

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperitekniiikan koulutusohjelma
Paperitekniiikka

Opinnäytetyö

Sami Fransman

ON-LINE-PÄÄLLYSTYKSEN MITTAUKSET

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

DI Arto Nikkilä
ACA Systems Oy, valvojina Jaakko Rintamäki ja Toni Vuorenmaa

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaani Toni Vuorenmaata sekä Jaakko Rintamäkeä ACA Systems Oy:stä, samoin kuin opinnäytetyöni valvojaa DI Arto Nikkilää Tampereen ammattikorkeakoulusta. Mikko Reentietä haluan kiittää saumattomasta yhteistyöstä mittausjaksojen aikana. Lisäksi haluan kiittää mukana olleiden tehtaiden A ja B henkilökuntaa avusta ja asiantuntemuksestaan mittausjaksojen aikana.

Tampereella 2.12.2008

Sami Fransman

TAMPEREEN AMMATTIKORKEKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikka

Fransman, Sami On-line-päällystyksen mittaukset

Opinnäytetyö 51 sivua

Työn ohjaaja DI Arto Nikkilä

Työn teettäjä ACA Systems Oy, valvojina Jaakko Rintamäki ja Toni Vuorenmaa

Joulukuu 2008

Hakusanat päällystys, huokoisuus, vesiretentio

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön teetti ACA Systems Oy keväällä 2008.

ACA Systems Oy on maailmanlaajuisesti tunnettu paperin päällystyksen ja huokoisuuteen liittyvien mittalaitteiden toimittaja. Tunnetuimpia mittalaitteita ovat Portable- DWR (Dynamic Water Retention)-mittalaitteet dynaamisen vesirention tutkimiseen ja PERMI-huokoisuusanalysointilaitteet, on-line-huokoisuuden mittaamiseen. Mittalaitteiden tarkoituksena on parantaa asiakkaiden prosessien ajettavuutta. /9/

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erilaisten muuttujien vaikutusta päällystyspinnan vesirentioon sekä ACA Systemsin kehittämän Portable DWR-mittalaitteen toimintaa tehdasolosuhteissa. Alun perin tarkoituksena oli myös tutkia pohjapaperin on-line huokoisuuden vaikutusta vesirentioon, mutta aikataulu- ja toteutusongelmien johdosta tutkimus siirtyi tulevaisuuteen.

Opinnäytetyöhön liittyvä kokeellinen osuus eli mittaukset toteutettiin keväällä 2008 kahdella eri paperitehtaalla. Mittausten jälkeen PDWR- laite todettiin luotettavaksi mittalaitteeksi, joka toimii moitteettomasti tehdasolosuhteissa.

Saatujen tulosten perusteella voidaan toiselle tehtaalle suositella pastareseptin optimointia laadun, kustannusten ja ajettavuuden suhteen. Toiselle tehtaalle suositellaan suoritettavaksi lisämittauksia, joissa selviäisi vesirention ja pohjapaperin huokoisuuden välinen yhteys toisiinsa.

TAMPERE POLYTECHNIC-UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Paper Technology

Fransman, Sami The measurements of on-line coating

Engineering Thesis 51 pages

Thesis Supervisor MSC_{eng} Arto Nikkilä

Commissioning Company ACA Systems Oy. Supervisors: Toni Vuorenmaa and Jaakko Rintamäki

December 2008

Keywords coating, porosity, water retention

ABSTRACT

This final thesis was commissioned by the company ACA Systems Oy during the spring 2008. ACA Systems Oy is a worldwide known supplier of coating color and porosity analyzers. The best known devices are the portable DWR-analyzer for the measurement of dynamic water retention. So far the last introduced measuring device is the PERMI-analyzer, for the measuring of on-line porosity. The main purpose of these analyzers is to achieve good runnability, increase production capacity and to lower costs. /9/

The primary objective of this student thesis was to affirm the reliable operation of the Portable DWR-device in mill scale tests. The secondary initiative was to determine what effects different coating color components have on the water retention and porosity of the base paper.

The associated measurements were done in two different paper mills in Finland during spring 2008. After and during the measurements the Portable DWR-device showed to be a reliable and functional device for the determination of water retention value in dynamic conditions. The repeatability of the results was good. During the mill trials the device always functioned perfectly.

The results acquired during the mill trials clearly showed what impact different coating color components have on the dynamic water retention. For one of the mills involved it would be preferred to optimize the coating color recipe with regards to quality, costs and runnability. For the other mill involved it would be recommended to carry out additional trials to get more information about the interaction between base paper's porosity and water retention.

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	7
1 PAPERIN PÄÄLLYSTYS	8
1.1 Tavoitteet	8
1.2 Päällystyspastaan koostumus	8
1.3 Pigmentit	9
1.4 Sideaineet	10
1.5 Apuaineet	12
2 PINTALIIMAUS JA FILMINSIIRTOPÄÄLLYSTYS	13
2.1 Pintaliimaus	13
2.2 Lammikkoliimapuristin	14
2.3 Filmiliimapuristin	15
2.4 Filmiliimapuristin vs. lammikkoliimapuristin	16
2.5 Filminsiirtopäällystys	16
2.7 Filmin muodostus applikointitelan pinnalle	18
2.7.1 Viistetty terä	18
2.7.2 Urasauva	19
2.7.3 Sileä sauva	19
2.8 Pastaan käyttäytyminen applikointinipissä	20
2.9 Päällystefilmin halkeaminen	21
2.10 Päällystemäärän säätö	22
2.11 Filminsiirtopäällystyksen ongelmia	23
2.12 Filminsiirtopäällystys vs. teräpäällystys	24
3 PAPERIN HUOKOISUUS	25
3.1 Huokoisuuteen vaikuttavat tekijät	27
3.1.1 Kuitujen ominaisuudet	27
3.1.2 Huokosrakenteeseen vaikuttavat tekijät	27
3.1.3 Paperinvalmistusprosessi	28
3.1.4 Märkäpuristus	28
3.1.5 Kuivatus	29
3.1.6 Kalanterointi	29
3.2 Huokoisuuden vaikutus paperin ominaisuuksiin	30
3.2.1 Nesteiden imeytyminen ja painettavuus	30
3.2.2 Optiset ominaisuudet	30
3.3 Huokoisuuden mittaaminen	31
3.3.1 Elohopeamenetelmä	32
3.3.2 Kaasumenetelmä	32
3.3.3 Bendtsen- menetelmä	32
3.3.4 Gurley- menetelmä	33

4 PERMI – MITTALAITE	33
4.1 PERMI on-line huokoisuusanalysointilaite	34
4.2 Toimintaperiaate	36
4.3 Johtopäätökset	36
5 TYÖN SUORITUS	37
5.1 Mittausjakso Tehtaalla A	37
5.2 Mittausjakso Tehtaalla B	38
6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	39
6.1 Tehtaan A tulosten tarkastelu	39
6.2 Tehtaan B tulosten tarkastelu	41
6.2.1 Sideaine 3-osuuden vaikutus vesiretentioon	41
6.2.2 Pigmenttien 2 ja 3 vaikutus vesiretentioon	42
6.2.3 Konekiertojen vesiretentiot	44
6.2.4 Sideaine 1 ja 2- osuuden vaikutus vesiretentioon	45
6.2.5 Pigmentti 1 ja 3- osuuden vaikutus vesiretentioon	46
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
7.1 Tehtaalla A johtopäätökset	47
7.2 Tehtaan B johtopäätökset	48
7.3 Johtopäätökset ACA Systemsin PDWR-laitteesta	49

JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön teetti ACA Systems Oy keväällä 2008. ACA Systems Oy on maailmanlaajuisesti tunnettu paperin päällystykseen ja huokoisuuteen liittyvien mittalaitteiden toimittaja. Yrityksellä on toimintaa yli 20 maassa. Yritys on perustettu 1985 ja se sijaitsee Itä-Suomessa Sotkumassa, Polvijärvellä. Tunnetuimpia mittalaitteita ovat ACAV-viskosimetrit, Portable-DWR (Dynamic Water Retention) -mittalaitteet dynaamisen vesiretention tutkimiseen ja PERMI-huokoisuusanalysointori, on-line- huokoisuuden mittaamiseen. Mittalaitteiden tarkoituksena on parantaa asiakkaiden prosessien ajettavuutta. /ACA nettisivut/

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia erilaisten muuttujien vaikutusta päällystyspastan vesiretention ja yrityksen kehittämän Portable DWR -laitteen toimintaa tehdasolosuhteissa.

Työhön liittyvät mittaukset toteutettiin keväällä 2008 kahdella eri M-Real Oyj:n paperitehtaalla yhdessä Mikko Reentien kanssa. Opinnäytetyön kokeellinen osuus on kirjoitettu yhteistyössä hänen kanssaan.

1 PAPERIN PÄÄLLYSTYS

1.1 Tavoitteet

Paperin päällystyksen tavoitteena on parantaa painetun tuotteen ulkonäköä ja painettavuutta. Paperin päällystys vaikuttaa suotuisasti paperin ominaisuuksiin parantamalla mm. sileyttä, kiiltoa, opasiteettia, vaaleutta ja pintalujuutta.

Päällystetyllä paperilla on lisäksi tasaisempi neste- ja painoväri- absorptio kuin päällystämättömällä paperilla. Kalanteroimalla päällystetty paperi voidaan päästä korkeampaan kiiltoon. /1/

Kalanteroidun päällystetyn paperin pinta on tasaisempi, ja painoväri- penetroituminen tasaisempaa kuin päällystämättömässä paperissa. Tähän päästään käyttämällä pieniä huokoisia partikkeleita päällystetyn paperin pinnalla. Tämä pienentää painoväri- kulutusta ja antaa paremman kontrastin, terävyyden ja väri- eroituksen moniväripainatuksessa. Lisäksi läpipainauksen riski pienenee, koska myös opasiteetti paranee päällystyksen seurauksena. Tämä vuorostaan mahdollistaa neitseellisen kuidun säästämisen. Koska paperin vaaleus paranee päällystyksen seurauksena, voidaan pohjapaperissa käyttää paljon mekaanista massaa ja silti päästä korkeaan vaaleuteen. /6, s. 445/

1.2 Päällystyspasta- koostumus

Paperin päällystyksessä paperin pintaan applikoidaan päällystyspasta vesiseoksena. Päällystyspasta- kuiva- ainepitoisuus pyritään saamaan mahdollisimman korkeaksi. Päällystyspasta- täytyy kuitenkin olla virtaavaa, ja yleensä päällystyspasta- kuiva- ainepitoisuudet ovat n. 60–75 % päällystysmenetelmästä riippuen.

Päällystyspasta koostuu veden lisäksi yleensä kolmesta pääkomponentista; pigmentteistä, sideaineista ja apuaineista. Pigmenttien osuus päällysteen kuiva- ainepitoisuudesta voi tyypillisesti olla 80–95 %. Sideaineita käytetään yleensä 5–20 % ja apuaineita ainoastaan 1–2 % pigmenttimäärästä. /6, s. 446–447/

1.3 Pigmentit

Käytettävä päällystyspigmentti määrää pääosin päällysteen laadun ja ominaisuudet. Yleisimpiä käytettyjä pääpigmenttejä ovat kaoliini, jauhettu kalsiumkarbonaatti (GCC = Grounded Calcium Carbonate), talkki ja kipsi. Pääpigmenttien lisäksi päällystyspastassa käytetään erikoispigmenttejä kuin titaanidioksidia (TiO_2) ja saostettua kalsiumkarbonaattia (PCC= Percipitated Calcium Carbonate). Nykyään erikois- ja apupigmentteinä käytetään runsaasti myös synteettisiä pigmenttejä, kuten erilaisia muovipigmenttejä. /1/

Käyttämällä useampia pigmenttejä saadaan päällysteelle moninaisia ominaisuuksia. Erilaisilla pigmenteillä on kaikilla yksilölliset hiukkaskoot, hiukkaskokojakaumat ja hiukkasmuodot, jotka mm. vaikuttavat seuraaviin ominaisuuksiin päällysteessä: valonsirontakertoimeen, päällysteen huokoisuuteen ja pintalujuuteen, pinnan sileyteen ja kiillottuvuuteen, päällystyskerroksen viskositeettiin ja sideainetarpeeseen ja painoväriabsorptioon. /2, s. 186/

Vaaleus ja opasiteetti ovat päällystetyn paperin eräitä tärkeimmistä ominaisuuksista. Näihin ominaisuuksiin pystytään parhaiten vaikuttamaan valitsemalla pigmentti joka omaa halutut valonsironta- ja valonabsorptio-ominaisuudet. Näihin ominaisuuksiin pystytään vaikuttamaan parhaiten valitsemalla pigmentti jolla on mahdollisimman suuri taitekerroin ja paljon valoa heijastavia rajapintoja. /2/

Yleisesti voidaan todeta, että mitä levymäisempi päällystyspigmentti on, sitä kiiltävämpi päällyste saadaan. Myös käyttämällä pieniä päällystyspigmenttejä päästään kiiltävämpään päällysteeseen (enemmän valoa heijastavia rajapintoja). /1/

Käyttämällä riittävän hyvää pohjapaperia ja valitsemalla pigmentit joilla on tietyt ominaisuudet, voidaan siis päästä haluttuun lopputulokseen päällystyksessä.

Erikoispigmenttien käyttöä rajoittaa lähinnä niiden kallis hinta. Tästä johtuu se tosiasia että esim. titaanidioksidia ei sen ylivertaisista optisista ominaisuuksista huolimatta käytetä suurissa määrissä paperin päällystyksessä.

1.4 Sideaineet

Sideaineiden tarkoituksena on sitoa pigmenttihiukkaset toisiinsa ja rainaan. Sideaineet täyttävät lisäksi pigmenttien väliset raot päällysteessä ja vaikuttavat päällystyspastan vesiretentioon ja viskositeettiin. /3, s. 189/

Yleisimpiä käytettyjä sideaineita ovat tärkkelys, lateksi, CMC (Karboksimetyyliselluloosa) ja PVA (Polyvinyylialkoholi). Kaikki muut sideaineet paitsi lateksi ovat vesiliukoisia. Käytetyt sideainemäärät vaihtelevat eri painomenetelmissä, ne ovat yleensä 5–12 % käytetystä pigmenttimäärästä. Offset - painettavat paperit vaativat kaksinkertaisen määrän sideaineita verrattuna syväpainettuihin. Tämä johtuu offset-menetelmässä käytetyistä tahmeista väreistä jotka vaativat päällystetyltä paperilta hyvää pintalujuutta.

Lateksit ovat synteettisten polymeerien vesidispersioita. Latekseja käytettäessä voidaan päästä hyvään sitomislujuuteen. Lateksit ovat helppokäyttöisiä ja tasalaatuisia, mutta niillä on huono vedenpidätyskyky. Lateksin ongelmana on sen maitomaisuus. Se vaatiikin paksuntajan käyttöä, jotta päällystyspastaan saadaan haluttu viskositeetti. Tämän takia lateksia ei voida käyttää ainoana sideaineena, vaan lateksin yhteydessä käytetään yleensä tärkkelystä, CMC: tä tai muita synteettisiä paksuntajia. Lateksit ovat lisäksi herkkiä käytettävälle lämpötilalle ja pH:lle, ja ne voivat vaahdota herkästi. Yleisesti paperiteollisuudessa käytetään kolmea eri lateksiryhmää; SB- (styreeni-butadieeni) latekseja, akrylaattilatekseja ja polyvinyylisetaatteja.

SB-lateksit ovat eniten käytetty lateksiryhmä. SB- lateksi on nimensä mukaisesti styreenistä ja butadieenistä koostuva kopolymeeri. Yleensä styreenin osuus on yli

60 % ja butadieenin n. 40 %. Styreenimäärän kasvattaminen antaa paremman kiillon ja kovuuden päällysteelle. Butadieeni vaikuttaa vuorostaan pinnan joustavuuteen ja pehmeeyteen. SB-lateksien käyttö antaa päällystetylle paperille hyvän pintalujuuden. SB-lateksien käytön huonona puolena on aineen kellertyminen auringonvalossa ja päällysteen tiivis pinta, joka huonontaa painoväriin absorptiota.

Akrylaattilateksit vuorostaan antavat päällysteelle hyvän vedenkeston ja kiillon, ovat hajuttomia ja kestävät auringonvaloa kellastumatta. Huonona puolena on SB- latekseja korkeampi hinta ja hieman heikompi sitomislujuus.

Polyvinyliasetaattilateksit eli PVAc:t antavat päällysteelle kaikista latekseista parhaimman huokoisuuden ja ovat edullisia. Haittana PVAc-latekseilla on muita latekseja heikompi sitomislujuus.

Perunasta, vehnästä tai maissista valmistettu tärkkelys on sideaineista edullisin. Tärkkelystä joudutaan käyttämään suuria määriä sen heikon sitomislujuuden takia. Lisäksi tulisi muistaa tärkkelyksen viskositeettia nostava ominaisuus. Syväpainoon menevissä tuotteissa tärkkelystä tai vesiliukoisia sideaineita ei pitäisi käyttää suuria määriä, sillä suurella vesiliukoisten sideaineiden käytöllä voidaan saada aikaan epätoivottu sideaineiden vaellus eli mottling-ilmiö.

CMC eli karboksyyylimetyyliselluloosa on synteettinen vesiliukoinen sideaine. CMC:tä käytetään päällystyspastoissa, ja se toimii pastan stabiloijana ja dispergointiaineena. Lisäksi CMC parantaa pastan vesiretenttiä, nostaa viskositeettia, ja parantaa sekä mekaanista että kemiallista kestävyyttä sekä antaa päällysteelle pintalujuutta. Käytetyt CMC-määrät ovat ainostaan n. 1 % käytetystä pigmenttimäärästä. CMC soveltuu siten käytettäväksi syväpainossa koska sillä on hyvä sitomislujuus ja käytetyt määrät ovat pieniä. Jos pitoisuus on liian korkea, pastan viskositeetti nousee eikä pasta enää ole juoksevaa.

PVA (polyvinyylialkoholi) on sitomislujuudeltaan paras sideaine. Käyttämällä PVA:ta voidaan käytettävää kokonaissideainemäärää pienentää. Tämä parantaa päällysteen

optisia ominaisuuksia ja painoväriabsorptiota. PVA:ta voidaan käyttää myös optisten kirkasteiden kantoaineena eli "carrierina". PVA:n käytön huonoina puolina on sen muita sideaineita huomattavasti kalliimpi hinta ja aineen aiheuttama viskositeettishokki, joka nostaa äkillisesti päällystyspastaan viskositeettia. /1/

1.5 Apuaineet

Mainittujen komponenttien lisäksi päällystyspastoissa käytetään pieniä määriä apuaineita. Apuaineilla voidaan esimerkiksi pyrkiä säätämään pastaan viskositeettia tai pH:ta. Muita apuaineita ovat mm. dispergointiaineet, optiset kirkasteet, vaahdonestoaineet, liukasteet, kovettimet ja säilöntäaineet.

Dispergointiaineilla pyritään luomaan mahdollisimman homogeenisesti sekoittunut päällystyspasta. Dispergointiaine tekee pigmenttipartikkelit anionisesti varatuiksi ja saa partikkelit hylkimään toisiaan. Dispergointiaineet estävät flokkien synnyn pastassa ja mahdollistavat korkeamman kuivaainepitoisuuden käytön. Pastaan viskositeetti laskee samalla. Käytetyt määrät ovat tavallisesti 0,1 - 0,5 % pigmenttimäärästä. Yleisimmät käytössä olevat dispergointiaineet ovat polyfosfaatteja ja polyakrylaatteja. Polyakrylaatin käyttö antaa hieman stabiilimman pastaan, mutta polyakrylaatti on hieman kalliimpi apuaine kuin polyfosfaatit. /6, s. 457-458/

Vaahdonestoaineita käytetään poistamaan ja minimoimaan vaahdonmuodostusta pastaan käsittelylaitteissa. Vaahdonestoaineiden vaikutus perustuu niiden pintajännitystä alentavaan vaikutukseen mikä saa pienet ilmakuplat yhtymään ja poistumaan pastasta. Vaahdon syntymistä pyritään estämään aineilla mitkä estävät ilmakuplien ympärille syntyvän stabiilin kerroksen muodostumisen.

Vaahdonestoaineita ovat erilaiset alkoholit, eetterit ja kasviöljyt.

Vaahdonpoistoaineena toimivat mm. esterit, rasvahapposeokset sekä saippuat. /1/

Päällystyspastaan pH:ta voidaan säädellä käyttämällä esimerkiksi natriumhydroksidia (NaOH) tai ammoniakkaa (NH₃). pH:n säätöaineita käytetään, koska painatusprosessi

vaatii tietyn pinta-pH:n tai koska päällystyspastan ominaisuudet kärsivät tietyn pH:n käytöstä

Päällystys voidaan tehdä yhdellä kerralla, tai korkealuokkaisista tuotteista puhuttaessa, (taidepainopaperi) jopa kolmeen kertaan. Tyypillisiä päällystemääriä ovat 6–15 g/m²/puoli/kerta. Päällystys suoritetaan yleensä pigmentoinnissa on-line-päällystyksenä tai useamman kerran päällystettäessä off-line-päällystyksenä erillisellä päällystyskoneella.

2 PINTALIIMAUS JA FILMINSIIRTOPÄÄLLYSTYS

Filminsiirtopäällystyksessä käytettävät laitteet tulivat markkinoille 1980- luvulla, jolloin kiinnostus molemmat puolet samaan aikaan päällystäviä laitteita kohtaan kasvoi. Myös filminsiirtoteknologian vaatima pienempi tilan- ja kuivatustarve olivat syitä kiinnostukseen kehittää filminsiirtolaitteita paperin päällystykseseen. Laitteita käytettiin ensin pintaliimaukseen, ja myöhempiä sovelluksia voitiin lopulta myös käyttää paperin pigmenttipäällystykseseen. Aikaisemmissa filminsiirtolaitteissa eli lammikkoliimapuristimissa ongelmaksi muodostui päällystysmenetelmän sopimattomuus suurille ajonopeuksille. Yli 1000 m/min tapahtuvassa päällystystapahtumassa filmiliimapuristimessa oleva lammikko muuttuu hallitsemattomaksi ja roiskeita alkaa syntyä. Paperikoneiden kasvavat nopeudet loivat kysyntää seuraavan sukupolven filminsiirtolaitteille, näin päällystys voitiin suorittaa myös suurissa, yli 1000 m/min ajonopeuksissa. /2, s. 196–198/

2.1 Pintaliimaus

Nykyisillä hienopaperikoneilla ja kartonkikoneilla käytetään lähes poikkeuksetta pintaliimausta. Pintaliimauksella pyritään parantamaan paperin tai kartongin

pintalujuutta, jäykkyyttä, pölyämättömyyttä ja absorptio-ominaisuuksia. Pintaliimauksen käytöllä voidaan myös vaikuttaa paperin tai kartongin lujuusominaisuuksiin. Käyttämällä paperin pinnalla kevyesti penetroituvaa pintaliimaa voidaan saavuttaa parempi pintalujuus. Käyttämällä syvemmälle tunkeutuvia liimoja voidaan vuorostaan saavuttaa parempi palstautumislujuus. Pintaliimauksen käyttäminen mahdollistaa halvempien ja lujuudeltaan heikompien massojen suuremman käytön paperin- ja kartonginvalmistuksessa. Liimapuristimia käytetään kahta eri tyyppiä: lammikkoliimapuristimia ja filminsiirtoliimapuristimia.

2.2 Lammikkoliimapuristin

Lammikkoliimapuristimen toimintaperiaate perustuu paperinradan kulkemiseen liimalammikon ja kahden telan muodostaman nipin välistä. Yleensä lammikkoliimapuristimessa käytetään metallivaippaista telaa sekä kumipäällystettyä tai polyuretaanista valmistettua vastatelaa.

Pintaliimana käytetään yleensä tärkkelysluosta, mutta myös muita liimoja, kuten CMC:tä (karboksimeetyyliselluloosa) ja PVA:ta (polyvinyylialkoholi) käytetään. Lammikkoliimapuristimessa rainan pintaan imeytyvään kuivaan tärkkelysmäärään vaikuttaa tärkkelysluoksen väkevyys, viskositeetti, rainan huokoisuus, neliömassa, karheus ja kosteus. Muuttujien kasvaessa myös rainaan jäävä kuiva tärkkelysmäärä kasvaa. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti noin 5–6 %. Suurempia kuiva-ainepitoisuuksia käytetään harvoin, sillä seurauksena ovat ajovaikeudet ja paperin heikentynyt laatu. Rainaan jäävä pintaliimamäärä on tyypillisesti n. 4g/m². Lammikkoliimapuristimessa rainaan kohdistuu melko suuri hydrodynaaminen paine, minkä seurauksena pintaliima tunkeutuu paperin sisään tehokkaasti. Lammikkoliimapuristimen käyttöä rajoittaa sen huono ajettavuus suurissa nopeuksissa (>1000 m/min). Yli 1000 m/min tapahtuvassa päällystyksessä lammikkoliimapuristimen lammikko muuttua rauhattomaksi ja roiskeita alkaa syntyä. Tähän on syynä puristimen rakenne, jonka seurauksena paperiraina ja tela vievät osan pintaliimasta mukanaan nippiin, jonka keskikohdassa osa pintaliimasta kääntää

suuntaansa ja jatkaa matkaansa suoraan ylöspäin kohti lammikon pintaa. Lammikkoliimapuristimen rakennetta on yritetty parantaa suurentamalla käytettävien telojen halkaisijaa. Tällä tavalla saataisiin aikaiseksi suurempi lammikko ja hydrostaattinen paine. Lammikkoliimapuristimen rakenne asettaa myös rajoitteita käytetyn pintaliiman viskositeetille. Mitä viskoottisempaa pintaliima on, sitä enemmän syntyy lammikkoturbulenssia. Lammikkoliimapuristimen käyttöön liittyy olennaisesti myös suuri katkoherkkyys. Tämä johtuu rainan voimakkaasta kastumisesta nipissä. Myös puristimeen saapuva viallinen raina voi helposti aiheuttaa katkoja. /2, s. 180–181/

2.3 Filmiliimapuristin

Filminsiirtoliimapuristimen toiminta poikkeaa lammikkoliimapuristimen toiminnasta siten, että filmiliimapuristimessa lammikon sijasta liima applikoidaan telojen päälle ohuena kerroksena. Applikointipään avulla ylimäärin pintaliimaa siirretään applikointitelan pinnalle. Toisin kuin teräpäällästyksessä filminsiirtopäällästyksessä ylimäärä pintaliimaa kaavataan applikointitelan pinnasta sauvan avulla. Suurin osa päällästeestä kaavataan pois, ja telan pinnalle jää vain halutunpaksuinen kerros pintaliimaa. Filminsiirtotekniikassa suuri nopeus ei aiheuta ongelmia, sillä roiskeita aiheuttava lammikko puuttuu (vertaa lammikkoliimapuristin). Filminsiirtotekniikka mahdollistaa myös suuremman kuiva-ainepitoisuuden käytön liimassa. Näin kuivatustarve jää pienemmäksi ja katkoherkkyys vähenee. Kuivatustarpeen pienentyessä luonnollisesti kuivatusenergian tarve pienenee ja höyryntarve vähenee. Filminsiirtotekniikassa pintaliima jää paperin pintaan ja palstautumislujuutta parantavaa vaikutusta ei ole, kuten lammikkoliimapuristinta käytettäessä. Filminsiirtoliimapuristimen käyttö mahdollistaa paperin pigmentoinnin samanaikaisesti pintaliimauksen yhteydessä. Applikoitavaan pintaliimaan voidaan lisätä esimerkiksi paperin optisia ominaisuuksia parantavia pigmenttejä. /1/

2.4 Filmiliimapuristin vs. lammikkoliimapuristin

Filminsiirtotekniikan käyttäminen mahdollistaa suuremmat ajonopeudet, kuin lammikkoliimapuristimella on koskaan mahdollisuus saavuttaa. Lammikkoliimapuristimen käyttöä rajoittaa sen huono ajettavuus. lammikkoliimapuristimen jälkeinen suhteellisen märkä raina katkeaa helposti. Suuremman ajonopeuden ansiosta filmiliimapuristimella päästään suurempaan tuotantoon. Filmiliimapuristimen rakenteen ansiosta päällystyspastassa voidaan käyttää suurempia kuiva-ainepitoisuuksia kuin perinteisessä lammikkoliimapuristimessa. Tämän seurauksena kuivatusenergian tarve pienenee jopa puoleen lammikkoliimatun vaatimasta. Pienemmän kuivatusenergian ansiosta voidaan myös säästää laitteiston kustannuksissa, koska ei tarvita niin suurta määrää kuivatussylintereitä. Filmiliimapuristimessa myös pintaliiman kulutus on lähes vakio riippumatta pohjapaperin imukyvystä. Lisäksi päällystysaseman rakenne mahdollistaa erillisten konekiertojen käytön eri puolille paperia. Tämä mahdollistaa erilaisten liimojen käytön paperin eri puolille. Lammikkoliimapuristimen etuihin kuuluu sen mahdollistama paperin/kartongin suurempi sisäinen lujuus (z-suuntainen lujuus). Tämä johtuu liiman paremmasta tunkeutumisesta rainaan. Lammikkoliimapuristimen käyttö rajoittuukin nykyään lähes poikkeuksetta suhteellisen hitaille kartonkikoneille.

/1/

2.5 Filminsiirtopäällystys

Filminsiirtopäällystyksessä käytettävä teknologia kehitettiin 1980-luvulla. Tarpeen filminsiirtopäällystyksessä käytettäville laitteille loivat paperikoneiden koko ajan nousevat nopeudet, joiden ansiosta perinteisiä lammikkoliimapuristimia ei lammikon turbulenssin johdosta kyetty käyttämään. Ensisovellukset soveltuivat paperin pintaliimaukseen ja myöhemmin esitellyt laitteet lopulta varsinaiseen paperin päällystykseen.

Filminsiirtoteknologiasta kiinnostavan teki myös päällystyslaitteiston vaatima pienempi tilantarve, alhaisemmat investointikustannukset ja helpompi päänvienti. Uuden päällystysmenetelmän ansiosta myös paperin kuivatustarve väheni. Kuivatustarpeen väheneminen perustui päällystysmenetelmään, sillä filminsiirtopäällystyksessä paperin pintaan jäi vähemmän vettä, koska nipissä vesi puristui paperin sisään ja paperin pinta jäi kuivemmaksi.

Filminsiirtopäällystysmenetelmän periaate perustuu kahden telan paineenalaisessa nipissä tapahtuvaan paperin päällystykseen. Applikointitelan pinnalle päällystefilmi voidaan siirtää usealla eri tavalla. Yleensä päällystettyä applikoidaan ylimäärin telalle, josta se kaavataan pois joko terällä tai nykyisin yleistyneillä sauvoilla. Yleisin kaavaustyyppi on sauvakaavaus, jossa ylimäärä päällystettyä poistetaan applikointitelaa nähden vastakkaiseen suuntaan pyörivällä sauvalla. Sauva voi olla joko sileä tai uritettu. Sauva jättää applikointitelan päälle ainoastaan halutun määrän päällystettä.



Kuva 1 Filminsiirtopäällystysyksikkö paperitehtaalla /12/

Applikointitelan pinnalla oleva n.10–15 μm päällystefilmi siirretään lopulta paperirataan applikointitelan ja vastatelan muodostamassa nipissä. Päällystemäärät ovat tyypillisesti n. 8–15 g/m^2 . Pastan kuiva-ainepitoisuus on yleensä alueella 50–65 %. Päällystysaseman (kuva 1) jälkeen joudutaan käyttämään kosketuksetonta

kuivatusta eli infra- tai leijukuivatusta. Kosketukseton kuivatus kuivattaa päällystekerroksen riittävästi, jotta se ei tartu kuivatussyhintereihin myöhemmissä vaiheissa prosessia. /2, s. 196–198/

2.7 Filmin muodostus applikointitelan pinnalle

2.7.1 Viistetty terä

Päällystekerroksen siirtoon applikointitelan pinnalle voidaan käyttää joko telaa, terää tai uritettua tai sileää sauvaa. Filminmuodostuksessa applikointitelan pinnalle on tärkeää että filmi on tasainen, ilmaton ja juovaton. Jos filminmuodostuksessa ei onnistuta täydellisesti, paperin pinnalle saattaa jäädä päällystämättömiä kohtia.

Käytettäessä viistettyä terää päällystekerroksen muodostamiseen applikointitelan pinnalle tulisi käyttää päällystyspasta, joiden kuiva-ainepitoisuus on n. 60–65 % ja joiden Brookfield-viskositeetti on 750–1300 mPas. Applikointitelalle saatavaa päällystemäärää säädetään muuttamalla terän kuormitusta. Viistetyn terän käyttö asettaa suuria vaatimuksia päällystyspastaan vesirentiölle ja pohjapaperin absorptiokyvyille. Huono vesirentio johtaa karheaan päällystystulokseen filminsiirtopäällystyksessä. Viistetyn terä käytöstä pasta siirrossa applikointitelalle seuraa huono päällysteen tasaisuus käytettäessä n. 1000 m/min suuruisia ajonopeuksia. Ongelma korostuu erityisesti käytettäessä suuria päällystemääriä. Pienillä nopeuksilla viistetyn terän käyttö pasta siirrossa applikointitelalle aiheuttaa vastaavanlaisia ongelmia, kuin mihin teräpäällystyksessä on totuttu eli päällysteen naarmuisuuteen ja juovikkuuteen.

Nykyään parempia tapoja muodostaa päällystekerros applikointitelan pinnalle onkin taipuisien terien käyttö ja sauvojen käyttö applikointitapahtumassa. Taipuisien terien sekä sauvojen käyttö vähentää päällysteen juovikkuutta ja naarmuisuutta. Tämä on seurausta siitä, että hydraulista painetta voidaan kontrolloida ja pitää halutulla tasolla. Taipuisan terän käyttö mahdollistaa huomattavasti paremmat profiilit, kuin viistetyllä

terällä on mahdollista saavuttaa. Lisäksi vältetään juovat ja naarmut, joita viistetyn terän käyttö aiheuttaa. /12/

2.7.2 Urasauva

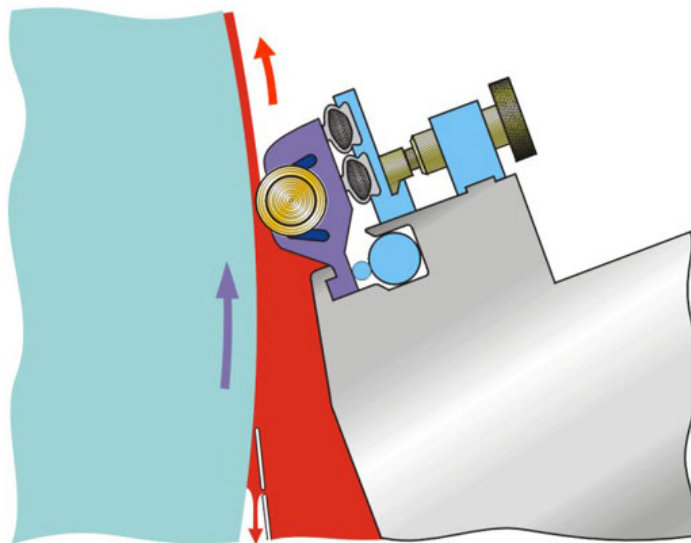
Käytettäessä urasauvaa päällystekerroksen muodostamiseen applikointitelan pinnalle urasauvan urien ja telan pinnalle jäävä vapaa tila määräävät applikointitelan pinnalle siirrettävän pastan määrän. Urien halkaisijan ja saatavien päällystemäärien välillä vallitsee lineaarinen suhde: mitä suurempi urien halkaisija, sitä suurempi päällystemäärä. Urien halkaisijat ovat yleensä 0,2–0,5 mm. Jotta urasauva kuluisi mahdollisimman tasaisesti ja saavutettaisiin mahdollisimman hyvä, tasainen juovaton ja naarmuton päällystystulos, sauvaa pyöritetään hitaasti.

Urasauvan käyttö päällystekerroksen muodostamiseen applikointitelan pinnalle tulisi huomioida sauvojen kulumisen ajan myötä. Käytetyn pastan viskositeettia ei erityisemmin ole rajoitettu, sopiva viskositeettialue on n.200–800 mPas. Onnistuneesti on käytetty jopa suurempia viskositeetteja. Ajettavuutta rajoittavaksi tekijäksi muodostuu filminsiirtopäällystykselle tyypilliset appelsiinikuvio ja sumuaminen. Suuria päällystemääriä ja suuria kuiva-ainepitoisuuksia (>60 %) käytettäessä appelsiinikuvion muodostuminen voi heikentää päällysteen laatua merkittävästi. Vastaavasti käytettäessä pientä kuiva-ainepitoisuutta (<40 %) ja suuria nopeuksia päällyste muuttuu epätasaiseksi koska vesi penetroituu voimakkaasti pohjapaperiin. Tämä asettaa suuria vaatimuksia pastan vesiretentiolle käytettäessä pieniä kuiva-ainepitoisuuksia. /12/

2.7.3 Sileä sauva

Sileitä sauvoja käytetään päällystefilmin muodostamiseen samoista syistä kuin urasauvoja. Sileiden sauvojen halkaisijat ovat 14–60 millimetriä. Kulumisen on sauvan muodon vuoksi vähäisempää kuin käytettäessä uritettuja sauvoja. Pastan muodostus applikointitelan pinnalle perustuu hydrodynaamisiin voimiin. Muuttamalla

applikointitelan pinnalle kohdistuvaa, sauvan muodostamaa painetta voidaan säätää päällystemäärää. Jotta saavutettaisiin päällysteelle hyvät poikkisuuntaiset profiilit, paineen tulisi olla n. 80 - 250 kPa. Sileän sauvan käyttö (kuva 2) mahdollistaa laajan ajoikkunan ja suurienkin päällystemäärien saavuttamisen suurilla nopeuksilla ja käytettäessä suuria kuiva-ainepitoisuuksia.



Kuva 2 Päällysteen siirto applikointitelalle sauvan avulla /12/

Päällystefilmin paksuus applikointitelan pinnalla riippuu ajonopeudesta ja pastan viskositeetista suurien leikkausnopeuksien alaisena. Käytettyjen pastojen viskositeetit ovat 400 – 1200 mPas. Päällystemäärä kasvaa suurilla ajonopeuksilla erityisesti, kun pastan viskositeetti on suuri suurien leikkausnopeuksien alaisena. Pienillä nopeuksilla ja käytettäessä pientä päällystypastan viskositeettia täytyy vastaavasti sauvan halkaisijaa kasvattaa, jotta päästään haluttuihin päällystemääriin. /12/

2.8 Pastan käyttäytyminen applikointinipissä

Päällysteen siirto päällystettävään paperiin tapahtuu filminsiirtopäällystyksessä kahden (applikointi)telan muodostamassa paineenalaisessa nipissä. Nipissä päällystefilmi siirtyy applikointitelan pinnalta paperin pinnalle. Saatava

päällystemäärä riippuu applikointitelan pinnalla olevasta päällystemäärästä, päällystyspastan ja pohjapaperin ominaisuuksista sekä siitä, mikä paine vallitsee nipissä. Eniten saavutettavaan päällystemäärään vaikuttaa applikointitelan pinnalla oleva päällysteen määrä.

2.9 Päällystefilmin halkeaminen

Pastan siirtyminen applikointitelalta pohjapaperiin ei tapahdu 100-prosenttisesti, vaan päällyste halkeaa epätasaisesti ja jakautuu n. 70 % paperin pinnalle ja 30 % jää applikointitelan pinnalle. Päällysteen halkeamiseen vaikuttaa olennaisesti applikointinipin jälkeen tapahtuva veden poistuminen pastasta ja sitä seuraava jakautuminen kahteen erilaiseen kerrokseen, liikkuvaan ja liikkumattomaan. Halkeaminen tapahtuu todennäköisesti päällystefilmin liikkuvassa kerroksessa, jossa z-suuntainen lujuus on pienin. Käytettävien ajonopuksien lisäksi halkeamiseen vaikuttaa pastan kerrosten suhteellinen osuus ja nestefaasin fysikaaliset ominaisuudet.

Jotta halkeaminen tapahtuisi mahdollisimman tasaisesti ja välttyttäisiin filmsiirtopäällystykselle tyypillisiltä appelsiinikuvio ja sumuamisilmiöiltä, tulisi liikkuvan kerroksen olla mahdollisimman ohut. Kerroksen ohuuteen voidaan vaikuttaa pigmentti ja raaka-aine valinnoilla. Pastan kuiva-ainepitoisuus tulisi olla mahdollisimman suuri ja viskositeetti mahdollisimman pieni.

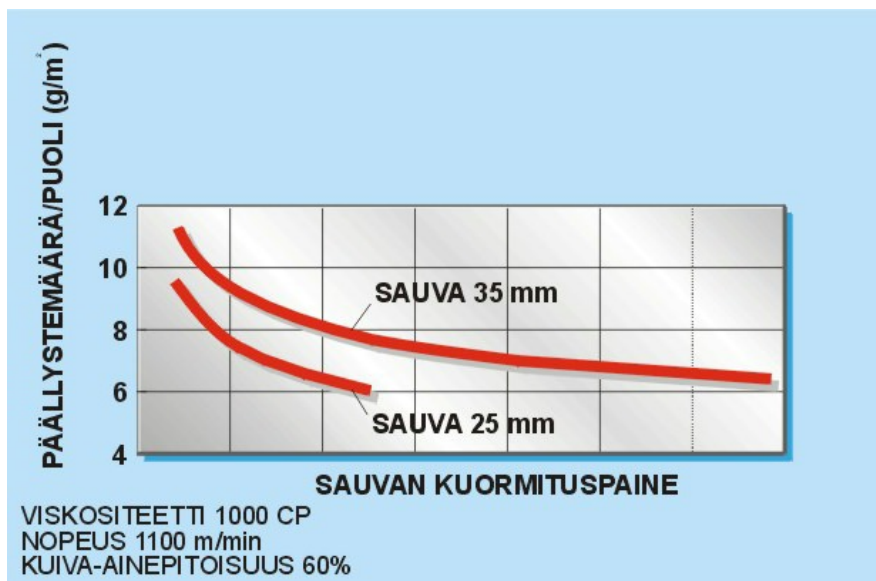
Liikkumattoman kerroksen ominaisuuksiin vaikuttavat valitun pigmentin koko ja kokojakauma. Vesirentioon vaikuttavat lisäaineet ja paksuntajat vaikuttavat pastan reologiseen käyttäytymiseen muuttamalla pastan leikkausohenevuutta ja viskoelastisuutta. Pastan leikkausoheneva käyttäytyminen ja pieni elastisuus ovat edellytyksiä filmsiirtopäällystykseen onnistumiselle. Pastan liikkumaton kerros puristuu nipissä kasaan, kun siihen kohdistuu painepulssi. Nipin jälkeen osa puristumisesta palautuu eli liikkumaton kerros käyttäytyy viskoelastisesti. Edellä kuvattuun ilmiöön perustuu pastan tasoittuminen nipin jälkeen. Päällysteen

tasoittumiseen liittyy myös ei-toivottu ilmiö eli sumuaminen. Ajonopeuden nosto kasvattaa pastaan kohdistuvaa painepulssia, ja näin myös ongelmat lisääntyvät. Ajonopeuden noston myötä myös pastan viipymäaika nipissä pienenee. Tämän seurauksena vedellä on vähemmän aikaa poistua pastasta. Tämä vuorostaan johtaa nestefaasin suhteellisen osuuden kasvuun pastassa ja halkeaminen tapahtuu epäsiististi, jolloin myös sumuaminen lisääntyy. Näistä sysistä pastan kuiva-ainepitoisuus tulisikin olla mahdollisimman suuri, jolloin veden poistumistarve on pienempi ja ongelmat pienenevät. /2, s. 196–198/

2.10 Päälystemäärän säätö

Päälystemäärää filminsiirtopäälystyksessä säädellään esimerkiksi sauvojen muotojen avulla. Käytettäessä terää pastan siirtoon applikointitelan pinnalle vaikuttaa päälystemäärään terän paine. Applikointitelan pinnalle muodostuvan filmin tulisi olla mahdollisimman tasainen, ilmaton ja juovaton. Pienihalkaisijaista uritettua sauvaa käytetään vain pintaliimaukseen tai pigmentointiin, jolloin applikoitavat päälystemäärät ovat pieniä.

Suurihalkaisijaisia uritettuja sauvoja käytetään vuorostaan, kun pyritään suuriin päälystemääriin (6–15 g/m²) hitailla koneilla (kuva 3).



Kuva 3 Filminsiirtopäälystyksessä saatava päälystemäärä sauvan halkaisijan ja kuormituspaineen funktiona /12/

Sileällä sauvalla saatavat päällystemäärät perustuvat hydrodynaamisten voimien vaikutuksiin. Mikäli pyritään suuriin päällystysnopeuksiin, täytyy sileän sauvan halkaisijaa pienentää. Kokonaisuutena voidaan todeta leveämpien ja syvempien uraprofiilien saavan aikaan suuremman päällystemäärän. Eräs toinen päällystemäärään vaikuttava tekijä on sauvan kuormitusletkun paine. Käytettävien applikointitelojen kovuudella on myös merkitystä saataviin päällystemääriin. Muiden muuttujien pysyessä vakiona ja applikointitelan pinnoitetta pehmenettäessä päällystemäärä kasvaa. Myös päällysteen kuiva-ainepitoisuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa saataviin päällystemääriin. /12/

2.11 Filminsiirtopäällystyksen ongelmia

Jokaisella päällystysmenetelmällä on myös omia ongelmakohtia.

Filminsiirtopäällystyksessä suuremmiksi ongelmiksi muodostuvat päällysteen sumuaminen sekä appelsiinikuvion synty suurilla ajonopeuksilla. Molemmat ongelmat ovat seurausta päällystysyksikön rakenteesta ja niiden oletetaan syntyvän päällystysfilmin halkeamisen yhteydessä. Sumuaminen tapahtuu pisaroiden roiskuessa takaisin paperiin applikointitelan ja paperin erotessa nipin jälkeen. Appelsiinikuvio syntyy myös nipin halkeamistapahtuman seurauksena. Molemmat ongelmat heikentävät päällystetyn paperin laatua ja ongelmat huomataan selvästi painetun paperin kuvasta. Appelsiinikuvion ja sumuamisen syntyyn vaikuttavat pääasiassa applikointitelan pinnalla oleva päällystyspasta määrä, pasta reologinen käyttäytyminen ja ajonopeus. Jotta ongelmia filmin halkeamisessa pystyttäisiin välttämään, tulisi päällystekerroksen nestefaasin olla mahdollisimman ohut.

Appelsiinikuvion ja sumuamiseen hallintakeinoina voidaan pitää niiden aiheuttajien hallintaa. Suuria päällystemääriä, suurta ajonopeutta ja suurta päällystyspasta viskositeettia tulisi välttää. Vastaavasti suuren kuiva-ainepitoisuuden käyttö pastassa ja suuren viivakuorman käyttö nipissä pienentävät appelsiinikuvio-ilmiotä. Suuriin ajonopeuksiin voidaan päästä pienentämällä päällystyspasta viskositeettia ja

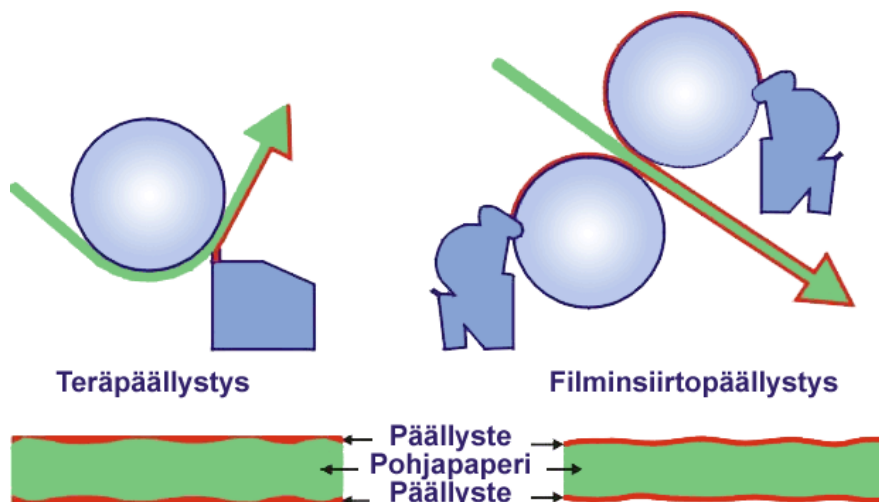
suurentamalla kuiva-ainepitoisuutta tiettyyn pisteeseen saakka. Näiden hallintakeinojen käyttö vähentää myös päällysteen sumuamista. /12/

2.12 Filminsiirtopäällystys vs. teräpäällystys

Filminsiirtopäällystys ja teräpäällystys tuottavat hyvin erilaisen päällystekerroksen päällystettävälle paperille (kuva 4). Teräpäällystyksessä paperin pinnalle muodostuu sileä ja tasainen päällystekerros. Filminsiirtopäällystyksessä paperin pinnalle muodostuu paperin pinnan muotoja seuraava päällystekerros.

Filminsiirtopäällystyksellä saavutetaan hyvä tasainen kerrospaksuus ja päällysteen peitto on parempi kuin teräpäällystyksellä. Filminsiirtopäällystyksen käyttö edellyttää pohjapaperilta hyvää formaatiota, mikäli halutaan saavuttaa hyvä painojäljen tasaisuus. Päällystekerroksen karheus voikin aiheuttaa ongelmia painettaessa syväpainotuotteita. Syväpaino vaatii painettavalta paperilta hyvää kiiltoa ja sileyttä, tämän tuottamiseen teräpäällystetty paperi on parempi vaihtoehto.

Filminsiirtopäällystyksellä päällystetty paperi sopii hyvin offset-painettavien papereiden ja kartonkien päällystykseen. Teräpäällystyksellä päällystetty paperi soveltuu molempiin painomenetelmiin, mutta antaa paremman painojäljen syväpainossa.



Kuva 4 Filminsiirtopäällystyksen ja teräpäällystyksen tuottaman päällysteen rakenne

Ajettavuuden suhteen filminsiirtopäällystystä voidaan pitää parempana päällystysmenetelmänä, sillä päällystettävä paperi ei filminsiirtopäällystyksessä joudu kosketuksiin kaavausterän kanssa. Tämän vuoksi armeeraussellun määrää voidaan vähentää. Nopeuden nosto tiettyyn rajaan saakka ei huononna filminsiirtopäällystimen ajettavuutta. Suurilla nopeuksilla aikaisemmassa luvussa kuvatut appelsiinikuvio-ilmio sekä sumuaminen voivat muodostua nopeutta rajoittaviksi tekijöiksi. /2, s. 198/

3 PAPERIN HUOKOISUUS

Paperin huokoisuus johtuu ja on seurausta paperin rakenteesta. Paperin rakenne perustuu kuitujen muodostamaan verkkorakenteeseen, jonka ominaisuudet riippuvat kuitujen rakenteesta ja määrästä, niitä yhdistävistä sidoksista ja kyseisessä kohdassa vallitsevasta kuituorientaatiosta. /2, s. 8/

Kuitujen välissä sijaitsevat tilat eli huokokset muodostavat huokosverkoston. Huokosverkoston ominaisuudet, kuten kokonaistilavuus ja yksittäisten huokosten koko ja muoto, vaihtelevat eri paperilajeissa. /12/

Huokokset ovat huokossäteeltään kokoa $10^{-4} \dots 10^{-5}$ cm. Paperin huokoskokojakauma on tavallisesti leveä ja jakautunut lognormaalisti. Corten esittämän mallin avulla voidaan yrittää ymmärtää paperin lognormaalista huokoskokojakaumaa. Mallin avulla paperia käsitellään 2-dimensionaalisten verkostojen kerrostumana. Kerrostumassa esiintyy aukkoja satunnaisesti. Pääallekkäin asettuvista aukkokohdista muodostuu huokosia. Myös näiden huokosten muodostama jakauma tulee lognormaaliksi. Jakaumaa ei paperiteknisin keinoin ole mahdollista kaventaa tiettyä enempää. Tämä on seurausta paperin rakenteen satunnaisuudesta. Jos paperi on ohutta, suurten huokosten todennäköisyys kasvaa. /8, s. 85/

Huokoisuuden tasoa säädetään pääasiassa jauhatustasoa muuttamalla. Mekaanisen massan jäykistä ja bulkkisista kuiduista saadaan huokoisempaa paperia kuin kemiallisesta massasta valmistetusta. Lisäksi kemiallisten massojen jauhatus alentaa

edelleen huokoisuutta koska kuidut muuttuvat taipuisammiksi ja luhistuvat jauhatuksen ansiosta. /5, s. 20/

Paperin rakenteen yksiselitteinen kuvaaminen on tuskin mahdollista. Rakenteen muotoon sen sijaan voidaan vaikuttaa esim. lisäämällä jauhatuksen määrää, jolloin yksittäiset huokoiset pienenevät ja huokosten määrä lisääntyy oletettavasti. Paperikoneen puristinosalla paperin puristaminen pienentää huokosten tilavuutta, mutta huokosten lukumäärää ei kyseisessä prosessissa välttämättä muutu. Huono formaatio eli suuri pienimittakaavainen neliömassavaihtelu yhdessä puristuksen kanssa aiheuttavat paikallisia muutoksia arkin huokoisuudessa. Epätasainen (huono) formaatio tarkoittaa siis että paperissa esiintyy ohkaisia kohtia. Epätasaisen formaation ansiosta paperin permeabiliteetti suurenee. /8, s. 79/

Paperin tasossa olevan huokoskokojakauman ja huokoisuuden vaihtelut korreloivat voimakkaasti formaation kanssa. Rainan tiheys on yleensä suurempi suotautuneen flokin kohdalla kuin sen vieressä. Tiheysero kasvaa edelleen puristuksessa, jolloin paperin paksummat kohdat tiivistyvät enemmän. Paperin huokoisuudella ja formaatiolla on siis yhteys, jonka ansiosta formaation huonontuessa myös huokoisuusvaihtelu paperin tasossa lisääntyy. Tämä käy ilmi esimerkiksi mitattaessa paperin ilmanläpäisykykyä. Huonon formaation aiheuttamat ohuet kohdat paperissa lisäävät paperin huokoisuutta. /12/

Paperin huokoisuudella on erittäin paljon vaikutusta lopputuotteen ominaisuuksiin. Huokoisuus vaikuttaa merkittävästi ainakin seuraaviin paperin ominaisuuksiin: paperin painettavuuteen, paperin optisiin ominaisuuksiin ja paperin absorptiokykyyn.

Vaikuttamalla raaka-aine valintoihin, prosessiin ja käytettäviin kuituihin (esimerkiksi pitkäkuitu/lyhytkuitu) voidaan saavuttaa kullekin paperilajille haluttuja ominaisuuksia. Huomionarvoista paperinvalmistuksessa on, että täydellistä, jokaisessa ominaisuudessa hyvää paperia on mahdoton valmistaa, sillä ominaisuudet vaikuttavat

ristiin ja tietyn muuttujan parantuessa toiset yleensä heikkenevät. Näin kukin paperilaji on optimoitava säilyttäen ne hyvät ominaisuudet, jotka kyseiselle lajille on tärkeä saavuttaa.

3.1 Huokoisuuteen vaikuttavat tekijät

3.1.1 Kuitujen ominaisuudet

Paperinvalmistusprosessissa syntyvä paperiraina muodostaa monimutkaisen verkostorakenteen, jossa kuidut ovat sitoutuneita toisiinsa vetysidoksien avulla. Paperinvalmistusprosessin määrässä päässä veden pintajännitys pitää rainaa muodossaan, kunnes vetysidoksia alkaa syntyä puristinosan lopussa n. 40–45 % kuiva-ainepitoisuudessa. Vetysidoksia syntyy, koska kuitujen pinnoilla on hydroksyyli (OH)- ryhmiä, jotka sitovat kuidut toisiinsa. Vetysidoksien syntymiseksi kuitujen täytyy myös olla kosketuksissa toisiinsa. Sidokset ovat seurausta vedyn ja happiatomien välisestä attraktiosta. Vetysidokset eivät ole pysyviä sidoksia koska paperin kastuessa uudelleen vesi tunkeutuu olemassa olevien sidosten rajakohtiin ja heikentää paperi lujutta. /7, s. 41/

3.1.2 Huokosrakenteeseen vaikuttavat tekijät

Paperin huokoisuusominaisuuksiin kuten huokostilavuuteen ja huokoskokojakaumaan vaikuttavat saman tekijät kuin itse kuituverkostonkin. Sekä huokokset että kuidut ovat epätasaisesti ja satunnaisesti jakautuneita paperin eri kerroksissa. Paperin sisältämien huokosten kokoa ja lukumäärä vaihtelee paperin taso- ja paksuussuunnassa. Huokosiin vaikuttavat samat lainalaisuudet kuin kuituihinkin. Ne ovat orientoituneet kuten kuidut. Tämän ilmiön seurauksena paperin ominaisuudet, esimerkiksi imukyky, on erilainen kone- ja poikkisuunnassa. Huokosten suuntautumisen takia nesteet virtaavat paremmin konesuuntaan. Nesteen virtausominaisuudet paperissa riippuvat lähellä paperin pintaa olevista pienistä kapillaareista. Ilman virtaukseen paperin läpi

vaikuttavat lähinnä suuret paperin läpi ulottuvat huokokset. Kun kuituja jauhetaan, märkäpuristetaan tai kalanteroidaan, kuitujen väliset ilmatilat pienenevät ja huokosten koko pienenee. /12/

3.1.3 Paperinvalmistusprosessi

Paperinvalmistusprosessi itsessään vaikuttaa paperin huokoisuuteen ja huokosrakenteen vaihteluihin. Eräs huokoisuuden vaikuttava tekijä on paperin kokoonpuristuminen paperinvalmistusprosessissa. Raina joutuu puristuksen kohteeksi etenkin paperikoneen puristinosalla jossa rainaan kohdistuu kokoonpuristava paine. Viiraosalla sulppuun kohdistuu suotautumispaine ja muilla koneen osilla esimerkiksi kuivatusosalla paperin pinnassa tapahtuu z-suuntaista kutistumista. Tiivistymistä tapahtuu myös paperin kalanteroinnissa, jossa paperiin kohdistuu niin ikään paperia puristava voima. Paperin tiheyteen, huokoisuuteen ja bulkkiin vaikuttavat valitut raaka-aineet ja niiden tiheydet. Paperin perusominaisuuksista esimerkiksi formaatio syntyy jo paperikoneen märässä päässä, viiraosalla. Suotautumistapahtuman jälkeen rainan huokoisuuteen voidaan kuitenkin vielä vaikuttaa puristin- tai kuivatusosalla sekä kalanteroinnissa. /4, s. 7/

3.1.4 Märkäpuristus

Märkäpuristuksen tarkoituksena on poistaa rainasta tehokkaasti siihen sitoutunutta vettä. Märkäpuristuksen tehokkuus heijastuu suoraan tarvittavaan kuivatusenergian tarpeeseen paperikoneen kuivatusosalla. Paperikoneen puristinosalla raina kulkee kahden telan muodostaman nipin välistä. Puristuksen tehokkuuteen vaikuttaa puristusaika, paine ja lämpötila. Myös puristimen rakenteella voidaan vaikuttaa saavutettavaan kuiva-ainepitoisuuteen.

Rainan viskoelastisista ominaisuuksista vuoksi osa puristimessa tapahtuvista paperirainaan kohdistuvista muodonmuutoksista jää pysyviksi ja osa palautuu

puristuksen lakattua. Puristinosalla voidaan vielä vaikuttaa paperin tiheysjakaumaan. Kalanteroinnilla ei enää huomattavasti pystytä vaikuttamaan puristinosalla saatuun tiheysjakaumaan. /4, s. 8/

3.1.5 Kuivatus

Paperikoneen kuivatusosalla paperista pyritään poistamaan ylimääräinen kosteus paperista. Kun raina on saavuttanut tietyn kuiva-ainepitoisuuden, rainassa oleva liikkuva vesi on poistunut ja jäljellä on enää kuitujen sisällä oleva liikkumaton vesi joka on poistettava höyrystämällä. Tavallisesti kuivatus tapahtuu useilla lämmitettävillä kuivatussylintereillä joiden tehtävänä on haihduttaa paperiin jäänyt kosteus pois.

3.1.6 Kalanterointi

Painopaperin valmistuksen viimeisessä vaiheessa eli kalanteroinnissa voidaan vielä hieman vaikuttaa paperin tiheyteen eli tätä kautta myös huokoisuuteen. Kalanteroinnissa paperirata kulkee joko yhden tai monen, lämmitetyn kahden sylinterin muodostaman nipin läpi. Paperirataan kohdistuu nipissä rainaa kasaan puristava voima joka saa paperin tiheyden kasvamaan eli bulkin huonontumaan. Kalanteroinnissa vaikuttavat muuttujat ovat viipymäaika nipissä, telojen lämpötila ja päällyste, kalanterointinopeus ja viivakuorma. Myös paperin kosteus ja lämpötila sekä raaka-ainekostumus vaikuttavat kalanterointitulokseen. Kalanteroinnissa ei paperin alhaisesta kosteuspitoisuudesta johtuen enää voida vaikuttaa kuitujen sitoutumiseen. Kalanteroinnin tarkoituksena onkin paperin kiillon ja sileyden lisääminen sekä sopivan paksuusprofiilin aikaansaaminen. Kalanteroinnin seurauksen paperin opasiteetti ja vaaleus huononevat. Tämä johtuu paperin ohenemisesta kalanteroinnissa. Vaaleuden huonominen ja opasiteetin huononeminen johtuu myös pienemmästä määrästä kuitu-ilma rajapintoja paperissa. Koska paperi tiivistyy kalanteroinnissa, sillä on suotuisia vaikutuksia paperin painettavuuteen. Alhaisemman huokoisuuden ansiosta painoväriin kulutus pienenee ja painojälki paranee. /4, s. 8–9/

3.2 Huokoisuuden vaikutus paperin ominaisuuksiin

3.2.1 Nesteiden imeytyminen ja painettavuus

Paperin huokoisuus vaikuttaa olennaisesti paperin absorptio-ominaisuuksiin. Mitä huokoisempi paperi, sitä paremmin nesteet imeytyvät paperiin. Nesteiden penetraatiolla paperiin on merkitystä mm. painoväriin kulutukseen paperin painatuksessa. Pienemmän huokoisuuden omaavat paperit imevät painatuksessa vähemmän painoväriä. Tämän takia painotulos on parempi koska painomuste leviää pienemmälle alueelle kuin suurihuokoisissa papereissa. Kahvinvalmistuksessa tärkeissä suodatinpapereissa paperin tulee olla huokoista jotta kahvi suodattuu tehokkaasti ja nopeasti paperin läpi. Myös pehmopapereissa vedenimukyvyllä on suurta merkitystä, esimerkiksi talouspapereissa joiden tulisi absorboida itseensä mahdollisimman paljon nestettä. Päälystettävissä papereissa pohjapaperin huokoisuudella on merkitystä mm. päälystyspastan imeytymiseen pohjapaperiin. Pienemmän huokoisuuden omaavia pohjapapereita päälystettäessä pohjapaperiin imeytyy päälystystapahtuman seurauksena vähemmän vettä, tämä pienentää kuivatustarvetta ja tätä kautta kustannuksia. Päälystämättömillä papereilla jossa huokokset ovat suhteellisen suuria, nesteiden imeytyminen on huomattavasti suurempaa kuin päälystetyillä papereilla, joiden huokokset ovat pienempiä ja paperin pintarakenne muutenkin tiiviimpi.

/4, s. 10–11/

3.2.2 Optiset ominaisuudet

Paperin optisiin ominaisuuksiin vaikuttavat erittäin monet tekijät, mm. paperiin käytetyt raaka-aineet kuten kuidut ja täyteaineet, sekä mahdollinen paperin pintaliimaus tai päälystys. Kun paperiin osuu valo, osa valosta kulkeutuu paperin läpi, tätä kutsutaan transmissioksi. Osa valosta taittuu paperin sisään. Valo heijastuu ja taittuu kohdatessaan kuitujen ja täyteaineen välisiä ilma-rajapintoja. Osa tästä valosta palaa takaisin valonlähteen puolelle paperia. Kyseinen valo ei ole suunnattua vaan

diffuusioa, tätä kutsutaan heijastukseksi. Diffuusi heijastus on seurausta valon kulusta paperin sisällä. Valonsäteen osuessa optisesti tiiviiseen aineeseen paperin sisällä, osa

valosta heijastuu ja suurin osa jatkaa matkaansa tiiviimmän aineen sisään. Tätä kutsutaan valon sironnaksi. Valon lähestyessä paperin pintaa tapahtuu joko uusi taittuminen tai kokonaisheijastuminen. Osa paperin sisään taittuneesta valosta muuttuu lämmöksi. Absorboitunut valo voi keskittyä tietylle aallonpituudelle, tämä saa aikaan poikkeaman paperin läpi menneen ja heijastuneen valon aallonpituuksien energiajakaumassa. Valon absorptio vaikuttaa siis paperin väriin.

Paperin huokoisuudella on vaikutusta mm. paperin opasiteettiin, vaaleuteen ja kiiltoon. Erityisesti opasiteetti on riippuvainen paperin huokoisuudesta. Huokosten määrä vaikuttaa paperin opasiteettiin seuraavasti; mitä enemmän huokosia, sitä läpinäkymättömämpi paperi. Suuri määrä huokosia johtaa suureen määrään valoa taittavia rajapintoja. Kuitujen jauhatus siis huonontaa opasiteettia koska jauhatus saa kuidut sitoutumaan toisiinsa ja valonsirontaan vaikuttavien kuitujen vapaa pinta pienenee. /8, s. 118/

3.3 Huokoisuuden mittaus

Paperin huokosrakenne muodostaa hyvin monimutkaisen rakenteen jonka kuvaaminen yksiselitteisesti ei ole mahdollista. Huokoisuuden mittaukset perustuvatkin huokosrakenteen käyttäytymiseen tietyissä olosuhteissa. Paperin huokoisuutta mittaavat laitteet perustuvat joko ilmanläpäisyn mittaamiseen (Gurley, Bendtsen) tai paperin öljyn (Unger) ja veden (Cobb) absorptioon mittaamiseen. Mittalaitteet eivät siis varsinaisesti mittaa paperin huokoisuutta vaan huokoisuutta pyritään kuvaamaan paperin permeabiliteetin ja penetraation avulla.

Matemaattisesti huokoskokojakaumaa pyritään mallintamaan määrittämällä keskimääräinen huokoskoko. Matemaattisten mallien perusteella pyritään määrittämään sellainen sylinterimäinen huokonen joka käyttäytyisi kuin aito

huokonen mittaustilanteessa. Huokoskokojakauman mittaamiseksi on kehitetty kaksi menetelmää; elohopea ja kaasumenetelmä.

3.3.1 Elohopeamenetelmä

Mittausmenetelmä perustuu puukuidun ja elohopean väliseen kosketuskulmaan jonka ansiosta elohopea pyrkii pois paperin huokosista paineella joka on kääntäen verrannollinen säteeseen. Mittauksessa elohopeaan upotettuun paperiin kohdistetaan paine. Elohopea tunkeutuu sitä pienempiin huokosiin mitä suurempi paine on. Paperin huokostilavuus voidaan todeta elohopeanesteen järjestelmän tilavuuden muutoksena. /8/

3.3.2 Kaasumenetelmä

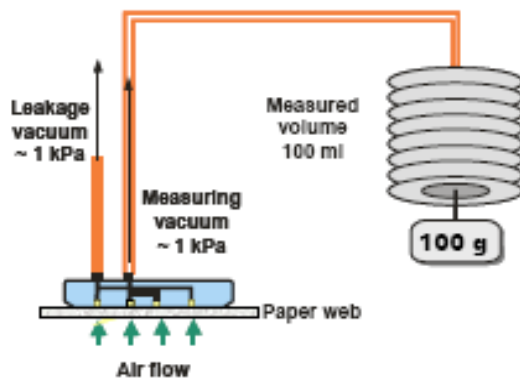
Kaasumenetelmässä paperin päälle laitetaan nestekerros ja paperin läpi puhalletaan kaasua tietyllä paineella. Paineen kasvaessa kaasu tunkeutuu yhä pienempiin huokosiin. /8/

3.3.3 Bendtsen- menetelmä

Bendtsen- menetelmässä paperin huokoisuutta tutkitaan paperin ilmanläpäisevyyttä tutkimalla. Testin tulos ilmoitetaan ilman tilavuusvirtana jonka tietty paine-ero saa aikaan tietyn paperin pinta-alan läpi. Bendtsen- laitteen antama mittayksikkö on ml/min, toisin sanoen mitä huokoisempaa paperi on, sitä suuremman lukeman mittalaite antaa. Mittausmenetelmä on ISO 5636-3:1992 standardoitu. /8/

3.3.4 Gurley- menetelmä

Gurley- menetelmässä paperin ilmanläpäisevyys määritellään keskimääräisenä ilmanläpäisyä tiettyä paine-eroa ja pinta-ala yksikköä kohti (kuva 5). Mittaustuloksen yksikkönä on tietyn ilmamäärän paperin läpi virtaamisen kuluva aika. Mitä pienempi mittausaika on sitä huokoisempi on paperi. Mittausmenetelmä on ISO 5636-5:2003 standardoitu. /8/



Kuva 5 Gurley mittalaitteen toimintaperiaate /10/

4 PERMI – MITTALAITE /10; 11/

Mittalaitteiden kehittyessä on-line huokoisuusanalysointilaitteista on tullut oiva työkalu paperinvalmistajille paperin laadun ja prosessin ajettavuuden parantamiseen. Uudet on-line huokoisuutta mittaavat mittalaitteet yltyvät edellisiä malleja huomattavasti parempaan mittaustarkkuuteen, nopeuteen ja luotettavuuteen. Koska paperin huokoisuus korreloi useiden paperinvalmistuksessa käytettävien tärkeiden muuttujien kanssa, antaa on-line huokoisuuden muutos tietoja paperinvalmistusprosessissa tapahtuneista muutoksista.

ACA Systemsin kehittämä PERMI- on-line- huokoisuusanalysointilaitteet mahdollistaa paperin huokoisuuden tarkan ja luotettavan seurannan reaaliaikaisesti. PERMI:n

avulla pystytään esimerkiksi tarkkailemaan ja toteamaan haluttujen muuttujien asettumisen lajinvaihtotilanteissa. PERMI:n toimii luotettavasti ja nopeasti eri paperilajeilla ainoastaan yhdellä kalibrointikerralla.

Mittaustulosten reaaliaikaisuuden ansiosta voidaan prosessimuuttujien muutoksien vaikutukset havaita välittömästi, eikä vasta paperilaboratoriosta saatujen tulosten jälkeen, jolloin tutkittava paperilaji on pahimmassa tapauksessa ajettu eikä muutoksia

enää voida tehdä. Koeajoissa saadut tulokset voidaan täten todeta välittömästi. Reaaliaikaisen mittauksen ansiosta konesuuntaiset muutokset paperin laadussa voidaan havaita nopeasti ja korjaavat toimenpiteet suorittaa välittömästi, näin saadaan tasalaatuisempaa paperia. Koska PERMI mittaa on-line huokoisuutta jatkuvasti, voidaan paperista saadut mittaustulokset helposti taulukoida ja säilyttää tulevaisuutta varten.

4.1 PERMI on-line huokoisuusanalysointilaite

PERMI on-line huokoisuusanalysointilaite asennetaan yleensä viimeisen kuivatusryhmän jälkeen ennen paperin päällystystä tai pintaliimausta. Käytettävissä

oleva tila ja huoltotilat määräävät myös laitteen sijainnin konelinjalla.

Sijoituspaikaksi käy myös tila konekalanterin jälkeen, mikäli paperista vielä on mitattavissa huokoisuus.

Varsinainen mittapää laitteessa sijaitsee yleensä paperiradan alapuolella, mutta on olemassa myös sovelluksia jossa mittapää on paperiradan yläpuolella (kuva 6).



Kuva 6 Permi- huokoisuusanturi paperiradan yläpuolella /12/

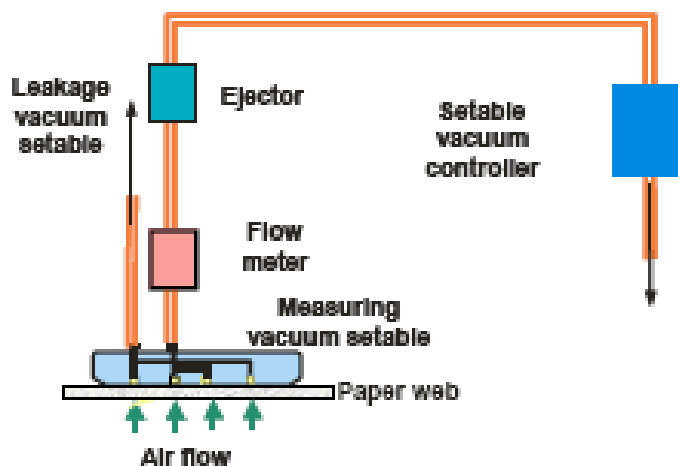
PERMI:n mittapää on vahva ja tehty kestämään siihen kohdistuvia rasituksia, myös ratakatkojen aikana. Paperia koskettava mittapää on erikoispäällystetty, tällä pyritään pienentämään kitkaa paperin ja mittapään välillä sekä ehkäisemää pölyämistä ja lian muodostumista mittapään paperia koskettavaan osaan. Laitteessa on myös automaattinen puhdistustoiminto joka mahdollistaa laitteen yhtämittaisen operoinnin ilman mekaanista puhdistusta, paperilajista riippuen, jopa 2 kuukauden ajan. Laitteen suunnittelussa on panostettu helppoon huolettavuuteen ja laite on lyhyen kunnossapitoseisokin aikana huollettavissa muutamassa minuutissa, samalla laitteen toiminta voidaan todeta käyttäen ulkoisia näytteitä.

PERMI tarvitsee toimiakseen ainoastaan yhden kalibrointikäyrän kullakin paperikoneella millä se on käytössä.

4.2 Toimintaperiaate

PERMI huokoisuusanalysointilaitteet käyttävät muista vastaavista laitteista poikkeavaa tekniikkaa. Perinteisissä mittalaitteissa paperiradan läpi menevän ilman läpimenoaika mitataan, PERMI mittaa paperiradan läpi menevän virtauksen (kuva 7).

Näytteenottoaajuus voi olla jopa 500 Hz:ä. PERMI mittaa reaaliaikaista paperin huokoisuutta ja antaa ajan tasalla olevaa informaatiota muutoksista paperin huokoisuudessa. Reaaliaikaisen informaation ansiosta paperinvalmistusprosessin muuttujiin voidaan tehdä tarvittavia muutoksia



Kuva 7 PERMI-mittalaitteen toimintaperiaate /10/

4.3 Johtopäätökset

Nykyiset reaaliaikaiset huokoisuusanalysointilaitteet kuten ACA Systemsin kehittämä PERMI, antavat tarkkaa tietoa paperinvalmistusprosessista kokonaisuudessaan. On-line huokoisuuden seuraaminen on tuonut myös paljon lisätietoja huokoisuuden muutoksista esimerkiksi paperikoneen nopeusvaihtelujen, lajinvaihtojen ja muiden tavanomaisuudesta poikkeavien tapahtumien aikana. On-line huokoisuuden mittaus mahdollistaa paremman paperin laadun seurannan kuin pelkillä tavanomaisilla laboratoriomittauksilla. On-line huokoisuuden mittauksen avulla voidaan myös ymmärtää raaka-aineiden ja märän pään kemian toiminnan vaikutusta lopputuotteen

laatuun ja paperikoneen ajettavuuteen. Voidaankin sanoa että huokoisuuden pysytellessä samalla alueella, myös koneen muut ominaisuudet ovat tasapainossa.

Tulevaisuudessa on-line huokoisuutta voidaan todennäköisesti käyttää yhdessä muiden konesuuntaisten säätöjen kanssa paperin laadun ja koneen ajettavuuden optimointiin.

5 TYÖN SUORITUS

Opinnäytetyöhön liittyvät mittausjaksot suoritettiin kahdella eri M-Realin tehtaalla. Tehtaalla A pyrittiin selvittämään vesiretention ja on-line-huokoisuuden yhteyttä. Tehtaan A mittausjakso toteutettiin 21. ja 22. helmikuuta 2008. Tehtaalla B pyrittiin selvittämään pastareseptin muutoksien vaikutusta vesiretention. Mittausjakso toteutettiin 25.3.2008–27.3.2008.

5.1 Mittausjakso Tehtaalla A

Tehtaalla A otettiin pastanäytteitä tunnin välein 1- ja 2-päällystysasemien konekiertoista. Näytteitä otettiin myös pastan varastosäiliöstä kolmen tunnin välein. Käytössä oli yksi pohjapaperi. Pohjapaperi oli ajettu 18.2.2008 lajinvaihtotilanteessa. M-Realin Tehtaalla A käytössä olevan Permi on-line-huokoisuusanalysointilaitteen mukaan huokoisuus oli pohjapaperia ajettaessa 1060 ml/min.

1- ja 2-asemien pastan konekiertojen pastanäytteet otettiin konekierron konesäiliöistä. Varastosäiliön pastanäytteet otettiin kolmen tunnin välein varastosäiliöstä E5. Näytteet otettiin kaikista mittauspisteistä näyttekauhalla. Näytteiden lämpötila ja kuiva-ainepitoisuus mitattiin välittömästi näytteenoton jälkeen. Tämän jälkeen pastanäytteet sihdattiin sihtipussin avulla.

Pohjapaperista leikattiin pohjapaperinäytteet tarkoitukseen suunnitellulla leikkurilla. Tämän jälkeen pohjapaperinäytteet punnittiin ja vesiretentiomittaukset suoritettiin PDWR-laitteella Mikko Reentien opinnäytetyössä luvussa 5 kuvatulla tavalla.

Tehtaalla A vesiretentiomittaukset suoritettiin pastalaboratoriossa vallitsevissa olosuhteissa. Mittausjakson alussa laite kalibroitiin ja mittausparametreiksi määritettiin kyseiselle pohjapaperille ja pastalle parhaiten soveltuvat arvot. Kokeiden perusteella valittiin mittauspaineeksi 1 bar ja mittausajaksi 3000 ms. Kyseisiä arvoja käytettiin koko mittausjakson ajan. Rinnakkaisia määryksiä tehtiin kolme kustakin pastanäytteestä.

5.2 Mittausjakso Tehtaalla B

Tehtaalla B pastanäytteet otettiin mikseristä kunkin pastaerän valmistuessa. Pastanäytteitä otettiin myös 1- ja 2-asemien pastan konekierrosta konekiertojen näytteenottopisteistä.

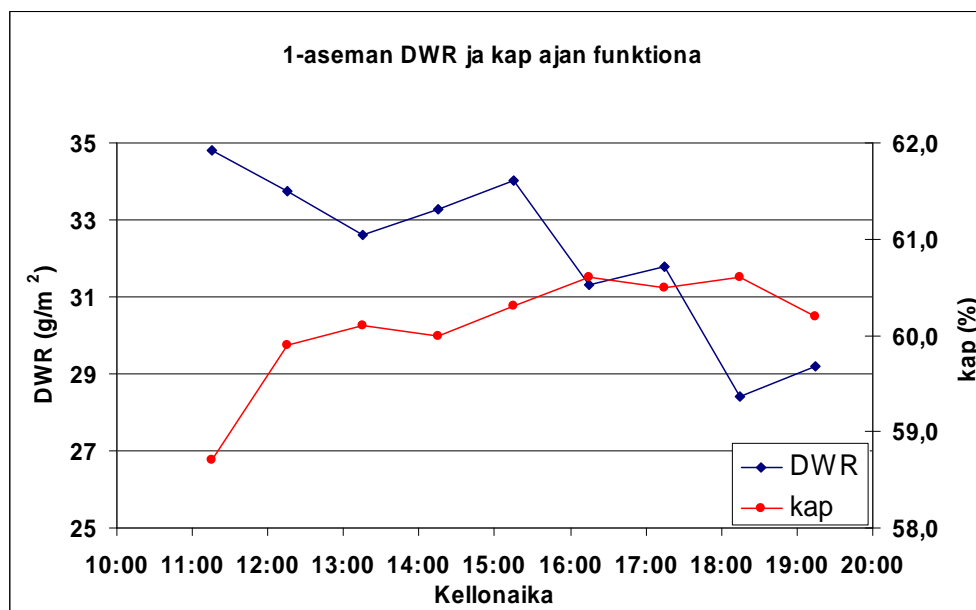
Tehtaalla B tehtiin mittausjakson aikana muutoksia pastareseptiin, joilla selvitettiin eri pastakomponenttien vaikutusta pastan dynaamiseen vesiretentioon. Ensimmäisenä mittauspäivänä tutkittiin sideaineen 3 vaikutusta vesiretentioon. Seuraavana päivänä tutkittiin pigmenttien 2 ja 3 osuuden muutoksen vaikutusta vesiretentioon. Tutkittiin myös pohjapaperin ylä- ja alapuolien välistä eroa ja pohjapaperin keskiradan ja reunaradan välistä eroa vesiretention suhteen. Kolmantena mittauspäivänä tutkittiin sideaine 1/sideaine 2-osuuden sekä pigmentti 1/pigmentti 3-osuuden vaikutuksia pastan vesiretentioon.

Tehtaalla B pastan dynaaminen vesiretentio mitattiin PDWR-laitteella, pastakeittiön ulkopuolella, pastamikserin läheisyydessä. Mittaukset suoritettiin konesalissa vallitsevissa olosuhteissa. Kokeiden perusteella valittiin mittauspaineeksi 1,6 bar ja mittausajaksi 5000 ms. Kyseisiä arvoja käytettiin koko mittausjakson ajan. Rinnakkaisia määryksiä tehtiin kolme kustakin pastanäytteestä.

6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

6.1 Tehtaan A tulosten tarkastelu

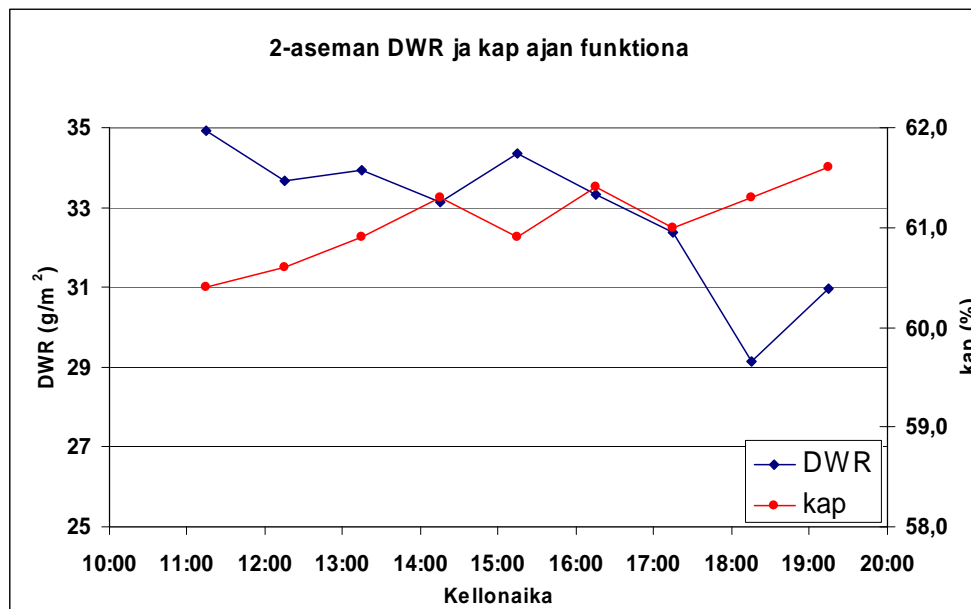
Kuvissa 8 ja 9 on esitetty 1-aseman ja 2-aseman pastojen dynaamiset vesiretentioarvot ja kuiva-ainepitoisuudet eri mittausajankohtina. Kuvista on havaittavissa yleisellä tasolla, että kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa vesiretentioarvo pienenee eli vesiretentio paranee. Koska kuiva-ainepitoisuuden muutos on pienehkö, muutokset vesiretentiossa mittausajankohtien välillä ovat melko lieviä ja täten mittausvirheen osuus muutoksesta on suuri.



Kuva 8 1-aseman dynaaminen vesiretentio ja kuiva-ainepitoisuus ajan funktiona

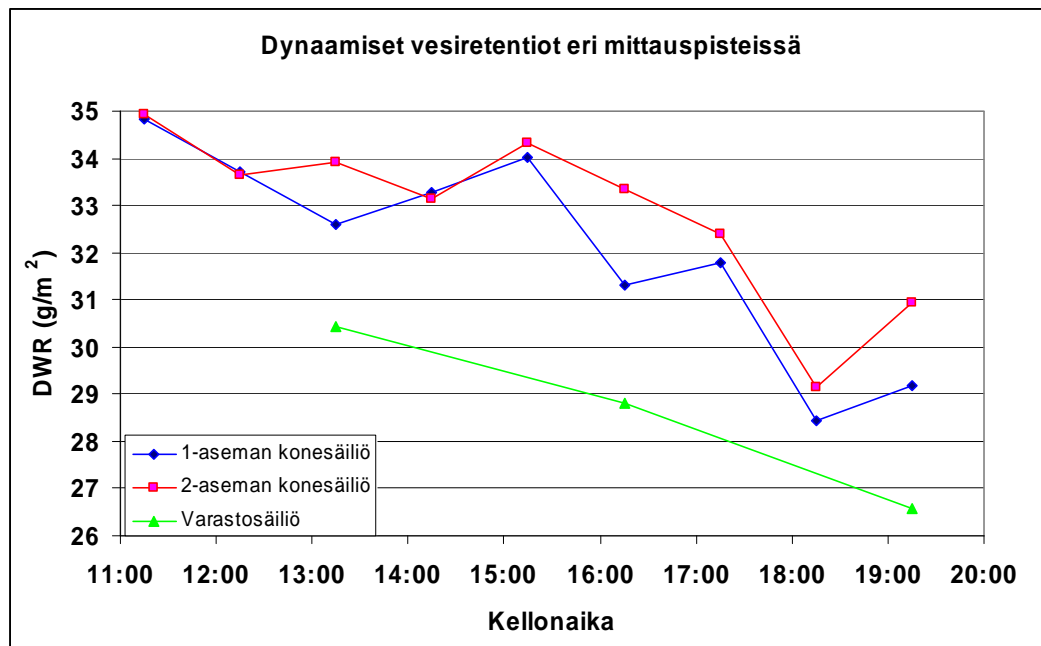
Kuten kuvista 8 ja 9 on havaittavissa, 2-aseman kuiva-ainepitoisuus on koko mittausjakson ajan korkeammalla tasolla kuin 1-aseman kuiva-ainepitoisuus. Pastakeittiön tavoitekuiva-ainepitoisuus oli mittausjakson aikana 57,0 %. Kuten

kuvista 8 ja 9 on nähtävissä, todelliset kuiva-ainepitoisuudet asemien konekierroissa ovat korkeammat kuin pastakeittiön tavoitekuiva-ainepitoisuus.



Kuva 9 2-aseman dynaaminen vesiretentio ja kuiva-ainepitoisuus ajan funktiona

Kuvassa 10 on esitetty eri mittauspisteiden dynaamiset vesiretentiot eri mittausajankohtina. Mittausjakson aikana on havaittavissa laskeva trendi dynaamisissa vesiretentioarvoissa. Varastosäiliön pastan vesiretentioarvo on laskenut mittausjakson aikana selkeästi, tämän seurauksena myös asemien vesiretentioarvot ovat laskeneet. Varastosäiliön vesiretentioarvo on selkeästi alemmalla tasolla kuin asemien vesiretentioarvot.

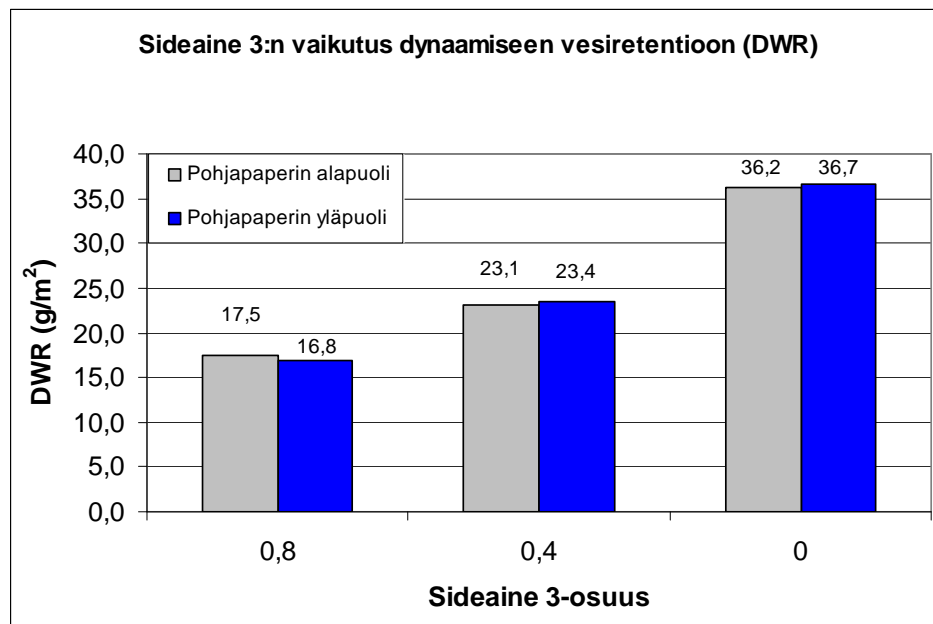


Kuva 10 Dynaamiset vesiretentiot ajan funktiona kussakin mittauspisteessä

6.2 Tehtaan B tulosten tarkastelu

6.2.1 Sideaine 3-osuuden vaikutus vesiretentioon

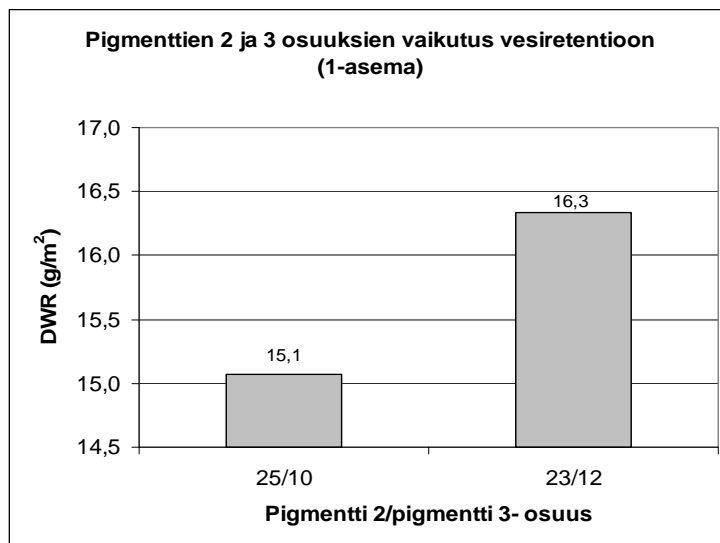
25.3.2008 tutkittiin sideaine 3- osuuden vaikutusta pastan vesiretentioon. Kuvasta 9 on selkeästi havaittavissa sideaine 3- osuuden muutoksen vaikutus pastan dynaamiseen vesiretentioon. Alkuperäisenä referenssinä käytettiin tehtaalla käytössä olevan pastareseptin sideaine 3- osuutta, joka oli 0,8 osaa. Kuvasta 11 on myös havaittavissa, että mittaustulosten perusteella ei pystytä toteamaan eroja paperin alaja yläpuolien vesiretentioarvoissa. Kuvasta 11 voidaan todeta, että sideaine 3:n vähentäminen kasvattaa päällystyspastan vesiretentioarvoa eli vesiretentio heikkenee.



Kuva 11 Sideaine 3-osuuden vaikutus dynaamiseen vesiretention

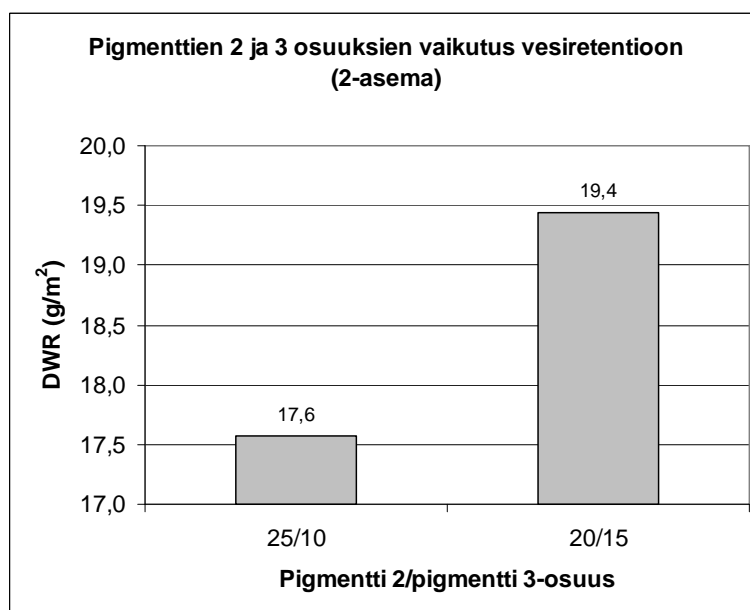
6.2.2 Pigmenttien 2 ja 3 vaikutus vesiretention

Tässä osiossa tutkittiin pigmenttien 2 ja 3 vaikutusta pastan vesiretention. Koeajossa muutettiin pigmenttien 2 ja 3- osuuksia päällystyspastassa, pigmenttien 2 ja 3 kokonaisuuden kuitenkin ollessa vakio 35 osaa. Kuvassa 12 on esitetty 1- aseman pastan vesiretentionarvossa tapahtunut muutos, kun pigmenttien 2 ja 3 osuuksia on muutettu. Pigmentti 2- osuutta on pienennetty 2 osaa ja pigmentti 3- osuutta on kasvatettu 2 osaa. Pigmentti 2- osuuden pienentäminen ja Pigmentti 3- osuuden nostaminen kasvattaa pastan vesiretentionarvoa hieman eli vesiretention heikkenee.



Kuva 12 Pigmenttien 2 ja 3 vaikutus vesiretentioon (1-asema)

2- asemalla pigmentti 2- osuutta laskettiin hieman enemmän eli 5 osaa ja vastaavasti pigmentti 3- osuutta kasvatettiin 5 osaa. Kuvassa 13 on havaittavissa, että pigmentti 2- osuuden vähentäminen ja pigmentti 3- osuuden nostaminen kasvattaa selkeästi vesiretentioarvoa eli vesiretentio heikkenee.

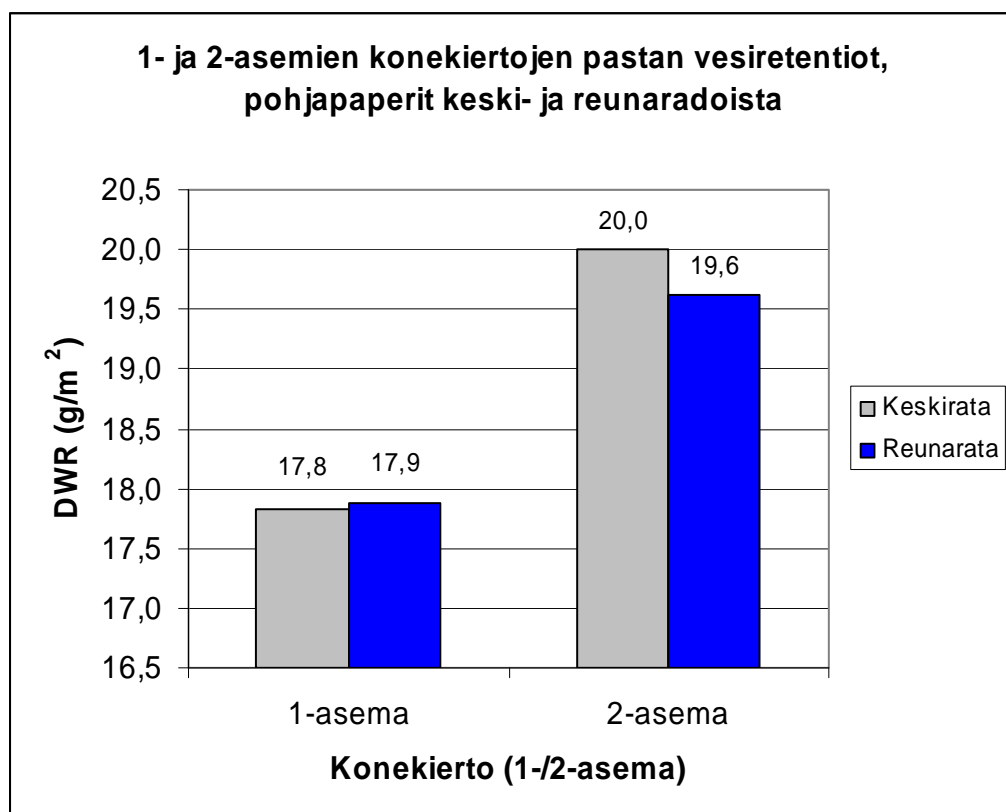


Kuva 13 Pigmenttien 2 ja 3- osuuden vaikutus vesiretentioon (2-asema)

6.2.3 Konekiertojen vesiretentiot

Konekiertojen vesiretentioita tutkittiin ottamalla näytteitä 1- ja 2- asemien konekierroista 26. ja 27. maaliskuuta 2008. Samalla tutkittiin myös pohjapaperin keski- ja reunaradan välistä eroa vesiretention suhteen.

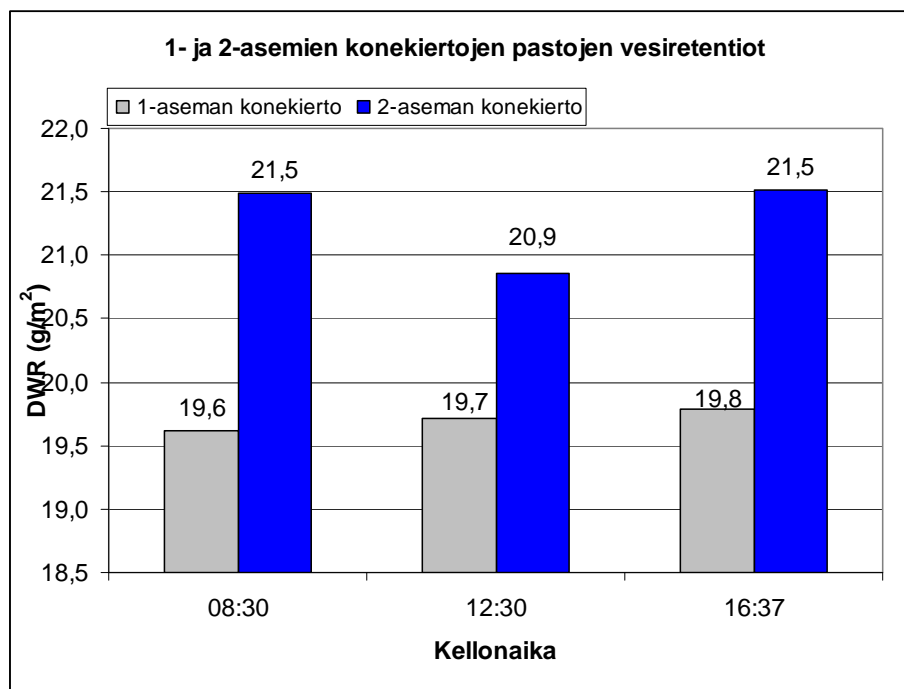
Kuvasta 14 on nähtävissä selkeä ero 1- ja 2- asemien välillä pastan vesiretentioissa. Keskiradan ja reunaradan välillä ei ole havaittavaa eroa.



Kuva 14 1- ja 2- asemien konekiertojen pastojen vesiretentiot, pohjapapereina keski- ja reunaratanäytteet

Kuvasta 15 on havaittavissa jälleen ero 1- ja 2- asemien välillä pastojen vesiretentioissa. Mittausjaksojen aikana 1- ja 2- asemien konekiertojen pastojen kuiva-ainepitoisuudet poikkesivat hieman toisistaan, 1- aseman pastan kuiva-ainepitoisuuden

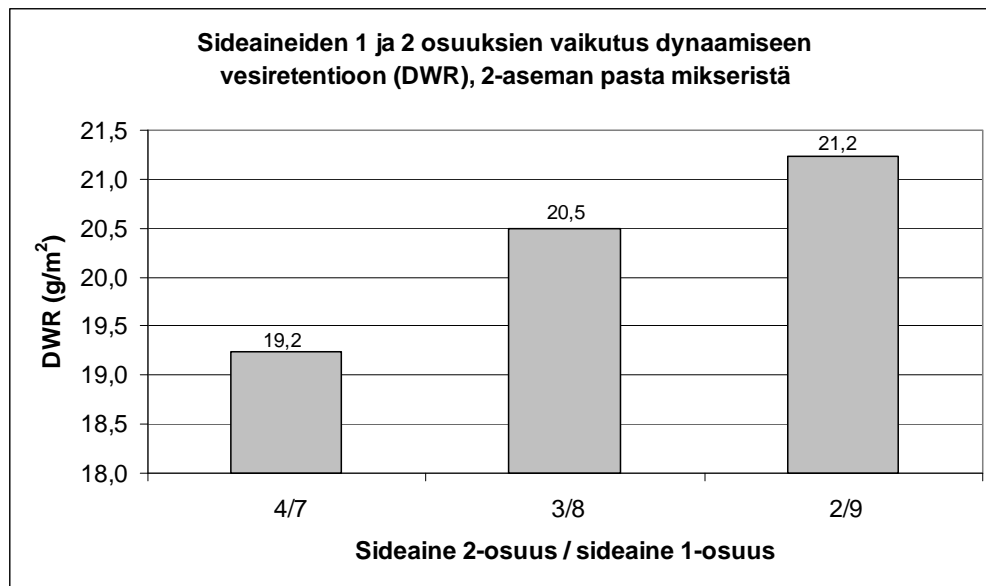
ollessa jatkuvasti noin 1 % - yksikön korkeampi kuin 2- aseman. Tämä selittää osaltaan eroa 1- ja 2- asemien konekiertojen pastojen vesiretentioarvoissa. Mittaustuloksista voidaan myös todeta, että konekiertojen pastojen vesiretentiot säilyvät samalla tasolla koko mittausjakson ajan, pastaeriin tehdyistä muutoksista huolimatta. Kuvan 15 mittaustulokset on mitattu 27.3.2008, jolloin tehtiin muutoksia sideaine 1 ja 2- osuuteen ja pigmentti 1 ja 3- osuuteen.



Kuva 15 1- ja 2-asemien konekiertojen pastan vesiretentiot

6.2.4 Sideaine 1 ja 2- osuuden vaikutus vesiretentioon

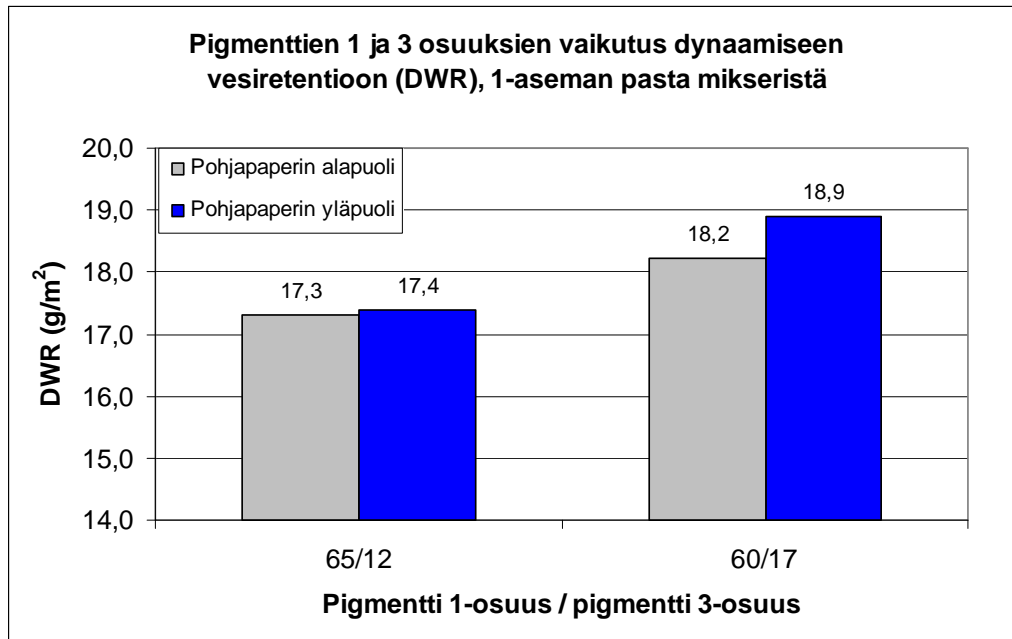
27.3.2008 tutkittiin sideaine 1 ja 2- osuuden vaikutusta pastan vesiretentioon. Koeajossa sideaine 2- osuutta pienennettiin ja sideaine 1- osuutta kasvatettiin kuvassa 16 esitettyjen arvojen mukaisesti. Kuvasta 16 voidaan todeta, että sideaine 2- osuuden pienentäminen ja sideaine 1- osuuden nostaminen kasvattaa vesiretentioarvoa eli vesiretentio huononee.



Kuva 16 Sideaine 1 ja 2-osuuden vaikutus vesirentioon

6.2.5 Pigmentti 1 ja 3- osuuden vaikutus vesirentioon

27.3.2008 suoritetuissa mittauksissa tutkittiin myös pigmentti 1/pigmentti 3- osuuden vaikutusta pastan vesirentioon. Pigmentti 1- osuutta pienennettiin 5 osaa ja pigmentti 3- osuutta nostettiin 5 osaa. Mittaukset suoritettiin pohjapaperin ylä- ja alapuolilla. Kuvasta 17 on nähtävissä, että pigmentti 1- osuuden vähentäminen ja pigmentti 3- osuuden nostaminen kasvattaa pastan vesirentioarvoa hieman eli vesirentio heikkenee. Kuvasta 17 voidaan myös havaita, että pohjapaperin ylä- ja alapuolen välillä ei ole merkittävää eroa pastan vesirention suhteen.



Kuva 17 Pigmenttien 1 ja 3-osuuden vaikutus vesiretention

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Tehtaana A johtopäätökset

Tehtaan A mittaustulokset osoittavat, että ACA Systemsin PDWR-laitteen avulla voidaan todeta eroja asemien 1 ja 2 pastojen ja varastosäiliön pastan vesiretention välillä. Varastosäiliön pastan vesiretention arvo on selkeästi alhaisempi kuin asemien pastojen vesiretention arvot. Mittausjakson aikana seurattiin myös pastan kuiva-ainepitoisuutta eri mittauspisteissä ja saadut tutkimustulokset osoittavat riippuvuuden pastan kuiva-ainepitoisuuden ja vesiretention välillä. Tutkimuksissa todettiin, että kuiva-ainepitoisuuden noustessa pastan vesiretention arvo laskee.

Tehtaalla A oli alun perin tarkoitus tutkia yhteyttä on-line-huokoisuuden ja dynaamisen vesiretention välillä. Käytännön syistä käytössä oli kuitenkin vain yksi lajinvaihtotilanteessa ajettu pohjapaperinäyte. Pohjapaperista mitattu on-line-

huokoisuus oli tasolla 1060 ml/min. Vertailunäytteiden puuttuessa yhteyttä dynaamisen vesiretention ja on-line-huokoisuuden välillä ei voitu osoittaa.

Jatkotoimenpiteinä suositellaan lisämittauksia tehtaalla A. Lisämittauksissa tulisi olla käytettävissä useita eri pohjapapereita, joista on mitattu on-line-huokoisuus.

Lisämittauksista saadun datan perusteella voitaisiin vertailla eri huokoisuusalueen pohjapapereiden vaikutusta pastan dynaamiseen vesiretention.

Pidempiaikaisemmalla seurannalla voitaisiin myös tutkia pohjapaperin huokoisuuden vaihtelun vaikutusta pastan vesiretention.

7.2 Tehtaan B johtopäätökset

Tehtaan B mittaustulokset antavat laajemman näkökulman ACA Systemsin PDWR-laitteen toiminnasta tehdasolosuhteissa. Mittaustuloksista voidaan todeta eri sideaineiden ja pigmenttien vaikutuksia pastan dynaamiseen vesiretention.

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että sideaine 3:n vähentäminen kasvattaa päällystyspastan vesiretentionarvoa eli pastan vesiretention heikkenee. Sideaine 3:n osuuden puolittaminen alkuperäisestä osuudesta (0,8) kasvattaa vesiretentionarvoa noin 30 % ja sideaineen 3 poistaminen kokonaan kasvattaa vesiretentionarvon yli kaksinkertaiseksi alkuperäiseen verrattuna.

Pigmenttien 2 ja 3 vaikutusta pastan vesiretentionon tutkittiin 1-aseman ja 2-aseman pastaeristä. Molempien asemien pastoista saadut mittaustulokset osoittavat, että pigmentti 2 osuuden pienentäminen ja pigmentti 3 osuuden nostaminen kasvattaa päällystyspastan vesiretentionarvoa.

Konekiertojen vesiretentionoita tutkittiin ottamalla näytteitä 1- ja 2-asemien konekierroista. Mittaustulokset osoittavat, että 1-aseman pastan vesiretentionarvo on noin 10 % alhaisempi kuin 2-aseman pastan vesiretentionarvo. Mittaustuloksista voidaan myös todeta, että konekiertojen pastojen vesiretentionot säilyvät samalla tasolla

koko mittausjakson ajan, pastaeriin tehdyistä muutoksista huolimatta. Tämä selittyy sillä, että pastaeriin tehdyt muutokset eivät välittömästi vaikuta konekierron pastan koostumukseen.

Sideaineiden 1 ja 2 osuuksien vaikutusta pastan vesiretentioon tutkittiin 2-aseman pastaeristä. Koeajossa sideaineen 1 osuutta nostettiin ja sideaineen 2 osuutta pienennettiin. Saatujen tulosten perusteella sideaineen 1 lisääminen ja sideaineen 2 vähentäminen kasvattaa vesiretentioarvoa eli heikentää vesiretentiota.

Viimeisissä mittauksissa tutkittiin pigmenttien 1 ja 3 vaikutusta pastan vesiretentioon. Pigmentin 1 osuutta pienennettiin ja pigmentin 3 osuutta kasvatettiin. Mittaukset osoittavat, että pigmentti 1-osuuden vähentäminen ja pigmentti 3-osuuden nostaminen kasvattaa hieman pastan vesiretentioarvoa eli vesiretentio heikkenee. Tuloksista selvisi myös, että pohjapaperin ylä- ja alapuolen välillä ei tämän tutkimuksen perusteella voida havaita eroa vesirention suhteen.

Saatujen tulosten perusteella suositellaan tehtaalle B pastareseptin optimointia laadun, ajettavuuden ja kustannusten suhteen. Tarvittaessa ACA Systemsin PDWR-laitteella on helppo suorittaa lisämittauksia parhaan mahdollisen pastareseptin määrittämiseksi. Lisäksi PDWR-laite soveltuu hyvin pastan vesirention jatkuvaan seurantaan tehdasolosuhteissa. Pitkäaikaisella seurannalla saataisiin kattavaa tietoa pastan vesirentiossa mahdollisesti esiintyvistä muutoksista.

7.3 Johtopäätökset ACA Systemsin PDWR-laitteesta

Opinnäytetyön aikana suoritetut mittaukset osoittivat, että ACA Systemsin PDWR-laite toimii luotettavasti tehdasolosuhteissa. Laitteen avulla voidaan määrittää nopeasti päällystyspastan dynaaminen vesiretentio, myös tehdasolosuhteissa. Mittausjaksojen aikana laite toimi moitteettomasti ja tulosten toistettavuus oli hyvällä tasolla.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 Hägglom-Ahnger, Ulla, luentomonisteet paperitekniiikan koulutusohjelman opintojaksolta ”Päällystystekniikka”.
- 2 Hägglom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka, Kemiallinen metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin valmistus, 3. tarkistettu painos. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 2003.
- 3 Lehtinen Esa, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Chapter 25, Surface sizing and film coating, Fapet Oy. Helsinki 2000.
- 4 Löytty, Hanna, Kokoonpuristuva huokoinen paperi, Oy Keskuslaboratorio, PSC Communications 117 31.8.1998
- 5 Niskanen, Kaarlo, Papermaking Science and Technology, Paper Physics. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 2008.
- 6 Nordman, Bo, Institutionen För Pappersteknik Kungliga Tekniska Högskolan, Pappersteknik, andra upplagan, STFI-tryck. Stockholm 1992.
- 7 Persson, Knut-Erik, Skogsindustrins utbildning, Papperstillverkning, H-tryck, Markaryd 1996.
- 8 Ryti, Niilo, Paperitekniiikan perusteet, 13. muuttumaton painos, Otatiето Oy. Espoo 1998.

Sähköiset lähteet

- 9 ACA Systems Oy. [www-sivu]. [viitattu 1.11.2008] Saatavissa: <http://www.aca.fi/>
- 10 ACA Systems Oy, esite. [www-sivu]. [viitattu 17.3.2008] Saatavissa: http://www.abelleng.com/products/permi/A_modern_Online_Pororisty_Analyser.pdf

- 11 ACA Systems Oy, esite. [www-sivu]. Saatavissa:
http://www.tapps.co.za/archive3/Journal_papers/Using_porosity_analyser/using_porosity_analyser.html
- 12 KnowPap 9.0, Paperitekniikan, paperiteollisuuden automaation ja prosessinhallinnan oppimisympäristö.