

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperitekniiikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Juha-Matti Poutala

PAPERIN LIIMAUSASTEEN MÄÄRITYS

Työn valvoja

DI Arto Nikkilä

Työn teettäjä

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampere 2005

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Juha-Matti Poutala Paperin liimausasteen määrittäminen
Tutkintotyö 45 sivua + 37 liitesivua
Työn valvoja DI Arto Nikkilä
Toimeksiantaja Tampereen ammattikorkeakoulu, paperilaboratorio,
ohjaajana DI Arto Nikkilä

Joulukuu 2005

Hakusanat Cobb-testi, curl-testi, drop-testi, hydrofobiliimaus, Klemm-testi,
kontaktikulma, liimausaste, paperi

TIIVISTELMÄ

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa ja työn aiheena oli paperin liimausasteen määrittäminen veden absorptioilla. Työn tarkoituksena oli selvittää liimausasteen mittaukseen käytettävät menetelmät ja niiden soveltuvuus eri paperi- ja kartonkilajeille. Liimausasteen mittaukseen käytetyt menetelmät olivat Cobb-testi, Klemm-testi, kontaktikulma, curl-testi ja drop-testi.

Lisäksi tutkittiin mittausmenetelmien vertailtavuutta keskenään.

Työn kirjallisessa osassa käsitellään tutkittuja paperi- ja kartonkilajeja, sekä liimausmenetelmiä.

Tutkimusosassa käsitellään tutkimuksessa mukana olleet mittausmenetelmät ja niiden sopivuus liimausasteen mittaukseen eri paperi- ja kartonkilajeilla.

TAMPERE POLYTECHNIC

Paper Technology Department

Juha-Matti Poutala The Measurement of Sizing Degree

Final thesis 45 pages + 37 appendixes

Research Supervisor M. Sc. Arto Nikkilä

Applicant Tampere Polytechnic, instructor M. Sc. Arto Nikkilä

December 2005

Keywords Cobb test, curl test, drop test, hydrophobicity, Klemm test, contact angle, sizing degree

ABSTRACT

This bachelor thesis is done in the paper laboratory at the Tampere Polytechnic. The target of this research was to find the best method to measure the sizing degree. The water absorption test methods were Cobb test, Klemm test, contact angle, curl test and drop test.

The theory part of this bachelor thesis deals with different papers and paper boards and sizing methods.

The experimental part of this bachelor thesis consists of five water absorption test methods. The suitability of these methods was studied and compared between papers and paper boards.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa vuosina 2004-05.

Tutkintotyö on osa Tampereen ammattikorkeakoulun paperitekniikan koulutusohjelmaa. Työn laajuus on 10 opintoviikkoa. Aiheen tähän tutkintotyöhön sain Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriosta Arto Nikkilältä.

Haluaisin kiittää työni valvojaa ja ohjaajaa opettaja Arto Nikkilää sekä laboratoriomestari Tiina Kolari-Vuoriota ohjauksesta työn eri vaiheissa.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	7
2. PAPERI- JA KARTONKILAJIT	8
2.1. PUUPITOISET PAPERILAJIT	8
2.1.1. SC-paperi	8
2.1.2. LWC-paperi	10
2.1.3. MWC-paperi	11
2.2. PUUVAPAAAT PAPERILAJIT	12
2.3. KIRJEKUORIPAPERI	13
2.4. IRROKEPAPERI	14
2.5. TAIVEKARTONKI	15
2.5. KRAFTLAINERI	17
3. PAPERIN LIIMAUS JA PÄÄLLYSTYS	19
3.1. HYDROFOBILIIMAUS	20
3.2. KUIVALUJALIIMAUS	22
3.3. MÄRKÄLUJALIIMAUS	23
3.4. PÄÄLLYSTYS	24
4. NÄYTTEET JA MITTAUSMENETELMÄT	25
4.1. TUTKITTAVAT NÄYTTEET	25
4.2. LIIMAUSASTEEN MITTAAMISEEN KÄYTETYT MENETELMÄT	25
4.2.1. Cobbin menetelmä	26
4.2.2. Kontaktikulma	26
4.2.3. Klemmin menetelmä	27
4.2.4. Drop-testi	28
4.2.5. Curl-testi	28
4.3. NÄYTTEIDEN ESIKÄSITTELY	29
5. MITTAUSTULOKSET	30
5.1. NÄYTTEIDEN NELIÖMASSA, PAKSUUS JA BULKKI	30
5.2. YLÄ- JA ALAPINNAN MÄÄRITTÄMINEN	31

5.3. KONE- JA POIKKISUUNNAN MÄÄRITTÄMINEN.....	32
5.4. LIIMASASTEEN MÄÄRITTÄMINEN.....	33
5.4.1. Cobb-testi	33
5.4.2. Kontaktikulma.....	34
5.4.3. Klemm-testi.....	37
5.4.4. Drop-testi	39
5.4.5. Curl-testi.....	40
6. MITTAUSMENETELMIEN VERTAILU.....	42
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	43
LÄHTEET.....	45
LIITTEET	

1. JOHDANTO

Työn tavoitteena oli selvittää paperituotteiden liimausasteen mittauksessa käytettävät mittausten menetelmät ja niiden soveltuvuus eri paperi- ja kartonkilajeille. Työssä selvitettiin myös eri tavoin tehtyjen mittausten mahdollinen vertailtavuus keskenään.

Valituilla kymmenellä paperi- ja kartonkilajilla pyrittiin mahdollisimman kattavaan otokseen erilaisista mittauskohdeista. Mittaukset suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa.

Paperilaboratorion laitteilla mahdollisia liimausasteen mittaukseen käytettäviä mittausten menetelmiä löytyi viisi kappaletta. Niistä kaksi on tehty täysin standardin mukaisesti, yksi perustuu laitevalmistajan ohjeisiin ja kaksi on sovellettu standardin mukaisista menetelmistä.

Käytettävät menetelmät ovat

- Cobbin menetelmä
- kontaktikulma
- Klemmin menetelmä
- drop-testi, joka on sovellettu standardista TAPPI T 432 om-94
- curl-testi, joka on sovellettu standardista TAPPI T 466 cm-82.

Työn teoriaosassa keskitytään kymmeneen tutkittavaksi valittuun paperi- ja kartonkilajiin, jotka ovat

- SC-paperi
- LWC-paperi
- MWC-paperi
- WF-pohjapaperi
- päällystämätön kopiopaperi
- päällystetty kopiopaperi
- kirjekuoripaperi
- release-paperi
- taivekartonki
- kraftlaineri.

Kaikki muut paperilajit jätetään tarkastelujen ulkopuolelle. Teoriaosassa käsitellään myös paperin liimausta lyhyesti.

2. PAPERI- JA KARTONKILAJIT

Perinteinen tapa määrittellä eri paperi- ja kartonkilajit perustuu niiden massakoostumukseen ja paperinvalmistusprosessiin. Paperi- ja kartonkilajit voidaan määrittellä myös kunkin tuotteen loppukäytön mukaan. Seuraavassa käsitellään tutkittavana olleita painopaperilajeja, erikoispaperilajeja ja pakkauskartonkilajeja. /4/

2.1. Puupitoiset paperilajit

2.1.1. SC-paperi

SC-paperi (Super Calendered) on päällystämätön, superkalanteroitu puupitoinen aikakauslehtipaperi. Sen neliömassa-alue on 40-80 g/m². Raaka-aineena käytetään pääosin mekaanisia massoja (70-90 % kuiduista) ja armeeraukseen pitkäkuitusellua (10-30 %).

Kuituraaka-aineen lisäksi SC-papereissa käytetään runsaasti (20-35 %) painettavuusominaisuuksien parantamiseksi. Kuvassa 1 on esitelty tyypillisiä SC-paperituotteita. /4/



Kuva 1. SC-paperin käyttökohteita. /11/

SC-paperilta vaaditaan sekä hyvää ajo- että painatusominaisuutta. Ajettavuuden kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat riittävä repäisy- ja vetolujuus, jotka takaavat katkottoman kulun paperikoneella. Kalanteroinnilla tasoitetaan paperikoneelta tullut paperi paineen ja lämmön avulla etenkin syväpainatuksen vaatimaan hyvään sileyteen ja kiiltoon. /4/

Paperin optisista ominaisuuksista tärkeimmät ovat kiilto, opasiteetti eli läpinäkymättömyys ja vaaleus. Hyvä kiilto lisää painojäljen tummuutta vähentämällä painovärin pinnan valonsirontaa. Näin saadaan kuvan kontrastia suuremmaksi. Korkea vaaleustaso parantaa sävyntoistoa sekä saavutettavissa olevaa maksimidensiteettitasoa. Densiteetillä tarkoitetaan painojäljen tummuusarvoa. /4/

Riittävä opasiteetti on välttämätön läpikuullon estämiseksi. Optisten ominaisuuksien oikean tason lisäksi on välttämätöntä, että ominaisuuksien hajonta ja toispuoleisuus

ovat mahdollisimman pienet. Suuri hajonta optisissa ominaisuuksissa tai formaatiossa aiheuttaa painojäljen kirjavuutta tai läikikkyyttä. /4/

2.1.2. LWC-paperi

LWC-paperi (Light weight Coated) on kevyesti päällystetty puupitoinen painopaperi, joka on painojäljen laadultaan, vaaleudeltaan ja kiilloltaan parempaa kuin SC-paperi. Tyypillisimpiä LWC- paperin käyttökohteita ovat aikakauslehdet, suoramainontatuotteet ja myyntiluettelot. Kuvassa 2 on esitetty tuotteita, joihin LWC-paperia käytetään. /4/



Kuva 2. LWC-paperin käyttökohteita. /11/

LWC-paperin neliömassa on 35-70 g/m², josta päällystyksen osuus on 4-12 g/m² per puoli. LWC-paperi valmistetaan pääosin mekaanisesta massasta 45-80 %:n osuudella ja pitkäkuituisesta, valkaistusta havupuusellusta 55-20 %:n osuudella. Päällystys voidaan suorittaa joko erillisellä päällystyskoneella tai paperikoneen yhteydessä tapahtuvana on-machine-päällystyksenä. /4/

Päällystettävältä pohjapaperilta vaaditaan hyvää lujuutta, jotta se kestää päällystysprosessin aikaiset rasitukset. Mekaanisen massan osuus on tästä johtuen hieman pienempi kuin päällystämättömissä lajeissa. Pohjapaperiin ei välttämättä annostella täyteainetta, koska pohjapaperin tuhkapitoisuus on 3-6 % raaka-aineena käytetyn päällystetyn hyllyn vuoksi. Tuhkapitoisuuden maksimoimiseksi lisätään usein kuitenkin tuoretta täyteainetta aina 10 %:iin saakka. /4/

2.1.3. MWC-paperi

MWC-paperi (Medium Weight Coated) on tyypillisesti kaksoispäällystetty puupitoinen painopaperi. Raaka-aineiltaan se on hyvin lähellä LWC-paperia, mutta raskaampaa. Neliömassa on tyypillisesti 70-130 g/m². Päällystysmäärä on yhteensä 12-24 g/m² per puoli. Kaksoispäällystys antaa paperille homogeenisemmän ja tiiviimmän rakenteen kuin kertapäällystys. Myös vaaleutta on helppo parantaa kaksoispäällystyksellä. Esipäällysteissä käytetään usein vaaleata kalsiumkarbonaattia, joka antaa hyvän pinnan pintapäällysteen ankkuroitumiselle ja lisää paperin vaaleutta. Kuvassa 3 on aikakauslehtiä ja mainoslehtiä, joiden materiaalina on MWC-paperi. /4/



Kuva 3. MWC-paperin käyttökohteita. /11/

Jokainen päällystyskerta lisää katkoriskiä tuotannossa. Myös paperin lujuusominaisuudet ja venymä ovat kriittiset moninkertaisen kostutuksen ja kuivatuksen vuoksi. /4/

2.2. Puuvapaat paperilajit

Puuvapaat painopaperit eli hienopaperit valmistetaan useimmiten 100 prosenttisesti sellusta. Pitkäkuitusellua käytetään kuten puupitoisillakin lajeilla lähinnä armeerausmassana ja lehtipuuselluilla vaikutetaan tuotteen optisiin ominaisuuksiin ja painettavuuteen. Lehtipuusellun osuus on 80-20 % ja havupuusellun osuus 20-80 %. Täysin puuvapaat paperit eivät sisällä ligniiniä eivätkä juuri kellastu UV-valossa. Niiden arkistoitavuus on hyvä, sillä neutraalissa paperinvalmistusprosessissa valmistettu karbonaattipitoinen paperi säilyttää lujuutensa ja vaaleutensa hyvinkin pitkään. Puuvapaiden paperien neliömassa-alue on laaja, ohuimmat ovat alle 70 g/m^2 ja raskaimmat jopa yli 200 g/m^2 . /4/

Päällystämätöntä paperia (UWF = Uncoated Wood Free) käytetään toimistopapereina lähinnä kirjoitus-, tulostus- tai kopiotarkoituksiin. Päällystämättömän kopiopaperien standardineliömassa Pohjoismaissa on 80 g/m^2 . Kuvassa 4 on esitetty eri valmistajien kopiopapereita. /4, 11/



Kuva 4. Eri valmistajien kopiopapereita. /11/

Päällystettyjä papereita (CWF = Coated Wood Free) käytetään korkealuokkaisissa paino- ja mainosjulkaisuissa. Päällystettyjen kopiopaperien neliömassa on useimmiten 100 g/m^2 . /4, 11/

2.3. Kirjekuoripaperi

Kirjekuoret valmistetaan niitä varten kehitetyistä paperilaaduista, joista valkoinen kirjekuoripaperi on lähellä kopiopaperilaatuja. Markkinoita hallitsee valkoinen kirjekuoripaperi, jonka osuus on noin 70 %. Lisäksi sekä voimapaperin, uusiopaperin että erikoispaperin markkinaosuus on noin 10 %. Kirjekuoren neliömassat vaihtelevat $70\text{--}120 \text{ g/m}^2$, yleisin on $80\text{--}90 \text{ g/m}^2$. Kuvassa 5 on eri kokoisia ja mallisia kirjekuoria. /3/



Kuva 5. Kirjekuoria. /11/.

Kirjekuoripaperilta vaaditaan hyvää käyttäytymistä koko ketjussa kirjekuoren valmistuksesta valmiin kirjekuoren automaattiseen postitukseen ja postin automaattijakeluun.

/3/

Paperi ei saa pölytä ja pinnan pitää olla sileä, että painettavuus olisi hyvä. Hyvä ajettavuus edellyttää paperilta hyvää jäykkyyttä, tiiviyyttä, mittapysyvyyttä, suoruutta ja liimattavuutta. Paperilla täytyy olla myös hyvä opasiteetti postisalaisuuden säilyttämiseksi. /3/

2.4. Irrokepaperi

Irrokepaperia käytetään pääasiassa tarralaminaatin taustapaperina eli release-paperina. Irrokepaperi päällystetään jalostuksessa silikonilla, jonka pinnalle tulevat liima ja taraksi painettava stanssattava etikettipaperi. Irrokepaperi on tyypillisesti valmistettu kemiallisesta massasta, sen toinen puoli on pintaliimattu ja voimakkaasti superkalanteroitu. /4/

Massan valmistuksessa käytetään pitkäkuitusellua tyypillisesti 30-60 % ja loppuosa voi olla lyhytkuitusellua, osin CTMP:tä (Chemi-Thermo Mechanical Pulp) tai erikoismassaa kuten SAP-sellua (Semi Alkalic Pulp).



Kuva 6. Tarroja. /11/

Irrokepaperin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on sen pinnan sileys tarran puolelta. Jos pinta on liian karhea, silikoni ei kykene täysin peittämään paperin pintaa ja irrotusominaisuudet heikkenevät. Tyypillinen silikonipinta on yleensä alle 1 g/m^2 . Irrotuskemikaaleina voidaan käyttää myös muita aineita kuin silikonia, mutta ne eivät ole kovin yleisiä. Kuvassa 6 on tarrarullia, joiden taustapaperin on käytetty irrokepaperia.
/3, 4/

2.5. Taivekartonki

FBB-kartonkia (FBB = Folding Box Board) eli taivekartonkia käytetään elintarvike-, kosmetiikka-, alkoholi-, lääke- ja savukepakkauksiin sekä erilaisten kotitaloustavaroitten pakkaamiseen. Taivekartongilta vaaditaan sekä ulkonäköön liittyviä että toiminnallisia ominaisuuksia. Suojauskyvyn kannalta pakkausten on oltava riittävän jäykkiä,

etteivät alimmat laatikot litisty pakkattaessa pakkauksia päällekkäin. Etenkään elintarvikepakkaus ei saa antaa vierasta makua tai hajua tuotteeseen, eikä siitä saa myöskään siirtyä tuotteeseen mitään haitallista ainetta. Jäykkyyden ja puhtauden lisäksi pakkauksen ulkonäkö on erittäin tärkeä. Pakkaukselta vaaditaan korkealaatuista painettavuutta, korkeaa vaaleutta sekä hyvää nuutattavuutta eli siistejä saumoja taitekohdissa. Kuvasessa 7 on tyypillisiä taivekartonkipakkauksia. /4/

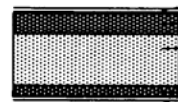


Kuva 7. Taivekartongista valmistettuja pakkauksia. /11/

Taivekartongin neliömassa-alue on 150-350 g/m². Taivekartonki koostuu tavallisesti 2-9 kerroksesta, joista pintakerroksen neliömassa on 45-60 g/m² ja taustan 25-30 g/m². Eri neliömassaisia kartonkeja valmistettaessa pidetään taustan ja pintakerroksen neliömassat lähes vakioina ja keskikerroksen neliömassoilla muutetaan tuotteen kokonaisneliömassaa. /1, 4/

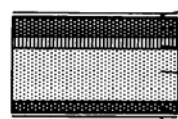
Sisäpakkaukartongit:

FBB
Taivekartonki
(Skandinaavinen)



- Kaksoispäällyste
- Pintakerros: valkaistu havupuu-/ lehtipuuosella
- Keskikerros: mekaaninen massa GW, PGW, CTMP sekä oma hylky
- Taustakerros: valkaistu havupuu-/ lehtipuuosella
- Taustan päällyste (vaihtoehtoinen)

WLC
Valkopintainen
laatikkokartonki



- Kaksoispäällyste
- Pintakerros: valkaistu havupuu-/ lehtipuuosella, valkoinen leikkuuhylky
- Suojakerros: DIP (siistausmassa), valkoinen leikkuuhylky
- Keskikerros: OCC (ruskea kiertokuitu), sekajäte sekä oma hylky
- Taustakerros: sellu, mekaaninen massa, DIP
- Taustan päällyste (vaihtoehtoinen)

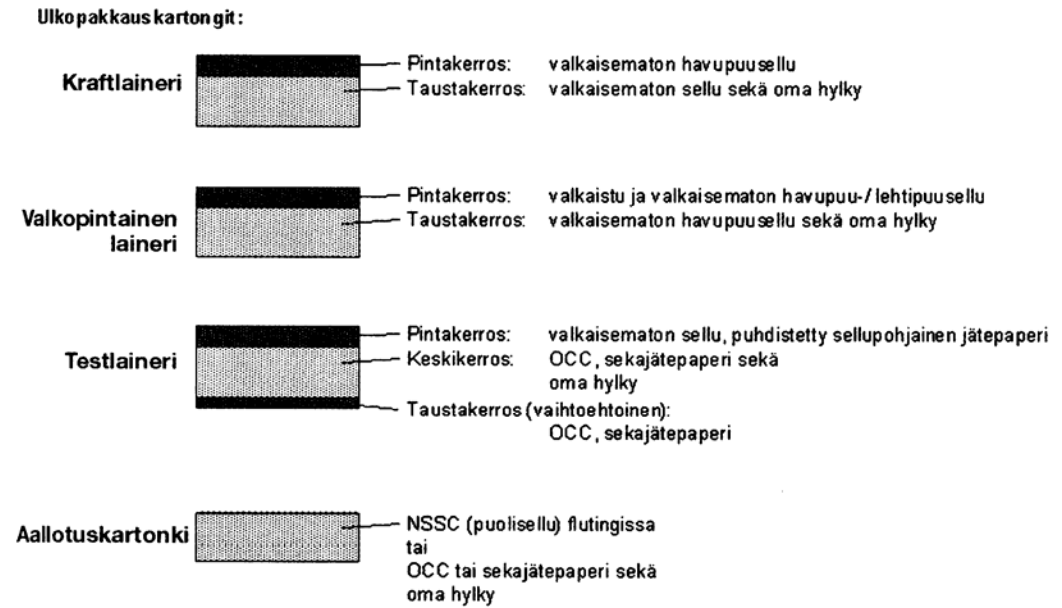
Kuva 8. FBB- ja WLC-kartongin rakenne. /4/

Taivekartongin valkaistu pintamassa on jauhettu suhteellisen pitkälle hyvän painettavuuden, sileyden ja jäykkyyden saavuttamiseksi. Sileyttä voidaan lisäksi parantaa jenkkihiilloituksella kuivatuksen yhteydessä. Koska jenkkihiilloituksessa ei kartonkiin kohdistu puristusta, bulkki, eli paperin ominaistilavuus, ja siten jäykkyys ovat säilytettävissä sileyden paranemisesta huolimatta. Soft-kalanteri kuuluu nykyään FBB-koneen vakiovarustukseen. Taivekartongin ulkopinta on kahteen tai kolmeen kertaan pigmenttipäällystetty, ja myös taustapinnalla on päällystekerros tai vähintään pintaliimaus. /4/

Kuvassa 8 on kuvattu FBB-kartongin ja WLC-kartongin (WLC = White Lined Chipboard) rakenne. WLC-kartonkia käytetään pääosin samoihin tarkoituksiin kuin taivekartonkia, mutta sisältämänsä uusiomassan vuoksi sitä ei kelpuuteta kaikkiin rasiatuotteisiin. /4/

2.6. Kraftlaineri

Kraftlaineri on yleensä valmistettu kahdesta kerroksesta, jolloin pintakerros suotauteetaan runkokerroksen päälle. Kartongin pinnan tulee olla luja ja hankausta kestävä. Kraftlainerissa on yleensä valkaisemattomasta suursaantosulfaattisellusta (mänty) valmistettu runkokerros ja pidemmälle keitetystä sulfaattisellusta tehty sileämpi pintakerros painatustuloksen optimoimiseksi. Kraftlainerin neliömassa-alue on 110-330 g/m². /1, 4/



Kuva 9. Ulkopakkauskartonkien rakenteita. /4/

Ruskean kraftlainerin lisäksi on myös muita lainerilaatuja kuten valkopintainen laineri, valkaistu laineri ja marmoripintaa matkiva pilvilaineri. Valkopintaista laineria valmistetaan yhä enemmän päällystettynä. Kuvassa 9 on ulkopakkauskartonkien rakenteita. /1/



Kuva 10. Kraftlainerin käyttökohteita. /11/

Kraflaineria käytetään pääasiassa aaltopahviin, mutta myös muihin tarkoituksiin, esimerkiksi pesupulveripakkauksiin ja pullonkantokartonkeihin. Kuvassa 10 on kuvattu kraflaineri käyttökohteita. /1, 4/

3. PAPERIN LIIMAUS JA PÄÄLLYSTYS

Paperinvalmistuksessa liimauksella tarkoitetaan paperin kemiallista käsittelyä, jonka tavoitteena on

- vähentää nesteabsorptiota (hydrofobiliimat)
- lisätä kuivan paperin lujuutta (kuivalujaliimat)
- lisätä märän paperin lujuutta (märkälujaliimat).

Paperin erilaiset loppukäyttötarkoitukset ovat johtaneet siihen, että paperinvalmistajat joutuvat parantamaan edellä mainittuja ominaisuuksia kemiallisesti. Nämä käyttäjien vaatimat ominaisuudet pakottivat jo ensimmäiset paperinvalmistajat käyttämään liimausta paperinvalmistuksessa. Ennen ajanlaskumme alkua kiinalaiset kastoivat paperin tärkkelysliuokseen. Hartsiliimaus tuli yleiseksi 1800-luvun alkupuolella. Kyseiset liimat ovat yhä laajalti käytössä, tosin kehittyneemmässä muodossa. Vaikka markkinoille on tullut synteettisiä liimoja, nämä perinteiset liimat ovat useissa paperitehtaissa yhä suurin raaka-ainekustannuserä puun jälkeen. /1/

Liimaus voidaan tehdä joko massaliimauksena tai pintaliimauksena. Massaliimauksessa liima-aineet lisätään sulpun joukkoon ennen perälaatikkoa. Tällöin aineet leviävät tasaisesti sulpun joukkoon. Massaliimauksessa liima-aineet ovat myös valmiissa paperissa ja kartongissa tasaisesti jakautuneina. /1/

Paperin pintaliimauksen päätehtävänä on parantaa pinta- ja vetolujuutta. Vaikutus saadaan aikaan lisäämällä pintaan kuitujen sitoutumista edistäviä kemikaaleja (tärkkelys, CMC, PVA, jne.). Pinnan huokosrakennetta muuttaessaan pintaliimaus samalla vaikuttaa paperin sorptio-ominaisuuksiin. Sitoutumista edistävien kemikaalien mukana

pintaan voidaan annostella hydrofobisuutta lisääviä kemikaaleja. Tarkastelu keskittyy nimenomaan hydrofobiliimaukseen.

3.1. Hydrofobiliimaus

Paperi ja kartonki ovat luonnostaan hydrofiilisiä selluloosakuitujen pinnan suuresta ominaisenergiasta johtuen, jolloin ne sitovat itseensä vettä, ensin pinnalle ja sitten huokosten kautta läpi koko rainan. Vesi imeytyy neljällä eri mekanismilla:

- painepetraatiolla
- kapillaariabsorptiolla
- veden diffuusiolla
- höyryn diffuusiolla.

Käytännössä näistä nopeimmat ja merkityksellisimmät ovat kaksi ensimmäistä. Jos imeytyminen huokosiin on estetty kovalla hydrofobiliimauksella, paperi vettyy silti hiljalleen juuri diffuusion vaikutuksesta. /1, 4/

Hyvin liimatussa paperissa kontaktikulma on yli 90° . Kostuminen on silloin melko vähäistä, eikä nesteellä ole taipumusta tunkeutua huokosiin. Jos kosketuskulma on alle 90° , kostuminen on voimakasta. Tähän palaamme kohdassa 4.2.2. /1/

Rainan luontainen hydrofiilisuus on sitä suurempaa, mitä vähemmän hydrofobisia osasia eli ligniiniä ja uuteaineita massassa on. Valkaistu sellu on hydrofiilisempää kuin valkaisuamaton, ja mekaaniset massat ovat hydrofobisempia kuin kemialliset massat. /4/

Paperin hydrofobisuutta tarvitaan paperin käsittelyssä itse tehtaalla, paperin jalostuksessa ja loppukäytössä. Taulukossa 1 esitetään syitä hydrofobiliimauksen käyttöön eri paperi- ja kartonkilajeilla.

Taulukko 1. Hydrofobiliimauksen käyttökohteita ja syitä. /4/

Paperi- tai kartonkilaji	Syy käyttöön
Kaikki puuvapaat paperit	Sellu on liian hydrofiilistä, pintaliiman tai päällysteen vesi, veden läikkyminen paperiin loppukäytössä, mustesuihku- ja offset-painatuksen veden absorptio säättö
Kirjekuori ja kirjoituspaperi	Tussien ja mustekynien käyttö
Offsetpainopaperit	Vesi painatuksessa, pölyäminen, painovärin absorptio
Mustesuihkupaperit	Vesiliukoisia värejä, värin absorptio ja leviäminen
Setelipaperi	Setelin joutuminen vahingossa veteen, pintaliimaus
Pakkauspaperit ja ulkopakkaukset	Hidastaa sade- tai kondenssiveden imeytymistä, optimoida liiman absorptio aallotuksessa ja aaltopahvin liimauksessa
Nestepakkaukset	Nesteen imeytymisen esto sivusta sauman kohdalla
Kotelokartongit	Kosteaa sisältö, kondenssivesi, sivuliimauksen säättö, painatus

Hydrofobiliimaus tehdään tavallisesti massaliimauksena, mutta hydrofobiliimaa käytetään yhä enemmän myös pintaliiman seassa.

Massaliimat jaetaan kahteen luokkaan: hartsiliimoihin ja neutraaliliimoihin. Hartsiliimoja käytetään yleensä happamissa oloissa ja neutraaliliimoja lähinnä neutraaleissa ja alkalisissa oloissa.

Neutraaliliimat ovat synteettisiä, selluloosan OH-ryhmien kanssa reagoivia aineita. Näin niitä sanotaan myös reaktiivisiksi liimoiksi. Haittana tosin on se, että ne reagoivat myös veden OH-ryhmien kanssa eli hydrolysoituvat. Näin liimausvaikutus menee hukkaan ellei retentio ole hyvä. Paljon käytettyjä neutraaliliimoja ovat alkyyliketeneidimeeri (AKD) ja alkyleenimeripihkahappoanhydridi (ASA). /4/

Hartsiliimat ovat luonnonhartseista valmistettuja ja jalostettuja aineita. Ne tuotiin ennen tehtaalle saippuoituina liimoina yleensä nestemäisessä muodossa. Nykyisin käytetään usein kationisia dispersioliimoja. Liima kiinnitetään kuidun pintaan alunan, alumiinin tai polyalumiinikloridin (PAC) avulla riippuen pH-alueesta. Helpointa ja halvinta on alunan käyttö, mutta samalla kiertovesien ja massasysteemin pH on alunan vaikutuksesta happamalla puolella. Tämä estää suuren karbonaattimäärän käytön täy-

teaineena ja päällystyspigmenttinä. Tämän vuoksi on hartsiliimojen osuus jo vuosikymmeniä pienentynyt. /4/

3.2. Kuivalujaliimaus

Kuivalujaliimoilla pyritään nimenmukaisesti parantamaan kuivan paperin lujuusarvoja. Kuivalujaliimat ovat sideaineita, joilla parannetaan raaka-aineiden, erityisesti täyteaineiden, sitoutumista kuituverkostossa, jolloin paperin lujuusominaisuudet paranevat. Kuivalujaliimoja käytetään yleisesti puuvapaissa papereissa ja etenkin kiertokuiduista tehdyissä kartongeissa. Puupitoisissa papereissa saatetaan nimenomaan offset-painatukseen meneviin tuotteisiin lisätä kuivalujaliimaa. /1, 4/

Taulukossa 2 kerrotaan massatärkkelyksen aiheuttamat toivotut muutokset ja selitykset eduille.

Taulukko 2. Massatärkkelyksen käytön edut. /4/

Ominaisuus	Toivottu muutos	Selitys
Veto- ja puhkaisulujuus	Paranee	Lisää sidoksia, parempi hienokuidun retentio
Pintalujuus, pölyämättömyys	Paranee	Lisää sidoksia, parempi hienokuidun retentio
Palstautumislujuus	Paranee oleellisesti	Saadaan sidoksia rainan keskelle (vrt. pintaliima pinnassa)
Jäykkyys	Paranee hiukan	Lisää sidoksia; paksuus säilyy lähes entisenä
Retentio, tasapuolisuus	Paranee	Kuidut, täyteaineet ja hydrofobiliimat yleensä anionisia

Taulukossa 3 kerrotaan massatärkkelyksen aiheuttamat haitalliset muutokset ja selitykset haitallisuudelle.

Taulukko 3. Massatärkkelyksen käytön haitat. /4/

Ominaisuus	Haitallinen muutos	Selitys
Formaatio	Huononee hiukan	Vedenpoisto vaikeutuu, kuidut flokkaantuvat
Repäisylujuus	Pienenee hiukan	Sidokset eivät aukea vaan kuidut katkeavat
Mittapysyvyys	Huononee hiukan	Suurempi kuivumiskutistuma
Viiraosan vedenpoisto	Huononee	Veden viskositeetti ja rainan vedenpidätyskyky kasvavat
Puristimen jälkeinen kuiva-aine	Alenee	Huovat tukkeutuvat, veden viskositeetti kasvaa
Koneen ajettavuus	Huononee	Kap-lasku, likaantuminen, lima, reiät, märän pään kemia
Valmistuskustannukset	Yleensä kasvavat	Tärkkelyksen hinta, kap-lasku, käyttö-ongelmat

Kuivalujaliimoina käytetään valtaosin luonnosta saatavia liukoisia sideaineita, joista yleisin on selluloosamolekyylä muistuttava tärkkelys. Muita harvemmin käytettäviä kuivalujaliimoja ovat erilaiset mannogalaktaanit sekä karboksimeetyliselluloosa (CMC). Myös synteettisiä kuivalujaliimoja ja lateksidispersioita käytetään jonkin verran. /4/

3.3. Märkälujaliimaus

Paperin ja kartongin kastuessa lujuus putoaa murto-osaan kuivalujuudesta, koska suorat kuitujen väliset vetysidokset korvautuvat kuidun ja veden välisillä vetysidoksilla. Märkälujuus mitataan yleisimmin märän arkin vetolujuutena. Jos tämä lujuus on suurempi kuin 15 % kuivalujuudesta, sanotaan paperin olevan märkälujaa ja siihen on todennäköisesti käytetty märkälujaliimaa. /1, 4/

Paperin kastuessa lujuus heikkenee, koska vesi vahvasti polaarisenä liuottimena pysyy purkamaan kuitujen väliset vetysillat. /1/

Hyvä märkälujuus ja samalla rasvankesto saadaan rikkihappokäsittelyllä, jolla käsiteltä paperia kutsutaan pergamenttipaperiksi. Märkälujuutta voidaan parantaa myös

käyttämällä pitkiä erikoiskuituja. Tällöin ei tarvita erillistä kemiallista käsittelyä. Tällaista paperia on esimerkiksi teepussipaperi, joka sisältää maailman ehkä parasta ja kalleinta paperinvalmistuksessa käytettävää kuitua, Manila-hamppua. /4/

Tavallisin tapa lisätä märkälujuutta on kuitenkin erikoiskemikaalien lisääminen tuotantoprosessin määrässä päässä. Märkälujaliimat ovat synteettisiä, suhteellisen pienimolekyylisiä polymeerejä, jotka tuodaan tehtaalte dispersioina. Ne sitoutuvat kuituihin ja verkkoutuvat suurimolekyylisiksi polymeereiksi. Näin ne vaikeuttavat kuidun turpoamista ja estävät vetysidosten aukeamista. /4/

3.4. Päällystys

Päällystykseen tehtävänä on ensisijaisesti parantaa paperin painettavuutta ja ulkonäköä. Vaikka päällystyspigmentit yhdessä sideaineen kanssa muodostavat vain hyvin ohuen kerroksen, niillä saadaan painoalusta, joka on sileydeltään ja sorptio-ominaisuuksiltaan pelkkää kuituverkostoa oleellisesti parempi useimpiin painatustarkoituksiin. /1, 4/

Päällystyskerroksessa huokoskoko ja huokostilavuus on paljon pienempi kuin pohjapaperissa, jolloin painoväriin nestefaasi tunkeutuu päällystettyyn paperiin paljon hitaammin kuin päällystämättömään. Tämä johtaa pienempään värintarpeeseen sekä parempaan painatustulokseen ja kiiltoon. /1/

Paperi voidaan päällystää muillakin tavoin kuin pigmenttipäällysteellä. Tällaisia ovat sideaineet, vahat ja muovit sekä näiden yhdistelmät.

4. NÄYTTEET JA MITTAUSMENETELMÄT

4.1. Tutkittavat näytteet

Tutkimukseen on valittu kymmenen näytettä. Valinta on tehty yleisimpien paperi- ja kartonkilaatujen joukosta erilaisten ominaisuuksien perusteella. Nämä paperi- ja kartonkilajit olivat:

- SC-paperi
- LWC-paperi
- MWC-paperi
- WF-pohjapaperi
- päällystämätön kopiopaperi
- päällystetty kopiopaperi
- kirjekuoripaperi
- irrokepaperi, eli release-paperi
- taivekartonki
- kraftlaineri.

Taivekartongin ja kraftlainerin tutkimiseen on käytetty kahta eri laatua. Näytteistä ei ollut tarpeeksi suurta palaa, että kaikki mittaukset olisi saatu samasta laadusta.

4.2. Liimausasteen mittaamiseen käytetyt menetelmät

Liimausasteen määrittämiseen soveltuvia menetelmiä on useita. Tässä työssä keskitytään viiteen mittaamenetelmään, joissa kaikissa käytetään hyväksi paperin veden absorptiota. Kaikki menetelmät soveltuvat Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorion laitteille.

Paperilaboratorion laitteilla mahdollisia veden absorptioon perustuvia liimausasteen mittaukseen käytettäviä menetelmiä löytyi viisi kappaletta. Näistä viidestä menetelmästä kaksi on tehty täysin standardin mukaisesti ja yksi perustuu laitevalmistajan ohjeisiin ja kaksi on sovellettu standardin mukaisesta menetelmästä.

Mittausmenetelmistä yleisimmin käytettyjä ovat Cobbin menetelmä ja kontaktikulman mittaus. Muut mukana olleet menetelmät ovat Klemmin menetelmä, drop-testi ja curl-testi.

4.2.1. Cobbin menetelmä

Cobb-testi on standardin SCAN-P12:64 mukainen testimenetelmä, jossa paperin vesiansorptio (Cobb-arvo) määritetään vesimääränä, jonka paperin pinta tietyssä ajassa, yleensä 60 sekuntia, absorboi sitä tasaisesti peittävästä 1 cm:n korkuisesta vesipatsaasta.

Cobb-testiin löytyy myös standardien TAPPI T 441 om-90, ISO 535 ja EN 20535 mukaiset ohjeet. Eri standardien välillä saattaa olla pieniä eroja. SCAN-P12:64 valittiin standardiksi, koska se on yleisimmin käytössä Suomessa. Cobb-testiin käytetyistä laitteista on kuva liitteessä 12. /6/

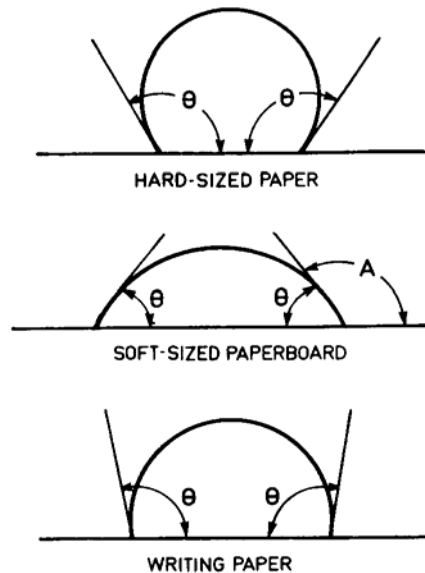
Menetelmä on sopiva sellaisille paperi- ja kartonkilaaduille, joita vesi ei läpäise valittuna koeaikana. Menetelmä soveltuu erityisesti hydrofobiliimatuille papereille sekä liimaamattomille ja liimatuille kartongeille.

4.2.2. Kontaktikulma

Kontaktikulman mittaukseen löytyy standardien SCAN-P18:66, TAPPI T 558 pm-95 mukaiset ohjeet. Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorion menetelmä (Pocket Goniometri PG-3) perustuu laitevalmistajan ohjeeseen. Goniometrillä on kuva liitteessä 13. /6/

Kontaktikulmaa mitattaessa videokamera kuvaa näytteelle laitettua vesipisaraa, ja tietokone mittaa näytteen ja pisaran välisen kontaktikulman ja sen muutokset määrittetyssä ajassa.

Kuvassa 11 on kuvattu liimauksen vaikutusta kontaktikulmaan. Liimatun paperin pinnalla pisara pitää muotonsa. Liimaamattomassa paperissa pisara leviää paperin pinnalle.



Kuva 11. Kontaktikulma pisaran ja paperin välillä. /2/

Jos kontaktikulma on pienempi kuin 90° , paperi absorboi vettä, jolloin paperia ei ole hydrofobiliimattu. Jos kulma on suurempi kuin 90° , paperi on hydrofobiliimattu. /1, 7/

4.2.3. Klemmin menetelmä

Klemmin menetelmä on standardin SCAN-P13:66 mukainen testimenetelmä. Menetelmään löytyy myös ISO 8787 –standardin mukaiset ohjeet. Standardissa TAPPI T 441 om-90 (Cobb-testi) on myös kuvattu Klemmin menetelmä. /5/

Klemmin menetelmässä mitataan vedenimukorkeutta, eli korkeus, jolle vesi nousee kymmenessä minuutissa pystysuoraan ripustetussa paperiliuskassa, jonka alareuna on upotettu veteen 10 mm:n syvyyteen. Klemm-testiin käytetyt laitteet on kuvattu liitteessä 14.

Menetelmä sopii erityisesti imupapereille ja muille liimaamattomille papereille. Niillä on niin suuri vedenabsorptiokyky, ettei sitä voi mitata tyydyttävän tarkasti Cobbin menetelmän avulla.

4.2.4. Drop-testi

Drop-testi on standardista TAPPI T 432 om-94 sovellettu testimenetelmä. Standardin mukainen testi on tarkoitettu erittäin imukykyisille papereille, joilla veden absorptioaika, eli pisaran imeytymiseen kulunut aika, on alle 120 sekuntia. Tutkituista näytteistä vain yhdellä absorptioaika oli alle 120 sekunnin.

Sovellettu drop-testi toteutettiin pudottamalla noin 0,01 ml vesipisara 20 millimetrin etäisyydeltä paperin pinnasta paperille ja mittaamalla pisaran imeytymiseen kulunut aika sekunteina. Alustana toimi työtaso eikä reiällinen alusta, kuten standardin mukaisessa ohjeessa, koska oletin imeytymisen olevan niin hidasta, ettei näytteen alla oleva pinta vaikuta tuloksiin. Menetelmään käytetyt laitteet on kuvattu liitteessä 15.

Drop-testi on läheistä sukua kontaktikulman mittaukselle. Kontaktikulmaa mitattaessa tutkitaan, kuinka pisaran muoto muuttuu tietyssä ajassa, kun drop-testissä mitataan aika, joka kuluu pisaran imeytymiseen.

4.2.5. Curl-testi

Curl-testi on standardista TAPPI T 466 cm-82 sovellettu testimenetelmä. Curl-testi ei sovellu erittäin absorptiokykyisille paperilaaduille, koska paperi ei ehdi kipuristyä ennen täydellistä vettymistä.

Kelluvan paperi- tai kartonkinäytteen reunat käpristyvät ylöspäin paperin konesuunnassa. Kun veden tunkeutuminen näytteen läpi on puolivälissä, näyte alkaa suoristua jälleen. /6/

Mittaus suoritettiin leikkaamalla 10 kappaletta 40 x 40 mm suuruista näytettä jokaisesta tutkittavana olleesta paperi- ja kartonkilajista. Näyte pudotettiin astiassa olevan ve-

den pinnalle, jolloin paperi alkoi käpristyä. Mitattiin kokonaisaika, mikä kului paperin käpristymiseen vedessä ja suoristumisessa takaisin vedenpinnan suuntaiseksi. Curl-testissä käytetyt laitteet on kuvattu liitteessä 16.

Tulokset ilmoitetaan 0,2 sekunnin tarkkuudella, jos käpristymisaika on alle 10 sekuntia ja sekunnin tarkkuudella, jos käpristymisaika on yli 10 sekuntia.

4.3. Näytteiden esikäsittely

Näytteet ilmastoitiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorion kosteus-huoneessa vallitsevissa olosuhteissa, jotka perustuvat standardiin SCAN-P 2. Jokaisesta paperi- ja kartonkinäytteestä mitattiin perusominaisuudet, kuten neliömassa, paksuus ja bulkki. Näiden lisäksi mitattiin pinnan karheus ja kiilto yläpuolen ja alapuolen määrittämiseksi sekä vetolujuus ja repäisyjuuus kone- ja poikkisuunnan määrittämiseksi.

Paperi- ja kartonkinäytteistä mitattiin seuraavat ominaisuudet:

- neliömassa g/m^2 , SCAN-P 6:75
- paksuus μm , SCAN-P 7:75
- bulkki cm^3/g
- karheus PPS μm , SCAN-P 76:65
- kiilto %, Zehntner ZLR 1050, 75° kulmalla
- vetolujuus kN/m , SCAN-P 76:65
- repäisyjuuus mN , SCAN-P 11:73.

Käytetyt mittausmenetelmät ovat yleisesti käytössä Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa.

5. MITTAUSTULOKSET

5.1. Näytteiden neliömassa, paksuus ja bulkki

Jokaisesta näytteestä mitattiin neliömassa ja paksuus standardien mukaisesti. Neliömassan ja paksuuden avulla laskettiin bulkki.

Osassa näytteistä valmistajan ilmoittama neliömassa oli tiedossa. Valmistajan ilmoittamat neliömassat olivat seuraavat:

- SC-paperi, 60 g/m²
- LWC-paperi, 70 g/m²
- MWC-paperi, 115 g/m²
- päällystämätön kopiopaperi, 80 g/m²
- päällystetty kopiopaperi, 100 g/m²
- kirjekuoripaperi, 115 g/m²
- taivekartongit
 - Tako Ultra CX –taivekartonki, 215 g/m²
 - Tako CX Lite –taivekartonki, 200 g/m²
- kraftlaineri
 - Kemi Brown –kraftlaineri, 200 g/m² ja 250 g/m².

WF-pohjapaperin ja irrokepaperin neliömassat eivät olleet etukäteen tiedossa.

Bulkki laskettiin kaavalla:

$$Bulkki = \frac{1}{Tiheys} = \left(\frac{Neliömassa}{Paksuus} \right)^{-1} = \left(\frac{\left[\frac{g}{cm^2} \right]}{[cm]} \right)^{-1} = \left[\frac{cm^3}{g} \right] \quad (1)$$

Paperi- ja kartonkinäytteistä mitatuista neliömassoista ja paksuuksista laskettiin keskiarvot, jotka on ilmoitettu taulukossa 4.

Taulukko 4. Tutkittujen näytteiden neliömassa, paksuus ja bulkki.

	SC	LWC	MWC	WF-pohjap.	Kopiopaperi	Pääll. kopiop.	Kirjekuorip.	Release	Tako ultra CX	Tako CX Lite	Kemi Brown
Neliömassa g/m ²	59	74	115	57	83	99	114	57	209	198	241
Paksuus mm	0,052	0,056	0,092	0,083	0,097	0,104	0,162	0,057	0,303	0,291	0,321
Bulkki cm ³ /g	0,9	0,8	0,8	1,5	1,2	1,1	1,4	1,0	1,5	1,5	1,3

Taulukossa 4 on laskettuna myös bulkki kaavan 1 avulla tutkituille paperi- ja kartonkinäytteille. Liitteessä 1 on esitetty neliömassan ja paksuuden mittaustulokset.

5.2. Ylä- ja alapinnan määrittäminen

Jokaisesta paperi- ja kartonkilaadusta mitattiin pinnan karheus (PPS = Parker Print Surf)), kiilto, vetolujuus ja repäisylujuus. Pinnan karheuden ja kiillon perusteella määritettiin sileämpi pinta yläpinnaksi ja karheampi alapinnaksi, koska sileämpi puoli on yleensä se, joka tulee pakkauksissa ulkopinnaksi (painettavaksi).

Nopealla paperikoneella karhea puoli on yleensä yläpuoli, koska puristinosa sisältää kolme nippiä, joissa kussakin on huopa yläpuolta vasten. Lisäksi ensimmäisessä nipissä on erillinen alapuolinen huopa. Kaksi viimeistä nippiä, ei alapuolista huopaa, aiheuttavat toispuolisuuden. /4/

Taulukossa 5 on ilmoitettu paperi- ja kartonkinäytteistä mitattujen karheuksien ja kiiltojen keskiarvot. SC-, LWC-, MWC-paperilla sekä WF-pohjapaperilla, päällystämättömällä kopiopaperilla, päällystetyllä kopiopaperilla, release-paperilla (irrokepaperi) ja kraftlainerilla toispuolisuus oli vähäistä. Kraftlainerilla sileämpi puoli oli myös tummempi kuin karheampi puoli.

Kirjekuoripaperin ja taivekartongin puolet erosivat täysin toisistaan, jolloin valinta oli helpompi.

Taulukko 5. Paperi- ja kartonkinäytteiden pintojen karheus ja kiilto.

	SC	LWC	MWC	WF-pohjap.	Kopiopaperi	Pääll. kopiop.	Kirjekuori	Release	Tako ultra CX	Tako CX Lite	Kemi Brown
Pinnan karheus (PPS) μm											
- yläpinta	0,97	0,73	0,83	6,67	4,74	2,82	4,49	1,49	0,92	0,92	8,07
- alapinta	1,33	0,75	0,88	8,06	4,90	2,91	8,80	1,62	7,79	7,35	8,56
Kiilto %											
- yläpinta	34,1	68,9	66,5	5,1	5,2	22,1	22,2	41,3	57,0	54,5	5,4
- alapinta	36,4	60,2	64,8	3,3	6,0	15,4	5,2	48,9	5,6	5,5	4,9

Pääosin pienemmän pinnankarheuden omaavat puolet näytteestä olivat myös kiiltävämpiä, mutta ei aina. Näytteissä, joissa karheus ja kiilto menivät ristiin, yläpinta valittiin karheuden perusteella. Liitteessä 2 on mittaustulokset pinnan karheudesta ja liitteessä 3 kiillosta.

5.3. Kone- ja poikkisuunnan määrittäminen

Vetolujuuden ja repäisyjuuden perusteella määritettiin kone- ja poikkisuunta niin, että konesuuntaan (ks) on suurempi vetolujuus ja pienempi repäisyjuus, ja poikkisuuntaan (ps) pienempi vetolujuus ja suurempi repäisyjuus.

Vetolujuudeksi laskettiin viiden mittauksen keskiarvo. Vetolujuus mitattiin sekä konesuuntaan, että poikkisuuntaan. Repäisyjuus on vain yhden mittauksen tulos, mutta se vahvistaa vetolujuuden avulla tehdyn määrittämisen. Taulukossa 6 on ilmoitettu mitattujen vetolujuuksien keskiarvot, sekä repäisyjuudet.

Taulukko 6. Paperi- ja kartonkinäytteiden veto- ja repäisyjuudet.

	SC	LWC	MWC	WF-pohjap.	Kopiopaperi	Pääll. kopiop.	Kirjekuori	Release	Tako ultra CX	TAKO CX Lite	Kemi Brown
Vetolujuus kN/m											
- ks	2,81	3,64	6,43	4,64	6,86	8,9	8,82	8,57	16,79	13,68	29,89
- ps	1,19	1,38	2,23	2,5	2,7	4,54	4,43	2,94	8,99	7,5	11,05
Repäisyjuuus mN											
- ks	200	240	460	500	580	580	960	300	1680	1760	2800
- ps	240	300	620	560	700	640	1100	380	2080	1760	3760

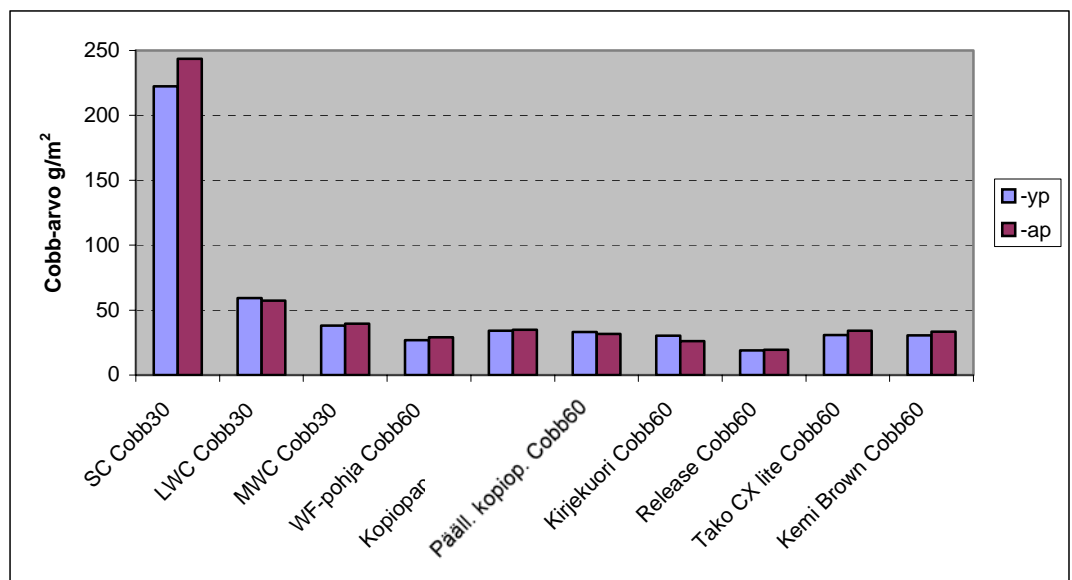
Vetolujuuden arvot poikkesivat selvästi toisistaan. Konesuuntaan leikatuilla liuskoilla oli noin kaksi kertaa suurempi vetolujuus kuin poikkisuuntaan leikatuilla liuskoilla. Tämä johtuu paperikoneella tapahtuvasta kuitujen suuntautumisesta enemmän konesuuntaan.

5.4. Liimausasteen määrittäminen

5.4.1. Cobb-testi

Cobb-testi tehtiin standardin SCAN-P 12:64 mukaisesti SC- ja LWC-papereita lukuun ottamatta, koska näille paperilaaduille jopa 30 sekunnin aika oli liian pitkä. SC-paperin kohdalla standardia sovellettiin laittamalla neljä arkkiä päällekkäin yläpinnalta Cobb-arvoa mitattaessa ja viisi arkkiä päällekkäin alapinnalta Cobb-arvoa mitattaessa, ettei vesi menisi läpi. LWC-paperilla arkkeja oli kaksi päällekkäin.

Mittaustulokset on taulukoitu liitteessä 5. Kuvassa 12 on mitattujen Cobb-arvojen keskiarvot. Kuvasta näkee WF-pohjapaperin, päällystämättömän ja päällystetyn kopiopaperin, kirjekuoripaperin, release-paperin, taivekartongin ja kraftlainerin Cobb60-arvon olevan noin 30 g/m². Release-paperilla jopa alle sen. Näiden valmistukseen on käytetty hydrofobiliimaa. SC-, LWC- ja MWC-papereilla Cobb-arvo on yli 30 g/m², vaikka käytössä oli lyhyempi 30 sekunnin aika.



Kuva 12. Näytteiden Cobb-arvot.

Cobb-testin perusteella pystyy päättämään, onko näytettä hydrofobiliimattu vai ei. Jos Cobb60-arvo on lähellä 30 g/m², niin näytteessä on käytetty hydrofobiliimausta. Jos on käytettävä 30 sekunnin absorptioaikaa, niin kyseessä on hydrofobiliimaamaton

näyte. Mikäli Cobb60-arvo on selvästi yli 30 g/m^2 , niin kyseistä näytettä ei ole hydrofobiliimattu.

Päällysteen määrä vaikuttaa Cobb-arvoon liimaamattomilla tuotteilla. Liimaamaton SC-paperi imee vettä huomattavasti paremmin kuin kertaalleen päällystetty LWC-paperi, saati kahteen kertaan päällystetty MWC-paperi.

5.4.2. Kontaktikulma

Kontaktikulman mittausta tehtiin Pocket Goniometrillä (PG-3). Kontaktikulma määritettiin TAMKIn paperilaboratorion menetelmällä, joka perustuu laitevalmistajan ohjeeseen. Käyttöohje on liitteessä 7.

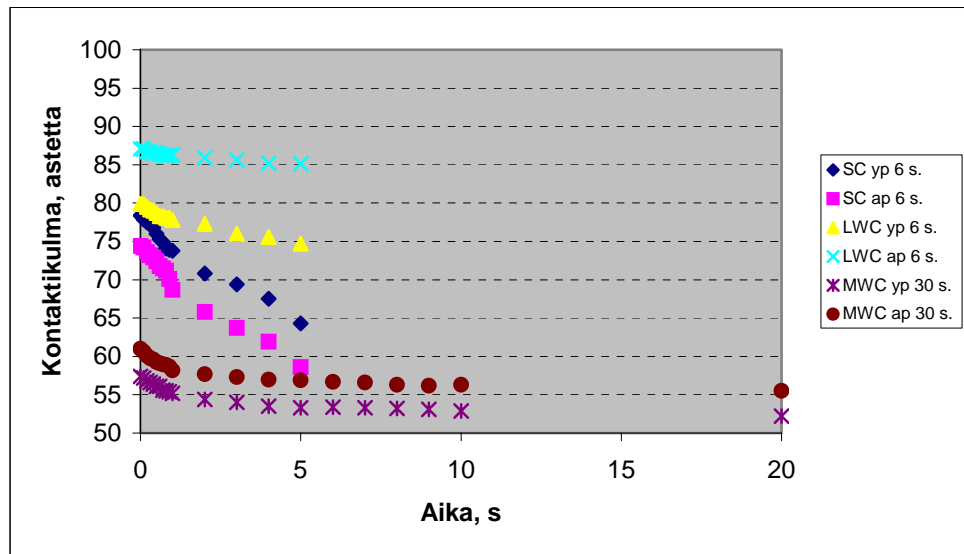
Mittausajaksi asetettiin 30 sekuntia kaikille näytteille, paitsi SC- ja LWC-näytteille. Näille näytteille 30 sekuntia oli liian pitkä aika, joten mittausajaksi asetettiin 6 sekuntia.

Kontaktikulman tuloksiin pätee karkeasti sellainen jako, että kontaktikulman jäädessä alle 90° asteeseen, kyseessä on hydrofobiliimaamaton näyte, ja kontaktikulman ollessa yli 90° astetta, kyseessä on hydrofobiliimattu näyte.

Mittaustulokset on taulukoitu liitteessä 6.

Paremmiin liimausasteisiin käy ilmi, kun tarkastelee kontaktikulman muutosta ajan suhteen. Jos kontaktikulma pysyy koko mittausajan lähes samana, näyte on liimattu.

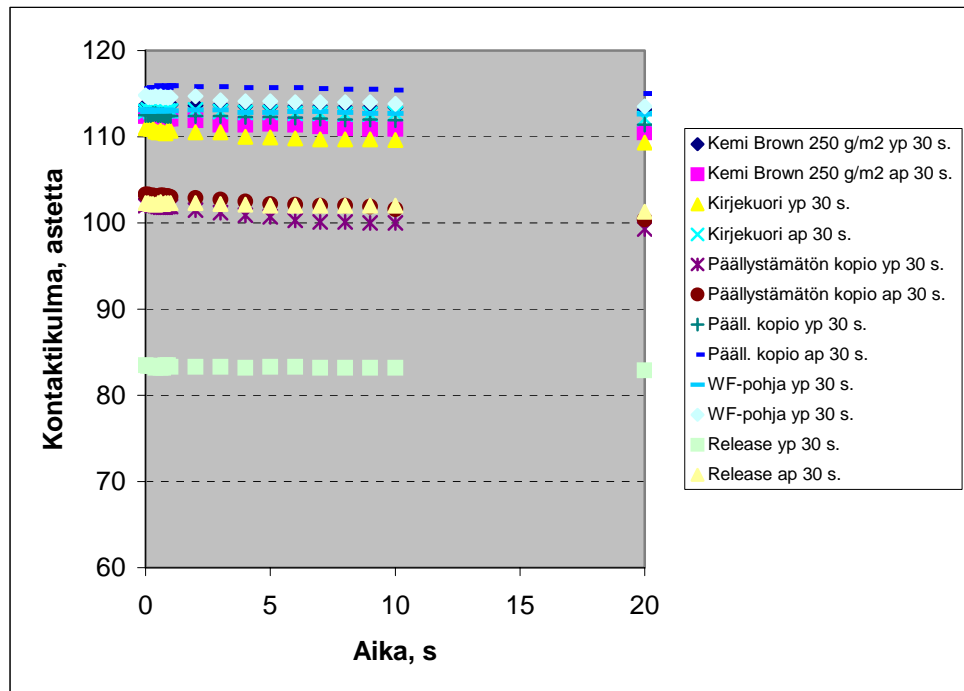
Kuvassa 13 näkyy kontaktikulman muutos ajan suhteen. Mittauksen alussa kontaktikulma on selvästi suurempi kuin mittauksen lopussa.



Kuva 13. SC-, LWC- ja MWC-paperien kontaktikulmat.

SC-, LWC- ja MWC-paperilla kontaktikulma jäi alle 90 asteen, mistä voi päätellä näytteiden olleen liimaamattomia. Näytteiden kontaktikulman pieneneminen ajan kuluessa vahvistaa asian. Kontaktikulman suuruuteen ei pidä kiinnittää liikaa huomiota, koska näytteet on otettu eri kalibrointi-arvoilla, jolloin ne eivät ole suoraan vertailtavissa keskenään. Laitteen kalibrointi-arvot eri paperi- ja kartonkinäytteille on liitteessä 8.

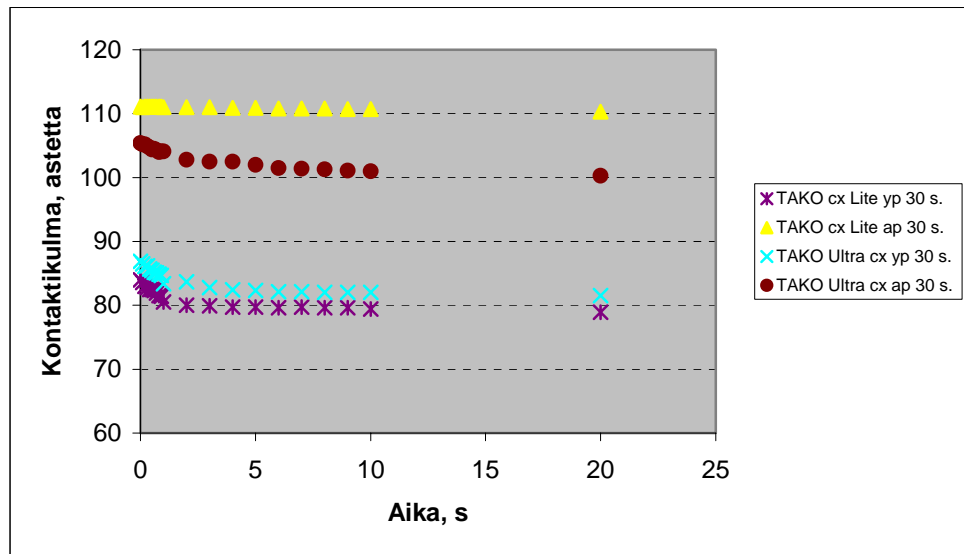
Kuvasta 14 käy ilmi, että WF-pohjapaperi, päällystämätön ja päällystetty kopiopaperi, kirjekuoripaperi, release-paperi ja Kemi Brown –kartonki ovat kaikki hydrofobiliimat- tuja paperi- ja kartonkilaatuja. Jokaisen näytteen kontaktikulma pysyi lähes muuttu- mattomana koko mittauksen ajan ja kontaktikulma oli selvästi yli 90 astetta kaikilla muilla näytteillä, paitsi release-paperin yläpinnalla.



Kuva 14. Hydrofobiliimattujen näytteiden kontaktikulmat.

Release-paperin ja päällystämättömän kopiopaperin mittaukset tehtiin samoilla Pocket Goniometrin kalibrointiarvoilla, mikä selittää osin kontaktikulman eroavaisuuden muista liimatuista näytteistä. Lisäksi release-paperin yläpinnan silikoni on vaikuttanut paperin pintajännitykseen, jolloin kontaktikulma on alle 90 astetta, vaikka kyseessä on hydrofobiliimattu näyte. Kontaktikulmassa ei tapahtunut oleellisia muutoksia määrittelyssä mittausajassa.

Kuvassa 15 taivekartongit Tako Ultra CX ja CX Lite erosivat muista näytteistä siinä, että kyseisillä näytteillä ylä- ja alapuolilla oli selvä ero kontaktikulmissa. Näytteiden alapuolien kontaktikulma oli selvästi yli 90 astetta, kun taas yläpuolilla kontaktikulma jäi selvästi alle 90 asteen.



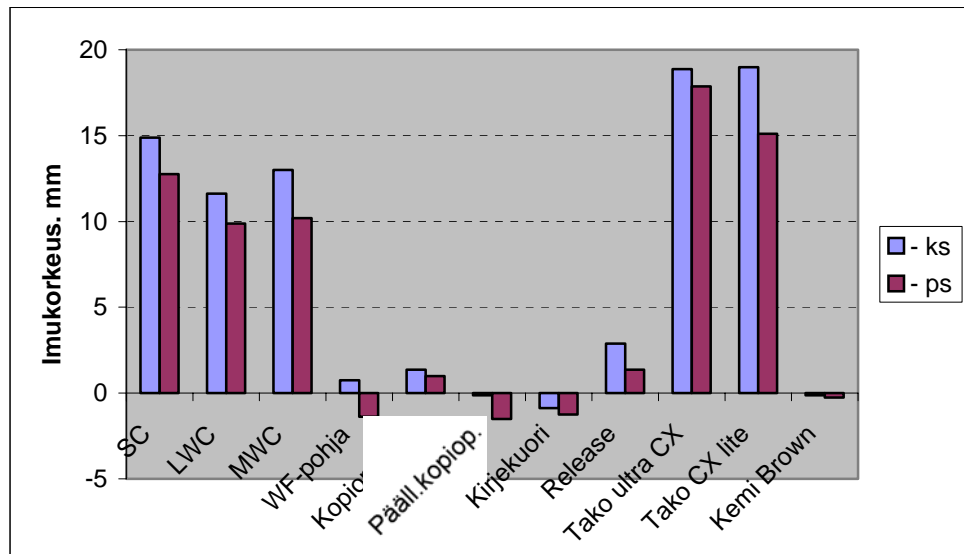
Kuva 15. Taivekartonkien kontaktikulmat.

Kontaktikulmista näkee, että taivekartongissa on hydrofobiliimaus ainoastaan alapuolella, jolloin liimaus on tehty pintaliimauksena, eikä yleisemmin käytettynä massaliimauksena.

5.4.3. Klemm-testi

Klemm-testi tehtiin standardin SCAN-P 13:64 mukaan. Menetelmä soveltuu parhaiten liimaamattomille papereille, joilla on niin suuri vedenabsorptiokyky, ettei Cobbin menetelmällä voida mitata sitä tyydyttävän tarkasti.

SC-, LWC- ja MWC-papereilla, sekä taivekartongilla veden imukorkeus on selvästi yli 5 mm. Tämä käy ilmi kuvasta 16. Tulosten perusteella nämä lajit eivät ole hydrofobiliimattuja. Kuvan 16 imukorkeudet ovat mittausten keskiarvot.



Kuva 16. Näytteiden imukorkeudet kone- ja poikkisuuntaan Klemmin menetelmällä.

Kuvasta 16 näkyy, että hydrofobiliimattujen näytteiden imukorkeus on lähellä nollaa. Imukorkeus voi olla myös negatiivinen, koska paperiliuskaa laitettaessa veteen, paperin pintaenergia saattaa olla niin suuri, että se hylkii vettä, jolloin vedenpinta saattaa jäädä montulle liuskan ympärillä.

Liimaamattomilla näytteillä imukorkeus on selvästi mitattavissa. Konesuuntaan imukorkeus on suurempi kuin poikkisuuntaan, koska kuidut ovat suuntautuneet enemmän konesuuntaan. Kapillaariabsorption vaikutus on voimakkaampaa nimenomaan kuitujen pituussuunnassa.

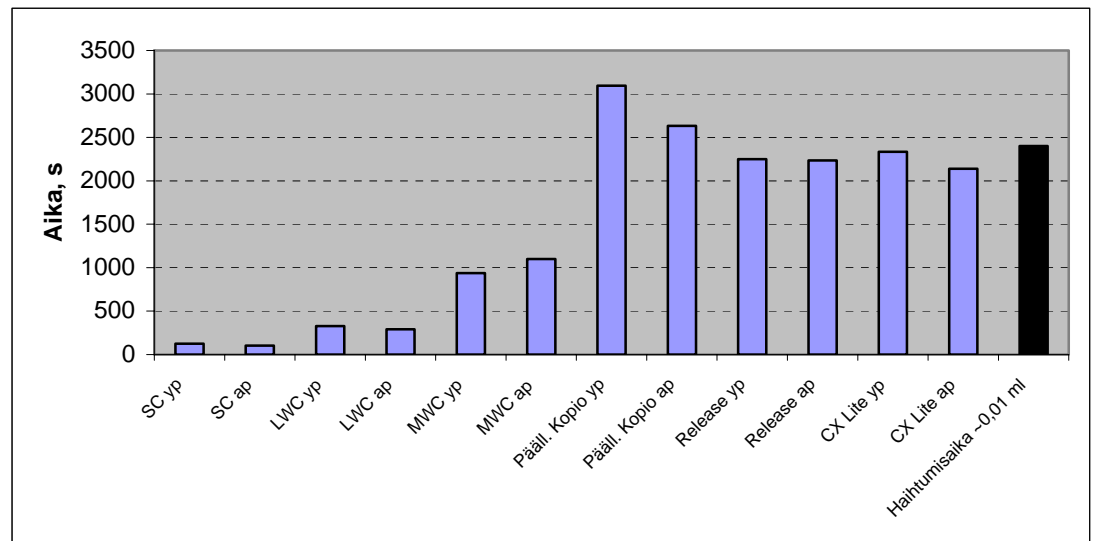
Pintaliimauksen käyttö näytteen toisella puolen ei näy tuloksissa, koska vesi pääsee imeytymään näytteen liimaamattomalta puolelta. Tämä käy ilmi taivekartongin mittauksista.

Klemmin menetelmällä liimausaste voidaan määritellä karkeasti liimaamattomiin, kun paperin imukorkeus yli 3 millimetriä ja hydrofobiliimattuihin, kun imukorkeus on alle 3 millimetriä. Mittaustulokset ovat liitteessä 9.

5.4.4. Drop-testi

Drop-testi on tarkoitettu erittäin absorptiokykyisille papereille, joilla veden absorptioon kuluva aika on alle 120 sekuntia. Se ei sovellu lainkaan hydrofobiliimatuille näytteille, koska pisara ei imeydy näytteeseen, vaan se haihtuu. Myös paksusti päällystetyt laadut ovat soveltumattomia, koska haihtuminen vaikuttaa tulosten luotettavuuteen.

Tilassa, jossa mittaukset tehtiin, 0,0093 grammaa painava eli noin 0,01 millilitran vesipisara haihtui noin 2400 sekunnissa. Tästä johtuen tulosten luotettavuus heikkenee, mitä pidempi absorptioaika on. Pisanan koko mittauksissa saattoi vaihdella, koska se määritettiin silmämääräisesti. Kuvassa 17 on kuvattu pisanan häviämisaikat tutkimalla näytteillä. SC-, LWC- ja MWC-näytteillä kyseessä on kymmenen mittauksen keskiarvo. Muilla näytteillä kyseessä yhden mittauksen tulos, koska mittauksilla ei ollut merkitystä. Mittaustulokset on taulukoitu liitteessä 10.



Kuva 17. Pisanan häviämisaikoja.

Kuvan 17 pylväsdiagrammista näkee SC-, LWC- ja MWC-paperinäytteiden olevan hydrofobiliimaamattomia. Näillä näytteillä pisanan imeytymiseen kulunut aika oli huomattavasti pienempi, kuin pisanan haihtumiseen kulunut aika. MWC-näytteellä haihtumisella on jo vaikutusta imeytymisaikaan, koska lähes puolet pisarasta ehtii haihtua.

Drop-testiä voi käyttää liimausasteen mittaamiseen, mutta sen soveltuvuus siihen on huono. Näytteen testaaminen on hidasta, koska vesi ei aina imeydy näytteeseen, vaan se haihtuu. Tällöin yhteen mittaukseen kuluva aika voi olla jopa yli tunnin mittainen riippuen pisaran koosta.

Liimausasteen voi karkeasti määrittää veden haihtumisnopeuden mukaan. Jos pisaran katoamiseen kulunut aika on lähes sama, kuin pisaran haihtumiseen kulunut aika, kyseessä on hydrofobiliimattu näyte. Jos pisara imeytyy selvästi lyhyemmässä ajassa kuin haihtumisaika on, kyseessä on liimaamaton näyte.

Mittaustulosten mukaan taivekartongin molemmat pinnat ovat hydrofobisia, vaikka kontaktikulman mukaan hydrofobiliimaus on vain kartongin alapuolella.

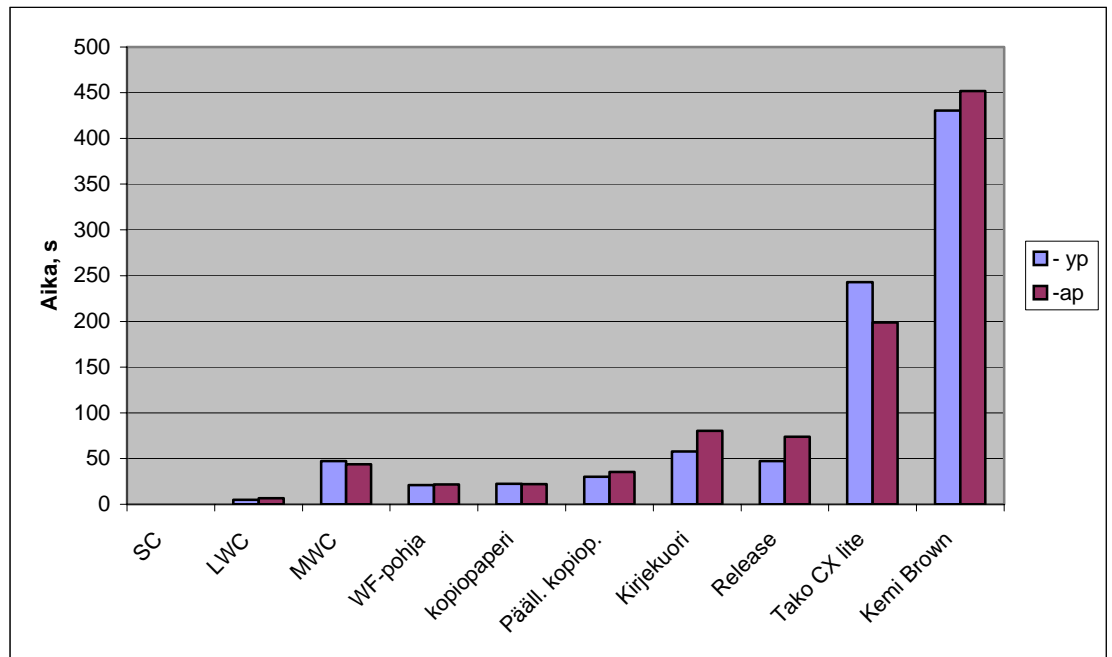
5.4.5. Curl-testi

Curl-testillä mitattiin näytteiden käpristymistä vedessä. SC-näyte ei käpristynyt lainkaan, vaan se vettyi heti veteen joutuessaan, joten testi ei soveltunut kyseiselle näytteelle. Päälystetyillä ja liimatuilla näytteillä käpristymistä tapahtui.

Curl-testillä ei näe suoraan, onko näyte hydrofobiliimattu, koska paperin paksuus ja bulkki vaikuttavat käpristymisaikaan. Suuri päälystemäärä tekee paperista tiheämpää, jolloin bulkki laskee. Pienemmän bulkin omaavalla MWC-paperilla oli jopa suurempi käpristymisaika kuin päälystetyllä kopiopaperilla.

Kuvassa 18 olevat käpristymisajat ovat kymmenen mittauksen keskiarvoja. Liitteessä 11 on mitattujen näytteiden käpristymisajat.

Kuvassa 18 kuvatuissa näytteissä ylä- ja alapuolen välillä ei ole oleellisia eroja käpristymisajoissa niillä näytteillä, joiden valmistuksessa on pyritty pieneen toispuolisuuteen. Nämä näytteet ovat LWC-, MWC-, WF-pohja-, päälystämätön kopiopaperi ja päälystetty kopiopaperi. Muilla näytteillä ylä- ja alapuolen käpristymisajoilla on selvä ero. Näiden näytteiden pinnat eroavat toisistaan selvästi myös silmämääräisesti tarkasteltuna.



Kuva 18. Näytteiden käpristymisaikoja.

Kirjekuoripaperissa ja Kemi Brown –kartongissa selkeästi sileämmän yläpinnan ollessa kosketuksissa veden kanssa käpristymisaika oli lyhyempi kuin karheamman alapinnan ollessa vettä vasten. Sileämmän ja tiheämmän puolen ollessa vettä vasten, se alkusi vettyä hitaammin kuin karhea puoli, mutta pinnan vetyttyä vettyminen jatkuu nopeammin huokoisemmassa osassa näytettä. Tämä johtuu painepenetraatiosta. Paperin koko massa painaa tiivistä pintaa vettä vasten, mikä nopeuttaa vettymistä. Karhean puolen ollessa vettä vasten huokoinen kerros näytteestä vettyy suhteellisen nopeasti, mutta tiiviin kerroksen saavutettuaan vettyminen on erittäin hidasta, koska näytteen aiheuttama paine ei enää vaikuta yhtä paljon.

Tako CX lite –kartongilla käpristymisaika oli päinvastainen kuin muilla näytteillä. Sileämmän yläpuolen ollessa vettä vasten käpristymisaika oli pidempi kuin karheamman alapuolen. Tämä johtuu karheammalle puolen pintaliimauksena tehdystä hydrofobiiliimauksesta. Liimatun puolen ollessa vettä vasten tapahtuu sama ilmiö kuin edellä kuvattiin tiiviimmän kerroksen kohdalla huokoisempaan nähden.

Release-paperilla käpristyminen oli huomattavasti voimakkaampaa, kuin muilla näytteillä. Release-näyte meni selvästi rullalle, kun toisilla näytteillä vai reunat käpristyi-

vät ylös vedestä. Tämä selittää osittain melko pitkän käpristymisajan, sillä rullalla oleva paperi tarvitsee myös suoristumiseen aikansa. Osa näytteistä ei suoristunut ollenkaan, vaan ne jäivät rullalle ja upposivat. Suoristumattomat näytteet hylättiin.

Release-paperilla silikonilla käsitellyn pinnan ollessa vettä vasten käpristymisaika oli lyhyempi kuin silikonoidun pinnan ollessa ylöspäin. Tähän pätee samat syyt kuin muillekin näytteille. Silikonin matala pintaenergia vaikuttaa myös osaltaan. /6/

6. MITTAUSMENETELMIEN VERTAILU

Mittausmenetelmien verrattavuuteen keskenään ei löytynyt matemaattista kaavaa menetelmien erilaisuudesta johtuen. Cobbin menetelmän ja drop-testin kuvaajia on helppo vertailla keskenään. Molemmissa menetelmissä hydrofobiliimatun paperin mittausarvot ovat tietyllä tasolla: $Cobb_{60}$ -arvo tasolla 30 g/m^2 (Kuva 12) ja drop-testin arvot samalla tasolla haihtumisajan (kuva 17) kanssa. Liimaamattomilla näytteillä Cobbin menetelmällä mitatun näytteen Cobb-arvo lähestyy liimatun näytteen Cobb-arvoa sen mukaan, paljonko päällystettä on käytetty. Drop-testillä mittausarvot lähestyvät veden haihtumisaikaa päällysteen lisääntyessä.

Klemmin menetelmällä näytteistä otetuista mittaustuloksista näkee hydrofobiliimatun ja liimaamattoman eron. Hydrofobiliimatun näytteen arvot ovat nollan tuntumassa, kun liimaamattomalla näytteellä arvot ovat selvästi positiivisia (kuva 16).

Kontaktikulmamenetelmän vertailu muihin standardeista sovellettuihin menetelmiin on kaikkein haastavinta, koska tietoa saadaan enemmän kuin muita menetelmiä käytettäessä. Karkeasti voidaan sanoa näytteen olevan hydrofobiliimattu kontaktikulman ollessa yli 90° ja liimaamaton kulman ollessa alle 90° . Tämä ei kuitenkaan päde, jos hydrofobiliimattu näyte on päällystetty matalan pintaenergian omaavalla aineella, kuten silikonilla, jolloin kontaktikulma alle 90° (kuvat 13, 14, 15).

Kontaktikulman avulla pystytään määrittämään myös pintaliimatut näytteet. Cobb-testi ja drop-testi määrittävät pintaliimatun taivekartongin hydrofobiliimatuksi ja Klemm-testi liimaamattomaksi.

Curl-testin tulosten vertailu muiden menetelmien tuloksiin on lähes mahdotonta, koska testin tuloksiin päällysteen määrällä ja jäykkyydellä on suuri merkitys. Curl-testillä ei pysty varmasti määrittämään liimausastetta, jos ei tiedetä näytteen olevan liimattu, mutta sen avulla voidaan vertailla paperin eri pintojen ominaisuuksia. Jos paperin ylä- ja alapuolen välillä ei ole eroja, käpristymisaika on lähes sama. Jos pinnoissa on eroja, päällystetty tai liimattu puoli vettä vasten antaa lyhyemmän käpristymisajan. Hydrofobiliimauksella on suurempi vaikutus kuin päällystyksellä (kuva 18).

7. JOHTOPÄÄTÖKET

Liimausasteen mittaamiseen sisältyy useita virhettä aiheuttavia tekijöitä. Näytteen pintaan on saattanut siirtyä likaa ihmisen käsitellessä näytettä, jolloin pinnan ominaisuudet saattavat muuttua.

Jokaisessa tutkitussa mittaamenetelmässä mittausten tekijän huolellisuus vaikuttaa tutkimustuloksiin. Cobb-testissä täytyi katsoa tarkasti, ettei näytteeseen jäänyt ylimääräistä vettä, jolloin näytteen pinta olisi jäänyt kiiltäväksi. Sama juttu drop-testissä. Klemm-testissä täytyi tarkkaan katsoa, millä tasolla näyteliuskaa veden pinta oli mitausten alussa ja lopussa. Veden imeytyminen ei ollut aina tasaista, jolloin täytyi ottaa keskiarvo imukorkeudesta.

Curl-testissä näytteen asettamisessa veteen täytyi olla tarkkana, ettei mikään reuna osuisi veteen ennen toista. Jos näyte ei asetu suorassa veteen, se saattoi käpristyä vain toiselta reunalta, jolloin näyte saattoi mennä rullalle ja upota tai jäädä rullalle. Varsinkin irrokepaperilla ilmiö tapahtui helposti.

Kontaktikulmaa mitattaessa tärkeää oli pisaran asettaminen näytteelle. Jos pisaran painoi liikaa kiinni näytteeseen, se vaikutti tuloksiin. Näyteliuskan asettamisessa Go-

niometriin täytyi olla myös tarkkana, ettei näyteliuskan reunaan tullut naarmuja, jotka häiritsivät mittausta.

Mittausmenetelmistä suositeltavin on ehdottomasti kontaktikulma. Kontaktikulman mittauksesta saatu informaatio oli kaikkein kattavin. Menetelmällä pystyi erottamaan hydrofobiliimatun ja liimaamattoman näytteen toisistaan. Menetelmällä pystyi määrittämään myös liimaustavan, eli oliko käytetty massaliimausta vai pintaliimausta. Massaliimatusta näytteessä kontaktikulma oli yli 90° molemmilla puolin paperia. Kontaktikulma ei myöskään muuttunut ajan suhteen. Pintaliimatusta paperissa kontaktikulma oli liimatulla puolen yli 90° ja liimaamattomalla alle 90° . Liimaamattoman puolen kontaktikulma myös muuttui ajan suhteen.

Kontaktikulma pystytään periaatteessa määrittämään kaikista paperilaaduista, mutta käytännössä liimaamattomien ja päällystämättömien näytteiden kontaktikulman määrittäminen on vaikeaa, ainakin käytössä olleella laitteella. Jos neste imeytyi nopeasti näytteeseen, laite ei tunnistanut pisaraa jokaisessa mittauspisteessä, vaan antoi välillä mahdottomia arvoja tai ilmoitti virheestä.

Pocket Goniometrin vaihtaminen laadukkaampaan laitteeseen, tai ainakin ohjelman päivitys luotettavammaksi, tekisi liimausasteen määrittämisestä kontaktikulman avulla entistäkin ylivoimaisemman menetelmän.

Cobbin menetelmä ja Klemmin menetelmä ovat myös käyttökelpoisia liimausasteen määrittämiseen. Varsinkin Cobbin menetelmä, joka on suhteellisen nopea verrattuna Klemmin menetelmään. Drop- ja curl-testiä ei kannata tehdä, koska ne ovat erittäin hitaita, eikä niistä saa mitään sellaista tietoa liimausasteesta, mitä ei saisi esimerkiksi kontaktikulma menetelmällä.

Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa nykyisin käytettävien mittausmenetelmien, Cobb-testi ja kontaktikulma, joukkoon voisi mielestäni lisätä myös Klemmin menetelmän. Klemmin menetelmä eroaa oleellisesti nykyisin käytössä olevista menetelmistä. Vertaillaessaan eri mittausmenetelmin saamia tuloksia oppilaiden täytyisi paneutua asiaan syvällisemmin.

LÄHTEET:

1. Arjas A. (toim.): Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja III : *Paperin valmistus osa 1, 2*. täysin uudistettu painos, Turku 1983.
2. Borch J., Lyne M. B., Mark R. E., Habeger C. C. Jr.: Handbook of Physical Testing of Paper vol. 2, Second Edition, Revised and Expanded, USA 2002. s. 303-332.
3. Grönstrand J., Karhuketo H. & Törn T.: Kemiallinen metsäteollisuus 3: *Paperin ja kartongin jalostus*, Opetushallitus, Saarijärvi 2002.
4. Häggblom-Ahnger U., Komulainen P. & Seppälä M. J.: Kemiallinen metsäteollisuus 2: *Paperin ja kartongin valmistus*, Opetushallitus, Jyväskylä 2001.
5. Levlin J.-E., Söderhjelm L.: Papermaking Science and Technology, book 17: *Pulp and Paper Testing*, Fabet Oy, Jyväskylä 1999.
6. Neimo L.: Papermaking Science and Technology, book 4: *Papermaking Chemistry*, Fabet Oy, Jyväskylä 1999.
7. Niskanen K.: Papermaking Science and Technology, book 16: *Paper Physics*, Fabet Oy, Jyväskylä 1998.

Painamattomat lähteet

8. Häggblom-Ahnger U.: Paperitekniiikan perusteet, P 2045: Materiaali ja muistiinpanot
9. Häggblom-Ahnger U.: Päällystystekniikka, P 4210: Materiaali ja muistiinpanot
10. Viilo P.: Paperitekniiikka 1, P 4200: Materiaali ja muistiinpanot

Sähköiset lähteet

11. KnowPap 5.0, VTT Tuotteet ja tuotanto, 2003.