoli	CV (%)
Päällystetty	29.88	3.68	32.48	16.30



KUVA 22. Epäonnistunut vesiabsorptiokoe päällystämättömällä kuitukankaalla

Dynaamisen kontaktikulman mittauksesta (taulukko 9) selvisi tarkasti aika, joka kului pisaran imeytymiseen päällystämättömään kuitukankaaseen. Kontaktikulman mittauksessa näkyi häiriö 0.331 sekunnin kohdalla.

TAULUKKO 9. Dynaaminen kontaktikulman mittaus, päällystämätön kuitukangas

Päällystämätön kuitukangas, dynaaminen testi				
Aika (s)	Kontaktikulma (°)	Pohjan leveys (mm)	Korkeus (mm)	Tilavuus (µl)
0	0	0	0	0
0.06	69.0	2.38	0.82	2.11
0.13	57.5	2.40	0.66	1.64
0.201	45.9	2.40	0.51	1.22
0.261	28.6	2.36	0.30	0.67
0.331	57.9	3.27	0.90	4.17
0.401	0	0	0	0

Staattisen kontaktikulman mittauksesta (taulukko 10) selvisi 4 pisaran kontaktikulmat niiden pudotessa päällystettyyn kuitukankaaseen. Laitteen kontaktikulman mittauksen tarkkuutta voi kuitenkin epäillä, koska alhaiset kontaktikulman arvot tarkoittaisivat korkeaa hydrofiilisyyttä, eli kontaktikulmia vertaamalla päällystetty kuitukangas olisi imukykyisempi mikä ei voi pitää paikkaansa muiden tulosten perusteella, ja pisaroiden nähdään imeytyvän tehokkaammin päällystämättömään pintaan, josta kertovat myös kuvat 18 ja 19.

TAULUKKO 10. Staattinen kontaktikulman mittaus, päällystetty kuitukangas

Päällystetty kuitukangas, staattinen testi				
Kuva	Kontaktikulma (°)	Pohjan leveys (mm)	Korkeus (mm)	Tilavuus (µl)
1	15.0	2.64	0.17	0.48
2	10.5	1.68	0.08	0.09
3	17.8	2.46	0.19	0.46
4	11.2	4.03	0.20	1.27

7.6 AKD:n viskositeetti

Viskositeettimittauksen perusteella käytetyn AKD-dispersion viskositeetti laski merkittävästi dispersion lämpötilan noustessa.

TAULUKKO 9. AKD:n viskositeettimittauksen tulokset

Lämpötila (°C)	Viskositeetti (mPas)
5	140
23	42

8 POHDINTA

Työssä käytetty kuitukangas oli ilmarainatulle kuitukankaalle ominaisesti ominaisuuksiltaan hydrofiilinen, ja sen hydrofobisointi onnistui. Päälystyskoneelle löydettiin ajoparametrit, joilla päälystys saatiin suoritettua. Opinnäytetyön teon aikana teräpäälystystä ei lopulta voitu hyödyntää sen kulman säätöruuvien oltua jumissa mutta vaikutti ilmeiseltä, että kuitukankaan suuren imukyvyn takia sen käyttö ei olisi merkittävästi vaikuttanut päälystykseen, koska hyvin huokoinen kuitukangas absorboi itseensä kaiken dispersioaineen.

Kuitukangas oli päälystyskoneessa päälystyksen jälkeen hyvin helposti repeävää, ja sen päälystäminen oli haasteellista. Kuitukankaan repeily aiheutti ajon aikana katkotilanteita. Pilot-päälystyskoneen kuivauskapasiteetti ei siis ollut riittävä. Puhalluskuivausta, IR-kuivaimia ja sylinterikuivausta yhdessä käyttäessäkin kuitukangas jäi rullattuna hyvin kosteaksi. Radan katkeamista tapahtui myös ennen päälystyskoneen kuivatusosaa, jossa kuitukangas oli kosteimmillaan ja lujuudeltaan heikointa. Tämän kokoluokan päälystyskoneella tarpeeksi suuren kuivaustehon saaminen voi olla haasteellista. Päälystyslaitteistossa ei voitu mitata päälystettävän kuitukankaan lämpötilaa, joka olisi ollut hyödyllistä rainan lämpötilan seuraamisen kannalta. Kuitukankaan ei kuitenkaan todettu kuumenevan liikaa kuivatuksen aikana.

Tuotettuihin mittaustuloksiin liittyy epävarmuutta. Ilmanläpäisymittaus toteutettiin laitteistolla, joka on suunniteltu vähemmän ilmaa läpäiseville papereille ja kartongeille. Mittaukset tehtiin paperille tarkoitettuja standardeja käyttäen, jotka eivät välttämättä anna parhaita tuloksia käytetyn kuitukankaan kaltaiselle materiaalille. Kontaktikulman mittauksen tulokset eivät olleet luotettavia, ja dynaamisesta kontaktikulman mittauksesta hyödyllisin oli absorptioon kulunut aika, jota ei vesiabsorptiotestillä voitu mitata. Kuitukankaan mittaustuloksien vaihtelu oli mahdollisesti kuitukankaan neliömassavaihteluiden tulos, ja mittauksia olisi voitu suorittaa enemmän ottaen tulosten vaihtelun paremmin huomioon.

Pilot-päällystyskone on tarkoitettu paperien ja kartonkien päällystämiseen, ja saatujen tulosten perusteella se ei soveltunut huokoisen kuitukankaan päällystykseen. Applikointitelan rakenne oli huokoiselle kuitukankaalle ongelmallinen, koska pasta applikoidaan kuitukankaaseen ennen päällystemäärän säätöä.

Tulevaisuudessa laitteistolla voitaisiin käyttää päällystyksessä tiheämpää kuitukangasmateriaalia, jos näin saavutettaisiin parempi lopputulos, jossa imeytyneen päällystysaineen määrää voitaisiin rajoittaa. Teräpäällystykseen säädön mahdollisuus ja applikointitelan säädön kalibrointi ovat myös tärkeitä tulevaisuuden ajokokeita varten. Päällystyskoneella voitaisiin myös tutkia, kuinka päällystysaineen eri viskositeetti vaikuttaisi päällystystulokseen. Myös voitaisiin kokeilla päällystysaseman applikointitelan vaihtamista pintakuvioituun telaan, vaikkakin nyt käytetyllä AKD-dispersiolla sillä ei ole todennäköisesti merkittävää vaikutusta.

LÄHTEET

Bartels, V. T. 2011. Handbook of Medical Textiles. Woodhead Publishing. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMT00004/handbook-medical-textiles/handbook-medical-textiles>

Chapman, R. A. 2010. Applications of Nonwovens in Technical Textiles. Vaatii käyttöoikeuden. Woodhead Publishing. <https://app-knovel-com.libproxy.tuni.fi/kn/resources/kpANTT0002/toc>

Das, D. & Pourdeyhimi, B. 2014. Composite Nonwoven Materials - Structure, Properties and Applications. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0125RSB2/composite-nonwoven-materials/composite--references-2>

Ebnesajjad, S. 2013. Polyvinyl Fluoride – Technology and Applications of PVF. Elsevier. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpP-FTAPVF6/polyvinyl-fluoride-technology/polyvinyl-fluoride-technology>

EDANA. n.d.b How are nonwovens made. Viitattu 22.2.2024. <https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made>

EDANA. n.d.a What are nonwovens. Viitattu 25.2.2024. <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-are-nonwovens>

Fourné, F. 1999. Synthetic Fibers - Machines and Equipment Manufacture, Properties. Hanser Publishers. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003KJ481/synthetic-fibers-machines/front-matter>

Fung, W. 2002. Coated and Laminated textiles. Woodhead Publishing. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCLT00001/coated-laminated-textiles/coated-laminated-textiles>

Goodwin, J. 2009. Colloids and Interfaces with Surfactants and Polymers. John Wiley & Sons. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=454409>

Hagiopol, C. & Johnston, J. W. 2011. Chemistry of Modern Papermaking, Taylor & Francis Group. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=1446472>.

Ivanova, N. A. & Zaretskaya, A. K. 2010. Simple treatment of cotton textile to impart high water repellent properties. *Applied surface science*. Browzine. <https://browzine.com/libraries/2233/journals/4961/issues/3257973>

Jones, F., Nichols, M. & Pappas S. 2017. Organic Coatings - Science and Technology (4th Edition). John Wiley & Sons. Vaatii käyttöoikeuden. https://app-knovel-com.libproxy.tuni.fi/web/view/khtml/show.v/rcid:kpOCSTE001/cid:kt011JHJJ1/viwerType:khtml/root_slug:organic-coatings-science/

Kettle, J. 2008. Moisture and fluid transport. Teoksessa Niskanen, K. (toim.) Paper Physics. Helsinki: Fapet Oy. Viitattu 28.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://forestbiofacts.com/papermaking-science-and-technology-books/volume-16-paper-physics/>

KnowPap versio 25.0. 2023. Taitotalo / Proledge Oy. Huokosrakenne. Viitattu 28.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extra-net/suomi/paper_board_properties/5_surface_prop/2_porosity/frame.htm

Levlin, J-E & Söderhjelm L. 1999. Pulp and Paper Testing. Helsinki: Fapet Oy. Viitattu 17.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://forestbiofacts.com/papermaking-science-and-technology-books/volume-17-pulp-and-paper-testing/>

Mula, M., Tekbaş, R. N., Cengiz, F., Yükek İ. Ö. & Gürarlan A. 2023. Sustainable Milkweed Fiber Composites for Medical Textile Application. CS Sustainable Chemistry & Engineering. Viitattu 25.2.2024. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.3c01508>

Niskanen, K. & Pakarinen P. 2008. Paper Physics. Helsinki: Fapet Oy. Viitattu 28.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://forestbiofacts.com/papermaking-science-and-technology-books/volume-16-paper-physics/>

Linnonmaa, J. & Trefz, M. 2009. Teoksessa Paltakari J. & Lehtinen E. (toim.) Papermaking science and technology. Pigment coating and surface sizing of paper. Paperi ja Puu Oy. Vaatii käyttöoikeuden. <https://forestbiofacts.com/papermaking-science-and-technology-books/volume-11-pigment-coating-and-surface-sizing-of-paper/>

Quanxiao, L., Wencaim X. & Yubin I. 2011. Study on AKD improves regenerated paper fiber properties. Teoksessa Advanced Textile Materials, Part 1 – Experimental materials. Trans Tech Publications. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009ZF5XY/advanced-textile-materials/study-akd-improves-experimental>

Russel, S. J. 2022. Handbook of Nonwovens (2nd edition) Cambridge: Woodhead Publishing. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0131PGA1/handbook-nonwovens-2nd/>

Saha, P.K., Mia, R., Zhou, Y. Functionalization of hydrophobic nonwoven cotton fabric for oil and water repellency. SN Applied Sciences. Viitattu 24.2.2024. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04582-9>

Tuni n.d. SUSTAFIT. Viitattu 24.2.2024 <https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/sustafit>

Wulfhorst, B., Gries, T. & Veit, D. 2006. Textile Technology. Munhen: Hanser Publishers. Vaatii käyttöoikeuden. Knovel. <https://app-knovel.com.libproxy.tuni.fi/kn/resources/kpTT000012/toc?b-q=Textile+Technology>

LIITTEET

Liite 1. Lujuusmittaukset

Mittaus	Puhkaisulujuus (kPa)			
	Päällystämätön		Päällystetty	
	Yläpuoli	Alapuoli	Yläpuoli	Alapuoli
n				
1	76	76	77	75
2	76	75	76	74
3	50	52	53	76
4	76	50	76	78
5	76	75	64	82
6	54	76	65	87
7	77	75	65	95
8	76	57	73	90
9	76	52	79	82
10	76	76	84	95
Keski-arvo	71	66	71	83
SD	10.2	11.9	9.2	8.0
CV (%)	14.3	17.9	13.0	9.6

Mittaus	Repäisylujuus (mN)			
	Päällystämätön		Päällystetty	
	Konesuunta	Poikkisuunta	Konesuunta	Poikkisuunta
n				
1	577	501	604	665
2	571	611	585	579
3	663	535	638	595
4	499	605	587	578
5	573	552	590	571
6	535	579	640	563
7	517	701	530	650
8	616	530	569	571
9	624	688	605	584
10	543	670	668	549
Keski-arvo	572	597	602	591
SD	51.1	70.4	39.5	37.5
CV (%)	8.9	11.8	6.6	6.4

Mittaus	Vetolujuus (N/m)			
	Päällystämätön		Päällystetty	
	Konesuunta	Poikkisuunta	Konesuunta	Poikkisuunta
Keski-arvo	490	476	525	476
CV (%)	4.2	8.4	13.9	22.0

Liite 2. Neliömassamittaukset

Mittaus	Neliömassa (g/m ²)		
	Päällystämätön	Päällystetty	
n	Vakiokosteutettu	Ennen kuivauksen	Jälkeen kuivauksen
1	52	114	96
2	53	136	95
3	56	122	88
4	54	125	97
5	53	121	94
6	53	159	93
7	52	172	100
8	57	169	86
9	53	137	86
10	53	143	88
11		114	91
12		156	95
13		162	100
14		162	96
15		131	87
16		169	97
17		130	84
18		130	85
19		152	88
20		161	91
Keski-arvo	53	143	92
SD	1.6	19.5	5.1
CV (%)	2.9	13.6	5.5

Liite 3. Paksuusmittaukset

	Paksuus (µm)	
	Päällystämätön	Päällystetty
Keskiarvo	185.6	224.0
SD	9.2	15.8
CV (%)	4.9	7.0
Max	199.5	254.0
Min	171.0	195.4

Liite 4. Ilmanläpäisevyyssmittaukset

Mittaus	Ilmanläpäisevyys ($\mu\text{m}/\text{Pas}$)			
	Päälystämätön		Päälystetty	
	Yläpuoli	Alapuoli	Yläpuoli	Alapuoli
n				
1	269.17	403.85	179.56	146.8
2	146.92	537.87	161.74	269.1
3	323	323.18	179.61	161.47
4	403.74	538.02	147.2	161.56
5	537.44	403.63	134.64	146.88
6	161.43	179.27	134.9	201.94
7	322.91	268.88	161.69	179.56
8	269.17	269.17	146.99	134.64
9	146.76	538.74	179.46	161.48
10	322.74	403.52	202.05	230.6
Keski-arvo	290.33	386.61	162.78	179.40
SD	122.83	126.70	22.23	42.51
CV (%)	42.31	32.77	13.66	23.69

Liite 5. Öljyabsorptiomittaukset

Mittaus	Öljyabsorptio päälystämätön (g/m^2)					
	Yläpuoli			Alapuoli		
	n	Kuiva	Märkä	Tulos	Kuiva	Märkä
1	0.722	1.934	121.2	0.771	2.133	136.2
2	0.759	2.041	128.2	0.785	2.194	140.9
3	0.746	1.976	123.0	0.734	2.052	131.8
4	0.760	2.189	142.9	0.713	2.016	130.3
Keski-arvo	0.747	2.035	128.8	0.751	2.099	134.8
SD	0.018	0.112	9.8	0.03	0.08	4.8
CV (%)	2.37	5.489	7.6	4.41	3.82	3.5
Mittaus	Öljyabsorptio päälystetty (g/m^2)					
	Yläpuoli			Alapuoli		
	n	Kuiva	Märkä	Tulos	Kuiva	Märkä
1	1.236	1.724	48.8	1.228	1.705	47.7
2	1.328	1.678	35.0	1.208	1.78	57.2
3	1.30	1.755	45.4	1.326	1.84	51.4
4	1.308	1.797	48.9	1.200	2.002	80.2
Keski-arvo	1.293	1.739	44.5	1.241	1.832	59.1
SD	0.040	0.050	6.6	0.058	0.13	14.6
CV (%)	3.081	2.888	14.7	4.692	6.89	24.7

Liite 6. Vesiabsorptiomittaukset

Vesiabsorptio (g/m ²)						
	Päällystetty					
Mittaus	Yläpuoli			Alapuoli		
n	Kuiva	Märkä	Tulos	Kuiva	Märkä	Tulos
1	1.81	2.11	30.4	1.87	2.16	29.2
2	1.86	2.15	28.3	1.85	2.14	28.6
3	1.77	2.07	30.0	1.88	2.20	32.0
4	1.90	2.20	30.8	1.71	2.11	40.1
Keskiarvo	1.84	2.13	29.9	1.83	2.15	32.5
SD	0.05	0.05	1.1	0.08	0.04	5.3
CV (%)	2.95	2.57	3.7	4.35	1.72	16.3