

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Prosessitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikka

Tutkintotyö

Elina Kunnas

**ONLINE – KUITUORIENTAATIOMITTARIN HYÖDYNTÄMINEN TARRAPAPERIN
TAUSTAN KÄYRISTYMÄN HALLINNASSA**

Työn ohjaaja

DI Pertti Viilo

Työn teettäjä

UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari, DI Jukka Kivivasara

Tampere 2005

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Prosessitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikka

Kunnas Elina	Online-kuituorientaatiomittarin hyödyntäminen tarrapaperin taustan käyristymän hallinnassa
Tutkintotyö	80 sivua + 9 liitesivua
Työn ohjaaja	Pertti Viilo
Työn teettäjä	UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari, DI Jukka Kivivasara
Toukokuu 2005	
Hakusanat	Anisotropia, kuituorientaatio, mittaussmenetelmät

TIIVISTELMÄ

Kuituorientaatio vaikuttaa merkittävästi useisiin paperin ominaisuuksiin ja ajettavuuteen. Tarrantaustapaperilla on voimakas käyristymistäipumus jatkojalostuksessa. Paperiin kohdistuu huomattavia kosteus- ja lämpötilavaihteluita, jotka aiheuttavat esimerkiksi käyristymistä. Kriittisin paikka on tarraliiman kuivatusuuni. Etenkin kuituorientaatio, ja sen toispuolisuuden oletetaan vaikuttavan käyristymään.

Työn tarkoituksena oli löytää ajomalli kuituorientaation hallintaan, käyttäen hyväksi online-kuituorientaatiomittaria.

Koeajoissa nähtiin ajoparametrien muutosten selvä vaikutus kuituorientaatioon. Mutta selvää ajomallisuositusta ei vielä saatu aikaan. Saadut tulokset ovat hieman ristiriidassa keskenään, myös ulkopuolisten tutkimuslaitosten tekemien testien tulokset ovat hieman erilaisia. Tulosten vertailua keskenään vaikeutti online-kuituorientaatiomittarin näytön vaihtelut. Mittaria huollettaessa ja kalibroitaessa näyttö muuttui myös huomattavasti, eivätkä tulokset olleet vertailukelpoisia keskenään.

Tämän hetkisten tulosten mukaan nykyistä ajomallia ei kannata muuttaa, mutta lisätutkimuksia aiheesta tarvitaan vielä paljon lisää. Mittari tuntuisi nyt toimivan luotettavasti, joten erilaisia koeajoja kannattaa vielä ajaa, varmemman tuloksen saamiseksi.

TAMPERE POLYTECHNIC

Paper Technology

PAPER MANUFACTURING

Kunnas, Elina Exploitation of fibre orientation sensor

Engineering Thesis 80 pages, 9 appendices

Thesis Supervisor Pertti Viilo (M.Sc.(eng))

Commissioning Company UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari, Supervisor: Jukka Kivivasara
(M.Sc.(eng))

May 2005

Keywords anisotropy, fibre orientation, measurement methods

ABSTRACT

Importance of the fibre orientation is based on its direct influence on several paper properties and runnability. Temperature and moisture variations in the converting process of release base paper focus some specific demands to curling stability which is assumed to relate fibre orientation of the paper web.

Target of the study was to find main process parameters to control the fibre orientation i.e. anisotropy and fibre angle measured by the newly installed continuous on-line fibre orientation measurement.

Tests on the essential process parameters show clear effect on the measured paper parameters and laboratory analysis. Although clear or consistent response to process parameters was not found, mainly due to the fact that on-line measurement tool needed to be recalibrated and readjusted several times during the testing period. Same findings show clear potential for improvement in converting processability. These findings remain unverified until further tests according to original plan of trials and also considering the found complex multivariate nature of the process parameters concerned.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
TEORIAOSA	7
1 UPM-KYMMENE OYJ	7
1.1 TERVASAARI.....	8
2 TARRALAMINAATIN IRROKEPAPERI	9
2.1 ERIKOISOMINAISUUDET	9
2.1.1 <i>Paksuus</i>	9
2.1.2 <i>Pinnan sileyys</i>	10
2.1.3 <i>Lujuus</i>	11
2.1.4 <i>Läpinäkyvyys</i>	11
2.1.5 <i>Mittapysyvyys</i>	11
3 IRROKEPAPERIN VALMISTUS PK 5:LLA	12
3.1 MASSA	12
3.2 LYHYT KIERTO.....	13
3.3 PERÄLAATIKKO	15
3.3.1 <i>Perinteisen perälaatikon toiminta</i>	15
3.4 VIIRAOSA	17
3.5 PURISTINOSA	19
3.6 KUIVATUSOSA	21
3.7 PINTALIIMAUS JA PÄÄLLYSTYS	22
3.8 V.I.B KOSTUTUS	23
3.9 RULLAUS	24
3.10 SUPERKALANTERI.....	24
3.11 PITUUSLEIKKAUS.....	25
4 PAPERIN ANISOTROPIA	25
5 KUITUORIENTAATIO	28
5.1 MÄÄRITELMÄ	29
5.1.1 <i>Kuituorientaationsuhde eli kuituorientaatiojakauma</i>	29
5.1.2 <i>Kuituorientaatiokulma</i>	30
5.1.3 <i>Vinous</i>	31

5.2	KUITUORIENTAATION MERKITYS/ORIENTAATION ILMENEMISMUODOT PAPERISSA	31
5.2.1	<i>Formaatio</i>	32
5.2.2	<i>Laatutekijät</i>	33
5.2.3	<i>Käytännön rajoitukset kuituorientaatiolle</i>	33
5.2.4	<i>Mittapysyvyys</i>	34
5.2.5	<i>Orientaation vaikutus käyristymiseen</i>	34
5.2.6	<i>Orientaation vaikutus kutistumiseen</i>	35
5.3	ORIENTAATION SYNTYMEKANISMIT	36
5.3.1	<i>Kampausteoria</i>	36
5.3.2	<i>Vinon suotautumisen teoria</i>	38
5.3.3	<i>Turbulenssin rooli</i>	39
5.3.4	<i>Kuitususpension orientaatiojakauma</i>	39
5.3.5	<i>Huulisuihkuteoria</i>	39
5.4	KUITUORIENTAATIOPROFILIEN SYNTY JA HALLINTA.....	40
5.5	ORIENTAATIOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	41
5.5.1	<i>Virtausvirheet perälaatikossa</i>	41
5.5.2	<i>Suihkun ja viiran nopeussuhde</i>	44
5.5.3	<i>Kuivatuskutistuma ja huuliaukkoprofiili</i>	46
5.5.4	<i>Viiraosa</i>	47
5.5.5	<i>Virtausvirheet rainaimella</i>	48
5.5.6	<i>Tasaperäsuotautuminen ja stabiilisuus</i>	48
5.5.7	<i>Puristinosa</i>	49
5.5.8	<i>Kuivatusosa</i>	49
5.5.9	<i>Muita orientaatioon vaikuttavia tekijöitä</i>	49
5.6	KUITUORIENTAATION MITTAAMINEN	49
5.6.1	<i>Suora mittausmenetelmä</i>	51
5.6.2	<i>Epäsuorat mittausmenetelmät</i>	51
5.6.3	<i>Menetelmävertailu</i>	57
	KOKEELLINEN OSA	58
6	TYÖN TAUSTA JA TARKOITUS	58
7	TYÖN SUORITUS	58
7.1	KOEAJOSUUNNITELMA	58
7.2	MITTAUSMENETELMÄT.....	59
7.2.1	<i>Käyristymistestit</i>	59
7.2.2	<i>Silikonointitestit</i>	60

7.2.3	<i>Lippke-mittaus</i>	60
7.2.4	<i>Vesikko (Paperin dynaamisten dimensiomuutosten mittalaite)</i>	61
7.2.5	<i>OPTICUM (Optinen kosteuskäyristymä mittari)</i>	62
7.2.6	<i>OPTIDIM (Optinen dimensiostabiliteetin mittari)</i>	63
7.2.7	<i>Kerroksellinen kuituorientaatioanalyysi</i>	65
8	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	66
8.1	TULKITSEMINEN	67
8.1.1	<i>Koeajotilanne</i>	67
8.1.2	<i>Suihkun ja viiran nopeussuhde</i>	67
8.1.3	<i>Perälaatikon huuliaukon suuruus</i>	69
8.1.4	<i>Perälaatikon suihkun asema</i>	69
8.1.5	<i>Perälaatikon ohikierto</i>	70
8.1.6	<i>Sivuvirtaukset</i>	71
8.2	LIPPKE – MITTAUS	71
8.2.1	<i>Tulokset</i>	71
8.3	KERROKSELLINEN KUITUORIENTAATIOANALYYSI	72
8.3.1	<i>Tulokset</i>	72
8.4	VESIKKOKÄYRYYS JA – KUTISTUMA.....	74
8.4.1	<i>Tulokset</i>	74
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	78
	LÄHTEET	79

Elina Kunnas

TEORIAOSA

1 UPM-KYMMENE OYJ

UPM on yksi maailman johtavia paperiyhtiöitä. Yhtiön liiketoiminta keskittyy aikakauslehtipapereihin, sanomalehtipapereihin, hieno- ja erikoispapereihin, jalostusmateriaaleihin sekä puutuotteisiin. Yhtiöllä on tuotantolaitoksia 16 maassa ja kattava myynti- ja jakeluverkosto yli 70 maassa, yhteensä yli 170 edustajaa. UPM:n liikevaihto vuonna 2003 oli lähes 10 miljardia euroa, ja yritys työllistää n. 34 500 henkilöä. UPM noteerataan Helsingin ja New Yorkin pörseissä. /16/

UPM:n toimialat /16/:

Paperit:

- aikakauslehtipaperit
- sanomalehtipaperit
- hienopaperit
- tarrapaperit
- kirjekuoripaperit
- säkkipaperit

Jalosteet:

- tarralaminaatit
- silikonoidut paperit
- teollisuuskääreet

Puutuotteet:

- vaneri
- sahatavara

UPM:llä on tuotantolaitoksia 16 maassa ja myyntiverkosto yli 60 maassa.

Tärkeimmät tehtaat sijaitsevat Suomessa, Saksassa, Ranskassa, Iso-Britanniassa, Itävallassa, Yhdysvalloissa, Kanadassa ja Kiinassa. /16/

Elina Kunnas

UPM:n toiminta perustuu raaka-aineiden, energian ja tuotannon tiiviiseen integrointiin. Sellun ja sähkön osalta yhtiön omavaraisuus on korkea. Omat metsät turvaavat osaltaan puun saatavuuden. /16/

1.1 Tervasaari

UPM:ssä hieno- ja erikoispaperitoimialaan kuuluva Tervasaari on maailman suurimpia erikoispaperitehtaita. Tervasaari on maailman suurin tarran taustapaperin valmistaja. Muita tehtaalla valmistettavia tuotteita ovat säkkipaperit (PK6), kirjekuori- ja erikoisvoimapaperit (PK7) sekä tarrantaustapaperit (PK8 ja PK5). Tehdaskokonaisuuteen kuuluu myös sellutehdas, jossa tehdään valkaisematonta sulfaattisellua säkki- ja purumassana sekä SAP (semi alkaline pulp)-sellua. Osa tarvittavasta sellusta ostetaan UPM:n muilta tehtailta. Henkilöstöä Tervasaareissa on yli 800. /16/



Kuva 1 Ilmakuva Tervasaaren tehtaasta /25/

Elina Kunnas

2 TARRALAMINAATIN IRROKEPAPERI

Tarralaminaatin irrokepaperi on erikoispaperilaatu, josta käytetään myös nimitystä tarran tausta-, release- ja glassiinipaperi /7/. Tarralaminaatin taustapaperi eli irrokepaperi suojaa tarrapaperin liimapintaa ja sen pitää irrota helposti tarrapaperista. Taustapaperille päällystetään ohut silikonikerros joko laminoinnin yhteydessä tai erillisessä päällystysyksikössä ennen laminointia. Silikonoidusta taustapaperista tarrat voidaan helposti irrottaa lopullista käyttöä varten. /24/

Tarran taustapaperi on pintaominaisuuksiltaan erittäin tiivis ja läpinäkyvä paperi, jolla on korkea kiilto ja tiheys sekä hyvät lujuusominaisuudet. Sitä käytetään paljon etiketöintikoneissa, joissa etikettien kulkua ohjataan valokennojen avulla. Tällöin irrokepaperin on oltava läpinäkyvää, jotta etikettien ja irrokepaperin välille saadaan riittävä ero IR - säteilyyn perustuvalla laitteistolla tehtävää tarran tunnistusta varten. /24/

2.1 Erikoisominaisuudet

Silikoni on kallis raaka-aine, joten sen määrää pyritään minimoimaan. Silikonipinnan tulee olla peittävä ja riittävä tavoiteltavan irrotusarvon saavuttamiseksi. Silikonin onnistumiseen ja silikonin kulutukseen vaikuttavat hyvin paljon tarralaminaatin irrokepaperin eri ominaisuudet. /13/

Irrokepaperin ominaisuuksista tärkeimpiä ovat paksuus, pinnan sileys, lujuus ja mittapysyvyys. Jotta laminaatti toimisi automaattisessa etiketöinnissä, edellytetään releasepaperilta myös tiettyä läpinäkyvyyttä. /13/

2.1.1 Paksuus

Paksuus on irrokepaperin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista. Stanssaus on pohjapaperin tasaisuuden kannalta kaikkein kriittisin vaihe. Paperin tulee olla yhdenmukainen sekä rullasta rullaan että radan jokaisessa kohdassa. Rullassa ei saa olla myöskään kireysheittoja. Jos pohjapaperin paksuus vaihtelee

Elina Kunnas

nopeasti, esimerkiksi epätasaisen neliömassaprofiilin takia, stanssauksessa ja sitä seuraavassa roskaradanpoistossa tulee ongelmia ja rata menee poikki. /13/

Stanssauksessa terän ja vastatelan väli perustuu tiettyyn pinta- ja pohjapaperin paksuuteen. Jos pohjapaperin paksuus on suurempi kuin pitäisi, terä leikkaa pohjapaperiin asti ja rikkoo silikonipinnan. Silikonipinnan rikkoutuminen päästää liiman vaeltamaan ja kiinnittymään ajan kuluessa pohjapaperiin. Tämä vaikeuttaa manuaalista etiketinpoistoa ja saattaa estää automaattisen etiketöintikoneen häiriöttömän käytön. Toisaalta jos pohjapaperi on liian ohut, stanssiterä ei leikkaa pintapaperia kokonaan ja etiketti repeää tai irtoaa kokonaan roskaradan poistossa. /13/

2.1.2 Pinnan sileys

Irrokepaperin pinnan sileys tarran puolelta vaikuttaa siihen, kuinka paljon silikonia tarvitaan ehjän päällystyskerroksen aikaan saamiseksi. Jos irrokepaperin pinta on karhea, silikoniliuos levittyy siihen epätasaisesti. Vaikka pinnalla olisi erinomainen absorptiovastus, epätasaiselle ja karhealle pinnalle levitettäessä silikoni kerääntyy pinnan syvennyksiin. Silikonia jää vain vähän, jos ollenkaan, pinnan huippukohtiin. Näihin silikonoimattomiin huippuihin tarttuu liima kiinni ja irrotusominaisuudet heikkenevät. /13/

Paperin sileys jaetaan makro-, mikro- ja optiseen sileyteen. Näistä erityisesti mikrosileys vaikuttaa silikonin kulutukseen. Mikrosileys aiheutuu partikkeleiden pakkautumisesta ja flokkuloitumisesta, kuitukarheudesta ja kuitukoosta. Paperin kiillon on todettu korreloivan hyvin mikrosileyden kanssa, joka vaikuttaa silikonin peittävyys. Kiilto on siten yksi superkalanteroidun pohjapaperin toimivuuden ennustaja. Pohjapaperin sileys vaikuttaa myös liimakerroksen tasaisuuteen. Läpinäkyvä pintapaperi tarvitsee tasaisen liimakerroksen, jottei minkäänlainen liimakuviointi näkyisi läpi. /13/

Irrokepaperin pinnan huokoisuuden tulee olla mahdollisimman pieni, jotta silikoni ei tunkeutuisi paperin sisäosiin, vaan jäisi pinnalle helpottamaan tarran irrotusta /7/.

2.1.3 Lujuus

Irrokepaperin riittävät lujuusominaisuudet ja radan tasainen kireys ovat perusehtoja laminoinnin onnistumiseksi. Pohjapaperissa täytyy olla hyvä peruslujuus, jotta paperi kestää kostutusten ja kuivausten vaikutukset /24/. Silikonointi aiheuttaa lujuuksien, erityisesti repäisylujuuden, putoamista. Myös mekaaniset viat aiheuttavat jännityksien epätasaista jakautumista, jolloin ajettavuus kärsii. /13/

Irrokepaperin pintalujuus on myös tärkeä. Paperin pinta ei saa pölytä eikä siitä saa irrota kuituja tai muita aineita, jotka saattaisivat huonontaa silikonikerroksen peittävyyttä ja haitata myöhemmin tapahtuvaa etiketin valmistusta tai etiketöintiä. /13/

2.1.4 Läpinäkyvyys

Tiettyihin loppukäyttöihin vaaditaan läpinäkyvyyttä. Glassiinityyppisen irrokepaperin valmistuksessa käytetään voimakasta jauhatusta ja kalanterointia. Paperin kosteuspitoisuus ennen superkalanterointia on selvästi suurempi kuin painopapereilla. Jotta voidaan käyttää suurta kalanterikosteutta ja silti saada riittävän kuiva lopputuote, tarvitaan kalanterin jälkeen ilma- tai infrakuivatin. Käytetyt telamäärät ja nippipaineet ovat niin ikään suuremmat kuin painopapereilla. /7/

2.1.5 Mittapysyvyys

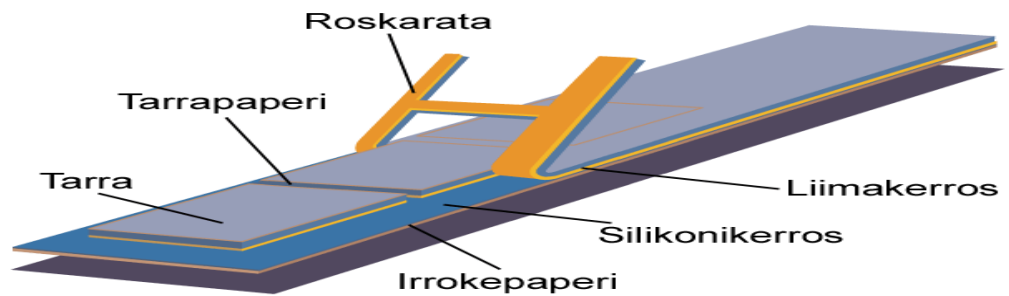
Merkittävä fysikaalinen ominaisuus on paperin mittapysyvyys, joka voidaan yhdistää radan kutistumiseen ja käyristymiseen. Raju kuivatus silikonoinnissa aiheuttaa radan kutistumista. Kutistumisen takia on tärkeää, että valitaan oikea alkukosteus ja raaka-ainekoostumus. /13/

Mittapysyvyys on tärkeä ominaisuus silikonoinnissa. Silikonoitava puoli käyristyy ja voi aiheuttaa ajovaikeuksia päällystysyksiköllä. Kunnollinen pohjapaperin

Elina Kunnas

vesiabsorptiovastus auttaa estämään päällysteen tunkeutumista paperiin ja pienentää käyristymisen määrää. Taustapuolen kostutus pienentää käyristymistä kuivatusuunissa. /13/

Tarralaminaatin rakenne



Kuva 2 Tarralaminaatin rakenne /25/

3 IRROKEPAPERIN VALMISTUS PK 5:LLA

3.1 *Massa*

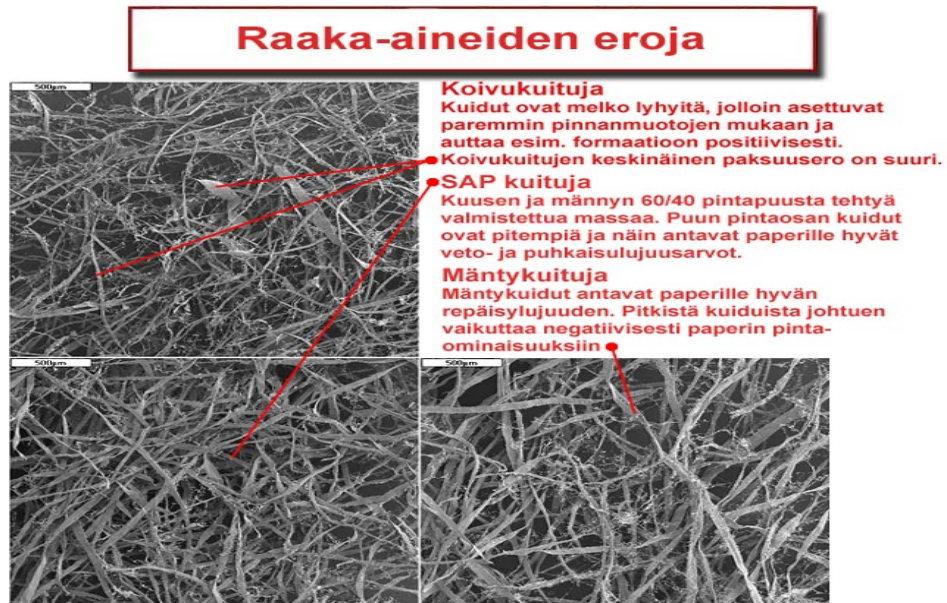
PK5:lla irrokepaperin valmistuksessa käytetään ainoastaan kemiallisesti valmistettuja, valkaistuja massoja. Massan raaka-ainekomponentteja ovat mänty- ja koivusulfaattisella sekä Semi Alkaline Pulp (SAP). Massojen eri ominaisuuksien vuoksi ne annostellaan prosessiin eri suhteissa. Annostelumäärät vaihtelevat eri lajeissa. Hylkyä käytetään yleensä 10 - 30 %. /12/

Pitkäkuituisen havupuusellun avulla varmistetaan paperin erinomaiset lujuusominaisuudet. Mäntysellun avulla päästään hyvään repäisylujuuteen. SAP antaa hyvät veto- ja puhkaisulujuudet. /12/

Hylkymassaa käytetään taloudellisista syistä. Sen koostumus ja laatu vaihtelevat alkuperäisen paperilajin mukaan. Hyllyn käyttö parantaa paperin kuivumista. Näin ollen saadaan enemmän tuotantoa, koska voidaan ajaa suuremmilla nopeuksilla.

/12/

Elina Kunnas



Kuva 3 Eri raaka-aineiden eroavaisuuksia /25/

3.2 *Lyhyt kierto*

Paperikoneen lyhyellä kierrolla tarkoitetaan sitä prosessinosaa, mikä muodostuu, kun viiran läpäissyt, kuituja ja muita paperin raaka-aineita sisältävä vesi ohjataan perälaatikkoon virtaavan massan laimentamiseen. Laimentaminen on tarpeen, jotta perälaatikosta purkautuvan suihkun sisältämät kiintoaineet jakautuisivat tasaisesti.

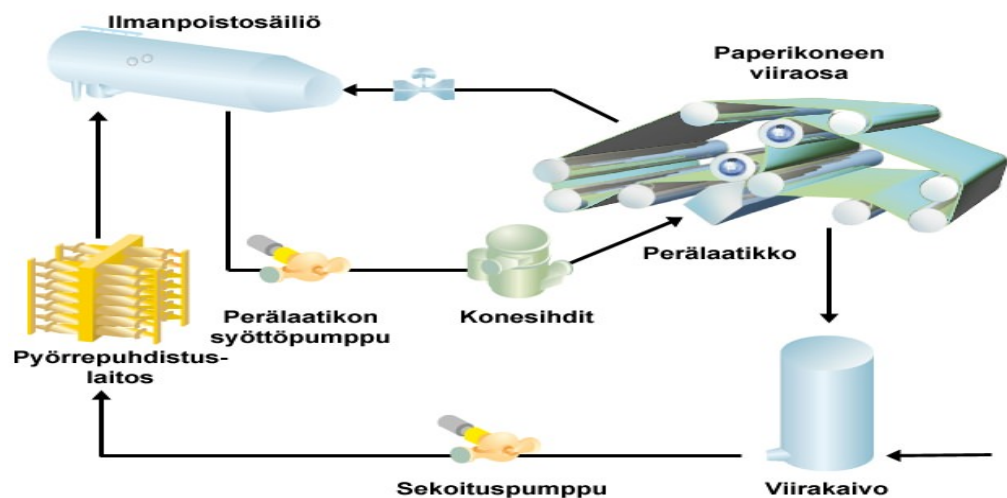
/22/

Lyhyen kierron laitteet ja järjestelmät /22/:

- konesäiliö
- tasauslaatikko
- neliömassaventiili
- viirakaivo
- sekoituspumppu
- pyörrepuhdistimet
- perälaatikon syöttöpumppu
- sihtijärjestelmä
- perälaatikko

Elina Kunnas

Lyhyen kierron tehtävänä on varmistaa puhdas, tasalaatuinen ja sakeudeltaan sopiva massa paperikoneelle. Massa muotoutuu viiraosalla paperirainaksi, joka siirtyy puristinosalle. Viirakaivoon johdetaan alipaineella suodatettu vesi. Viirakaivosta kierto jatkuu pyörrepuhdistuslaitoksen 1. portaan syöttöpumpun imupuolelle. Linjaan tuleva paperimassa valmistetaan massanannostelun sekoitussäiliössä eri komponenteista halutussa suhteessa. Noin neljä prosenttinen massa laimennetaan vedellä kolme prosenttiseksi ennen konesäiliötä sakeussäädön avulla. Paperimassa saadaan konesäiliöstä lyhyen kiertoon viirakaivossa. /22/



Kuva 4 Lyhyt kierto /25/

Ilmakuplat haittaavat paperiradan muodostumista: paperin laatu huononee. Ilmakuplat voivat heikentää massan suotautumista viiralla ja aiheuttaa ohuita kohtia tai reikiä paperirainaan. Suurimmaksi osaksi ilmakuplat syntyvät, kun viirasta irronnut vesi virtaa keräilyrännejä pitkin viirakaivoon. Vesi tempaa mukaansa ilmaa avonaisesta tilasta. Vaahdonestoaineet voivat vähentää ilmakuplien syntyä. Ilmanpoisto tapahtuu alipaineessa. Massaa ruiskutetaan suuttimista tyhjiökammioon, jossa ilma kiehuu pois. Ilmanpoistosäiliön vaatima tyhjiö saadaan aikaiseksi suuritehoisilla imupumpuilla. Ilmanpoistosäiliöstä massa pumpataan peräsyöttöpumpulla painesihtien kautta perälaatikkoon. /22/

Nykyaikainen paperinvalmistus vaatii erittäin tarkkaa ja tehokasta lajittelua massankäsittelyn eri vaiheissa. Painelajittelun tarkoitus on poistaa massasta suurehko kiintopartikkelit ja flokkiutuneet kuidut. Ilmanpoistosta paperimassa pumpataan peräsyöttöpumpun avulla painelajitteluun. Painesihtien hyväksytyt jae

Elina Kunnas

eli aksepti johdetaan perälaatikkoon. Lajittelun hylätty jae eli rejekti syötetään rejektilajitteluun, jonka aksepti palautetaan lyhyeen kiertoon, ja rejekti poistetaan prosessista. /22/

3.3 *Perälaatikko*

Perälaatikot voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: perinteiset perälaatikot ja nykyaikaiset perälaatikot. Perinteisissä perälaatikoissa on erillinen vaimennussäiliö sekä pinnan yläpuolella säädettävä ilmapatja, nykyaikaisista perälaatikoista nämä puuttuvat. Perinteisiä perälaatikoita käytetään tasoviirakoneissa, nykyaikaisia kita- ja hybridiformerien yhteydessä. Molemmat perälaatikkopääryhmät sisältävät useita erilaisia rakenneratkaisuja. Perälaatikkotyypeillä ja mekaanisilla rakenteilla on tärkeä merkitys paperinlaadun, poikkisuuntaisten profiilien ja puhtaana pysymisen kannalta. /3/

Perälaatikolla on paperikoneprosessissa seuraavat keskeiset tehtävät /3/:

- massan jakaminen koneen koko leveydelle
- poikittaissuuntaisten virtojen ja sakeusvaihteluiden tasaaminen
- konesuuntaisten virtauserojen tasaaminen
- hallitun turbulenssin luominen kuitujen flokkiutumisen estämiseksi
- tasaisen ja oikeasuuntaisen virtauksen muodostaminen huuliaukosta viiralle.

3.3.1 **Perinteisen perälaatikon toiminta**

Perinteiset perälaatikot ovat käytössä tasoviirakoneissa. Perinteisiä malleja ovat ilmatyynyillä varustetut perälaatikot ja reikätelaperälaatikot, joista on monia erilaisia versioita. Perinteisessä perälaatikossa massa tulee jakoputkeen (jakotukkiin), jolla tuloputken virtaus saadaan koko perälaatikon leveydelle. Jakoputki on muodoltaan suipponeva, jotta saadaan vakiopaine koko putken pituudelle. Jakoputken virtauksesta noin 10 % kierrätetään, jotta virtausprofiili voidaan asetella tasaiseksi. Jakoputkesta massa virtaa pienten putkien, jakopillistön, läpi välikammioon, jota kutsutaan myös tasauskammioksi.

Elina Kunnas

Välikammio on yhteydessä vaimennussäiliöön, jonka pinta pyritään vakioimaan. Välikammioista homogeeninen paperimassa virtaa turbulenssigenaattorin kautta huulikanavaan. Reikätelaperälaatikon välikammiossa on reikäteloja, jotka tasaavat virtausta ja saavat aikaan hallittua turbulenssia. /3/

Massa johdetaan huulikanavan kautta huuliaukolle. Huuliaukko vaikuttaa massasuihkun kohdistumiseen viiralle ja viiran vesirajan asemaan. Huuliaukkoa voidaan asettaa. Massasuihkua muotoillaan yleisesti kärkilistalla, joka on yleensä paikallisesti, mekaanisesti aseteltavissa. Massasuihkun hienosäätö poikittaissuunnassa tapahtuu ylähuulen aseteltavien ruuvien (huulikarujen) avulla, jotka mahdollistavat noin 100 – 150 mm säätökaistan paperirainan leveysuunnassa. Hienosäätö voi olla automaattinen. /3/

Massa johdetaan perälaatikkoon painelajittelusta ja suihkutetaan viiralle huuliaukon kautta. Ilmanpoistosäiliöön palaava jakoputken virtaus asetellaan ohikiertoventtiilillä. Ohikierrolla pyritään tasaamaan massan paine koko jakoputken alueella, jotta virtausprofiili saadaan tasaiseksi. Perälaatikon huuliaukko stabiloidaan vesikierrolla. Vesikierron lämpötilaa säädetään, jotta huuliosaan ei synny termisiä muodonmuutoksia. Perälaatikon huulien lämpötilan on oltava mahdollisimman lähellä massan lämpötilaa, jotta perälaatikko toimii stabiilisti. Huuliaukkoa voidaan muotoilla säätämällä huulta vaaka- ja pystyasennossa. /3/

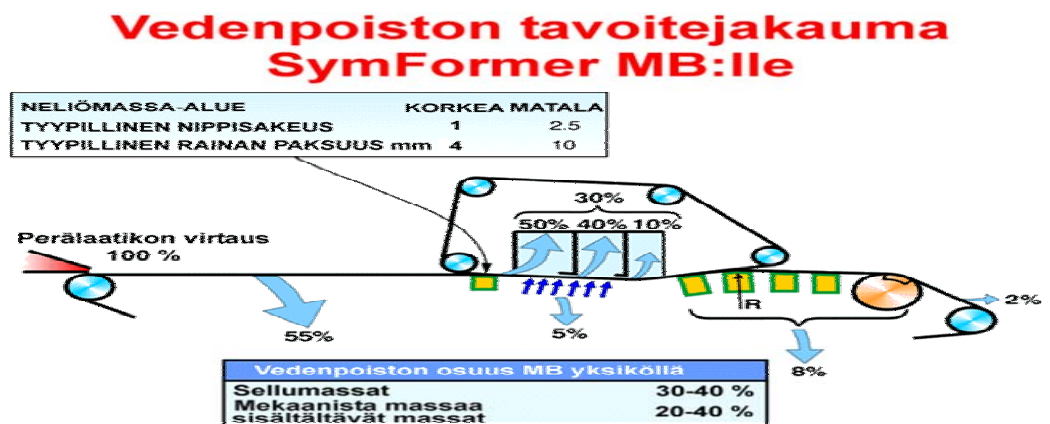


Kuva 5 Perälaatikon huuliaukko /25/

Elina Kunnas

3.4 Viiraosa

Viiraosan päätehtävänä on muodostaa paperiraina poistamalla sulpusta niin paljon vettä, että saavutetaan noin 12 - 14 % kuiva-ainepitoisuus viiraosan jälkeen. Viiraosan hallinnassa on huomioitava paperin laadun ja prosessiolosuhteiden asettamat vaatimukset. Riittävä kuiva-ainepitoisuus on tärkeää rainan ajettavuuden kannalta seuraavissa prosessivaiheissa. Kustaan rainan lujuusominaisuudet ovat heikot ja sen tarttuvuus telapinnoille lisääntyy. Viiraosalla poistetaan 95 - 98 % perälaatikkosulpun mukana tulevasta vedestä. Sym-Former MB on tasoviiran päälle sijoitettu hydridirainain, joka poistaa tasoviiralla kulkevasta rainasta vettä ylöspäin. /22/



Kuva 6 Vedenpoiston jakauma SymFormerilla /25/

Raina muodostuu viiraosalla suotautumalla. Muodostumisen ajatellaan koostuvan seuraavista kolmesta hydrodynaamisesta ilmiöstä /3/:

- suotautuminen kuitukerroksen ja viirakankaan läpi
- suunnattu työntöliike eteenpäin
- turbulenssi.

Riittävä perälaatikon paine saa aikaan viiraan osuvalle massasuihkulle työntövoimaa eteenpäin. Hallittu turbulenssi massasuihkussa saa kuidut sopivaan epäjärjestykseen, jotta ne sitoutuessaan toisiinsa muodostaisivat tasaisen kuitumaton. Massasuihkun työntövoima ja turbulenssi vaikuttavat juuri paperin

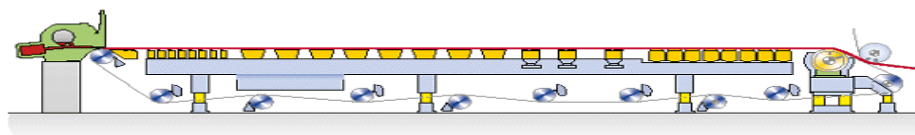
Elina Kunnas

kuituorientaatioon. Suodosvirtauksen aiheuttaa kuitukerroksen ja viirakankaan yli vaikuttava paine-ero, joka puristaa samalla kuitukerrosta kokoon. Suotautumisvastus riippuu kuitukerroksen hienojakoisuudesta, massan jauhatuksen lisääminen taas hidastaa suotautumista. /3/

Viiraosan tehtävänä rainanmuodostuksessa on /22/:

- poistaa perälaatikon suihkuttamasta massasuspensiosta vettä suotauttamalla se sihtinä toimivan viirakudoksen läpi.
- aiheuttaa rainaan riittävän suuria hydrodynaamisia voimia flokkien syntymisen estämiseksi ja niiden hajottamiseksi.
- hallita vedenpoisto ja hydrodynaamiset voimat siten, että kuitu- ja täyteaineretentio ovat tasaiset ja halutun suuruiset.
- saattaa raina riittävän korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen, jotta rainan siirto viiralta puristimelle olisi helppoa ja puristinosalla saavutettaisiin hyvä ajettavuus.

Tasoviira



Kuva 7 Tasoviira /25/

Perälaatikon ja huulisuihkun alueella ovat viiran rintatela ja rintapöytä. Rintatela kannattaa viiraa huulen alla ja ottaa vastaan viiran jännityksen aiheuttaman vedon. Rintatela ei osallistu vedenpoistoon. /22/

Elina Kunnas

Rintapöytä on listakantinen avoin laatikko, joka tukee viiraa huulisuihkun ja viiran kohtaamisalueella. Huulisuihkun ja viiran kohtaamiskohdalla rintatelaan ja rintapöytään nähden, huulisuihkun ja viiran välisellä iskukulmalla on merkittävä vaikutus rainan rakenteeseen. Rintapöydällä sulpusta olevasta vedestä poistuu noin 25 – 30 %. Poistuvan veden määrään vaikuttaa huulisuihkun ja viiran välinen iskukulma. /22/

Vedenpoisto ennen MB-formeria saadaan aikaan muodostamalla vedenpoistopaine viiran alle sijoitetuilla päästölistoilla sekä märkäimulaatikoilla (foilit).

Märkäimulaatikoissa ei ole normaalisti imuja, joten yhden laatikon vedenpoisto on minimaalista eli alle 1 % luokkaa. /22/

Tasoviiralla valmistettu raina, jolla on optimaalinen kuiva-ainepitoisuus, johdetaan tasoviiran ja formeriviiran muodostamaan kitaan. Rainan kulkeutuessa formerin imulaatikoiden ja kuormituspöydän listojen väliin saadaan poistettua vettä rainasta ylöspäin noin 30 – 40 %. Vedenpoiston määrää säädetään viirojen kireydellä, imukammioiden alipaineella sekä kuormituspöydän kuormitusten avulla. /22/

Tasoviiralla on erotettavissa vesiraja, jossa rainan muodostaminen alkaa. Vesirajaa voidaan käyttää määränpään tilan tarkkailuun ja ohjaukseen. Epäsäännöllisyys vesirajassa heijastuu poikkisuuntaiseen neliömassaan. Vesirajan muotoa voidaan asetella reunavirtauksilla. /22/

3.5 *Puristinosa*

Puristinosan päätehtävä on poistaa radasta mahdollisimman paljon vettä paperin laadun kärsimättä. Muita tärkeitä toimintoja ovat /22/:

- Riittävän märkälajuuden saavuttaminen
- Radan irrotus ja siirto eri puristimille ja kuivatusosalle
- Katkotilanteissa rainan helppo siirto hylkyjärjestelmään

Puristinosalla paperirainan vesipitoisuutta vähennetään mekaanisella puristuksella, joka saadaan aikaan puristintelojen avulla. Puristintelojen yhteydessä käytetään

Elina Kunnas

puristinhuopia, joihin rainasta irronnut vesi imeytyy. Puristuksessa paperiraina tiivistyy ja kuidut asettuvat lähemmäksi toisiaan, jolloin kuitumaton sidokset vahvistuvat. Puristus vaikuttaa myös paperin pinnan tasaisuuteen ja paperin lujuuteen. Mekaaninen puristus pyritään saamaan mahdollisimman tehokkaaksi, koska se on edullisempi vedenpoistomenetelmä kuin veden höyrystäminen. /3/



Kuva 8 Puristinosaa /25/

Puristintelojen väliä kutsutaan nipiksi ja puristinnippejä (telapareja) on puristinosalla yleensä kolme tai neljä kappaletta. Puristinnipissä voidaan erottaa neljä toiminnallista vyöhykettä /3/:

- Ensimmäisessä vaiheessa paperirainan lähestyessä telojen kapeinta väliä puristus alkaa, jolloin ilma virtaa pois rainasta ja huovasta.
- Toisessa vaiheessa puristuskohdassa syntynyt painevaikutus aiheuttaa veden siirtymistä huopaan. Toinen vaihe ulottuu etenemissuunnassa nipin kapeimpaan kohtaan, jossa kokonaispaine on suurimmillaan.
- Kolmannessa vaiheessa nippi suurenee ja nestepaine rainassa vähenee nollaan. Tässä vaiheessa paperin kuiva-ainepitoisuus on suurimmillaan.
- Neljännessä vaiheessa raina ja huopa laajenevat, jolloin niihin syntyy alipainetta. Jonkin verran vettä palautuu takaisin paperiin.

Paperin kosteuden poikkiprofiilia säädetään höyrylaatikoilla, joka on sijoitettu Pick-up imutelan alle ennen nippiä. Höyryä suihkutetaan paperiradalle, jolloin höyryn lauhtuessa lämpöä siirtyy paperiin ja raina kuivuu. Tehokkaan lauhtumisen

Elina Kunnas

edellytyksenä on se, että suihkutettavan höyryn tulee olla lähellä kyllästettävän höyryn lämpötilaa. /3/ Imutelahöyrylaatikolla puristinosan kuiva-ainepitoisuutta pystytään nostamaan 1-2 %. Höyrylaatikon käytön seurauksena rainan lämpötila nousee keskitelalla noin 10 °C. Puristinosan jälkeen paperin kuiva-ainepitoisuus on noin 40 %. /22/

3.6 *Kuivatusosa*

Paperin valmistus on massiivinen vedenpoistoprosessi: Paperimassan tullessa paperikoneen perälaatikolle sakeus on alle 1 %. Viiraosan jälkeen paperirainan kuiva-aineosuus on kohonnut välille 18 - 23 % ja puristinosan jälkeen tasolle 33 - 55 %. Kuivatusosalla poistetaan vettä siten, paperin loppukosteudeksi saadaan 6 - 9 %. Paperirainaa kuivataan pääasiassa höyrösyylintereillä, jolloin lämmönsiirto tapahtuu johtumalla. Lisäksi paperin kuivattamiseksi päällepuhalluksessa ja leijuissa lämpöä siirretään pääasiassa konvektion avulla ja infrapunakuivaimissa säteilyperiaatteella. /3/

Paperin kuivatuksessa käytetään 50 – 70 kuivatussyylinteriä, joissa lämmönsiirto tapahtuu pääosin johtumalla, kun paperiraina kulkee niiden päältä. Sylinterit on sijoitettu siten, että paperi on kosketuksissa vuorotellen kummaltakin puolelta sylinteripintojen kanssa. Paperia painetaan sylinterin pintaan kuivatushuovan avulla. /3/

Paperirainan lämpötila saattaa olla vain 10 – 20 °C, kun raina tulee kuivatusosaan. Ensimmäiset sylinterit voivat toimia esilämmittiminä. Höyrystyminen on suotuisaa, kun rainan lämpötila on 80 – 90 °C. Sylinterikuivatuksessa voidaan erottaa kolme päämekanismia /3/:

- Suoraa höyrystämistä tapahtuu paperin tullessa kosketukseen sylinteripinnan ja huovan väliin sekä toiselta puolen sieltä lähtiessä ja lisäksi sylinterin jättöpuolella ilmassa.
- Veden erottelu onnistuu paperirainan ja höyrösyylinterin kesken sylinterin jättöpuolella.
- Vettä siirtyy huopaan nesteinä ja höyrynä.

Elina Kunnas

Kuivatusosan alkupuolella raina voi joutua sellaiselle lämpötila-kosteusalueelle, että kuidut pehmenyvät. Alkukuivatuslämpötilan noustessa havaitaan seuraavia muutoksia rainan ominaisuuksissa /3/:

- valonsirontakerroin laskee
- vetolujuus ja tiheys kasvavat
- ilmanläpäisevyys pienenee
- pinnan karheus lisääntyy.

Samalla heikkenee kalanteroitavuus. Vaikutuksen suuruus on riippuvainen massan saannosta siten, että vaikutukset ovat suurimmat mekaanisilla massoilla, mutta vähenevät nopeasti saannon pienentyessä. /3/

Alkukuivatuslämpötilan tärkeyden takia höyrynpaine ts. sylinterilämpötila on alhaisin alkuryhmissä. Sylinterilämpötilan portaittaista säätöä voidaan lisätä esim. kytkemällä ryhmän ensimmäiset sylinterit erillissäädölle. /16/

3.7 *Pintaliimaus ja päällystys*

Paperin pintaliimauksella parannetaan paperin ominaisuuksia lisäämällä kuitujen välisiä sidoksia vesiliukoisilla sideaineilla, tavallisesti tärkkelyksellä. Näin pintalujuus paranee ja pölyävyys vähenee sekä paperista tulee vahvempaa. Päällystyksellä parannetaan myös paperin sileyttä, vaaleutta ja erityisesti parannetaan painettavuutta. Pintaliimaus sitoo täyteainepigmenttejä paperiin. /22/

Liimapuristimella voidaan pintaliimauksen lisäksi suorittaa pigmentointia. Pigmentointi vaikuttaa huokoisuuteen täyttämällä paperihuokosia päällystyspastalla. /22/

Päällystyksessä käytetään koskemattomia kuivaimia estämään märän päällysteen tarttumista kuivaussylintereihin ja viiroihin. /22/

Pintaliimaus suoritetaan filmiliimapuristimessa, joka on sijoitettu niin kauas kuivatusosastolle, että paperi on riittävän kuivaa kestämään liimauksen. /22/

Elina Kunnas



Kuva 9 Pintaliimausyksikkö /25/

Liima ja päällystepasta kuivataan Sym-Sizerin jälkeen olevalla ilmakeivaimella. Kuivaimessa radan kulkusuunta käännetään samanaikaisesti kun rataa kuivataan.

/22/

3.8

V.I.B Kostutus

V.I.B jälkikostutus laitteistolla kostutetaan raina halutulle kosteustasolle ennen kalanterointia. Laitteisto sijaitsee Soft-kalanterin ja rullaimen välissä. Laitteistolla säädetään myös kosteusprofiilia. Laitteistolla nostetaan radan kosteustaso 5 -6 % aina 15 % saakka, riippuen paperikoneella ajettavasta lajista. /16/



Kuva 10 V.I.B-kostutuslaite /25/

Elina Kunnas

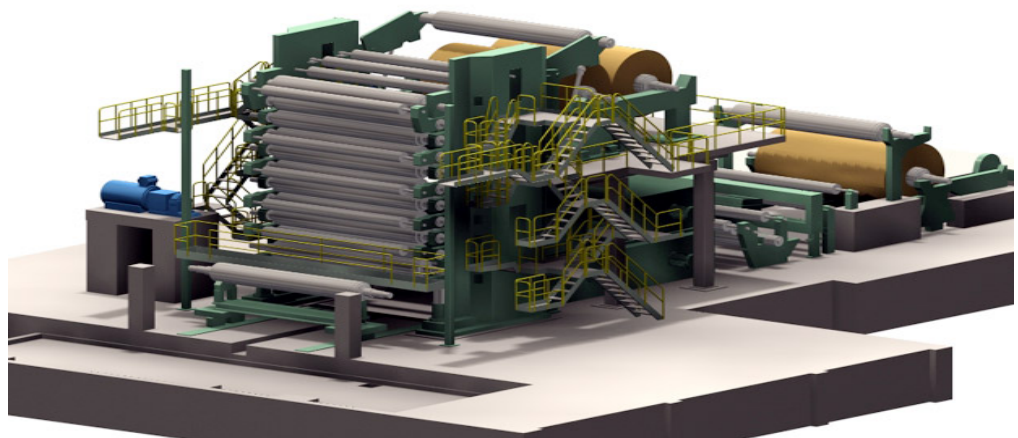
3.9 *Rullaus*

Rullauksen tarkoituksena on muuntaa tasomaiseksi valmistettu paperi tai kartonki helpommin käsiteltävään muotoon. Kiinnirullaimella paperikoneen jatkuva prosessi katkeaa ensimmäistä kertaa ja siirrytään jaksoittain tapahtuvaan toimintaan. Tämä jaksottaisuus pyritään tekemään mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella, jotta jo tehtyä työtä ei haaskattaisi. /16/

3.10 *Superkalanteri*

Kalanterointimekanismina polymeeriteloihin perustuvassa kalanteroinnissa voidaan pitää kopiotumista ja puristumista. Pinnoitteen ohuudesta johtuen tasonsuuntaisilla voimilla ei ole vaikutusta kalanterointitulokseen. /16/

Koska superkalanteroinnin rajoitteena olivat paperitelat sekä kapasiteetin, nopeuden että lämpötilojen suhteen, polymeeritelojen käyttö superkalantereissa alkoi vähitellen lisääntyä. Polymeeritelat eivät kehittä lämpöä siinä määrin kuin paperitelat, joten suuremmat ajonopeudet ja korkeammat lämpötilat tulivat mahdollisiksi. Toisaalta myös havaittiin, että samoilla ajo-oloilla ajettaessa polymeeriteloilla saatiin huonompi laatu. Paperitelat polymeeriteloilla korvaamalla on siis varauduttava lisäämään viivapainetta tai lämpötilaa tai laskemaan ajonopeutta, jotta laatu ei huononisi. /16/



Kuva 11 Superkalanteri /25/

Elina Kunnas

3.11 Pituusleikkaus

Vaikka leikkurin päätehtävät ovatkin pituusleikkaus ja rullan muodostus, niin nämä vaiheet vaativat sarjan lisätoimia tarvittavan kapasiteetin ja laadun saavuttamiseksi. /16/

Näiden kahden päätoiminnon lisäksi voidaan pituusleikkurin tehtäviin lukea rainan repaleisen reunaosan poisto. /16/

4 PAPERIN ANISOTROPIA

Paperin tai kartongin ominaisuuksien ja käyttäytymisen suuntaisuutta kutsutaan anisotropiaksi /2/. Laboratorioarkit ovat isotrooppisia, eli kuidut ovat suuntautuneet sen tasossa tasaisesti kaikkiin suuntiin. Paperikoneella valmistettu paperi on anisotrooppista. Anisotrooppisuus ilmenee kone- ja poikkisuuntaisten ominaisuuksien erona. /1/

Anisotropian syntyyn vaikuttaa /1/:

- perälaatikon rakenne
- kuituja orientoiva rainaus
- kuivatuksen mittamuutokset

Tärkeimpiä anisotropiaan vaikuttavia tekijöitä ovat kuituorientaation suuntaisuus ja paperin kuivatuksessa tapahtuneet mittamuutokset. Kuituorientaatio vaikuttaa rainan kutistumispotentiaaliin ja paperirainan kutistumistapa kuivatuksessa vaikuttaa paperin anisotropiaan. Siten kuivatuksen ja orientaation hallinnalla on voimakas yhteisvaikutus paperin lopullisen anisotropian ja käyrystymistäipumuksen kanssa. /1/

Kuitujenorientoitumisen lisäksi voi paperin tasonsuuntaisen rakenteen anisotropia johtua siitä, että erisuuntaiset kuidut poikkeavat toisistaan, esim. pituudeltaan tai käyryydeltään tai että kuitujen välisten sidosten lujuus riippuu suunnasta, jossa paperia rasitetaan. Erisuuntaisten kuitujen käyryysero lienee kuituorientaation

Elina Kunnas

ohella voimakkain paperin ominaisuuksien suuntaisuutta aiheuttava rakenteen anisotropiatekijä. Poikkisuuntaan asettuneet kuidut ovat yleensä käyrempiä kuin konesuuntaiset. Kuituja konesuunnassa oikaisevien ja poikkisuunnassa kokoonpuristavien voimien syntyminen rainaan paperikoneen märkämpuristin- ja kuivatusosalla kohdistuvan konesuuntaisen venytyksen ja poikkisuuntaisen kutistumisen vaikutuksesta on helposti ymmärrettävissä. /1/

Kuitujen käyritymistä paperikoneen kuivatusosalla edistää lisäksi se, että kuitujen väliset sidokset syntyvät vähitellen kuivumisen edistyessä. Kuituorientaation ja kuitujen käyryyden suuntaisuuden yhteisvaikutusten vuoksi kuitujen välisiä sidoksia kuormittuu vähemmän samalla, kun paperia kuormitetaan poikkisuunnassa. Rakenteen jousto on tällöin suurempi kuin vastaavassa konesuuntaisessa kuormituksessa. Paperin murtolujuus ja kimmokeroin ovat tästä syystä poikkisuunnassa pienempiä, mutta venyvyys parempi kuin konesuuntaan kuormitettaessa. /1/

Rakenteen tason suuntainen anisotropia vaikuttaa lähes kaikkiin paperin fysikaalisiin ominaisuuksiin, mutta erityisen tärkeä tekijä se on paperin lujuusominaisuuksien kannalta. Jonkin ominaisuuden esim. konesuunnassa mitattavan arvon parantaminen rakenteen anisotropian astetta muuttamalla merkitsee kuitenkin aina samalla sitä, että tämän ominaisuuden poikkisuuntainen arvo huononee. /1/

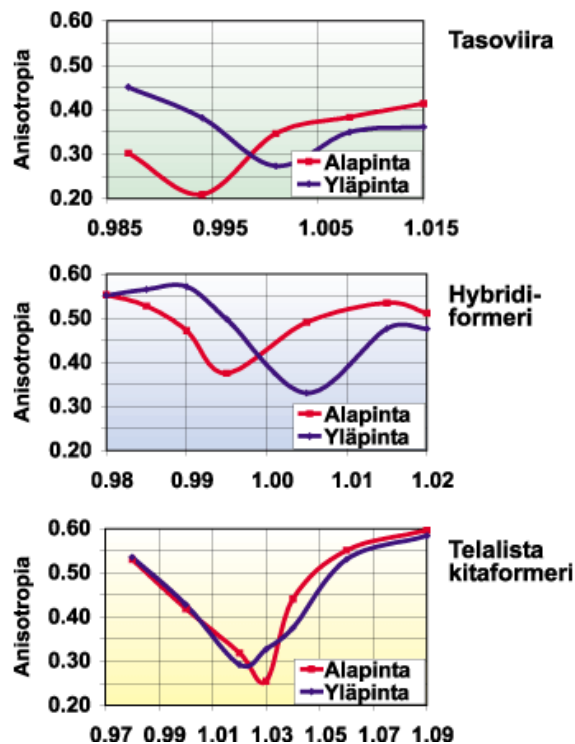
Myös paperin käyrityminen on anisotropiailmiö, sillä käyrityminen tapahtuu useimmiten jonkin selvän akselin ympäri, ja rakenteellisella anisotropialla on käyritymiseen selvä vaikutus. Käyrityminen on kuitenkin myös toispuolisuusilmiö, sillä sen edellytyksenä on paperin rakenteen tai käsittelyn toispuolisuus. Ominaisuuksien tärkeysjärjestys määräytyy tuotantoprosessin ja lopputuotteelta haluttavien ominaisuuksien pohjalta, joten haluttu anisotropia on eri paperilajeilla erilainen. /2/

Paperin rakenteessa esiintyy aina satunnaista paikallista vaihtelua (esim. neliömassan vaihtelu). Kuituorientaation ja kuivuneiden rakennemuutosten epähomogeenisuudella on merkitystä mm. paperin vetolujuuden kannalta.

Elina Kunnas

Kuituorientaation epähomogeenisuus voi osaltaan aiheuttaa kupruilua tai reunojen aaltoilua. Kuituorientaation ja kuivuneiden rakennemuutosten paikalliset vaihtelut muodostavat yhdessä neliömassan vaihteluiden kanssa oman, paperin anisotropiasta riippumattoman ongelmakokonaisuutensa. /2/

Anisotropinen toispuoleisuus



Kuva 12 Anisotropinen toispuoleisuus /25/

Paperin anisotropisuutta voidaan lisätä /2/:

- suurentamalla kuituorientaatiota.
- lisäämällä paperin konesuuntaista venytystä siten, että märkäpuristin- ja kuivatusryhmien välisiä vetoja kiristetään.
- sallimalla rainan kutistua enemmän poikkisuunnassa kuivatusosalla.

Päinvastaiset toimet vastaavasti pienentävät rakenteen anisotrooppisuutta. Jos kuituorientaatiota lisätään tai rainan annetaan kutistua vähemmän tai sitä venytetään enemmän konesuunnassa, paperin konesuuntainen vetolujuus, kimmokerroin ja jäykkyys paranevat ja venymä huononee. Vastaavasti jos kuituorientaatiota pienennetään tai rainan annetaan kuivatusvaiheen aikana kutistua

Elina Kunnas

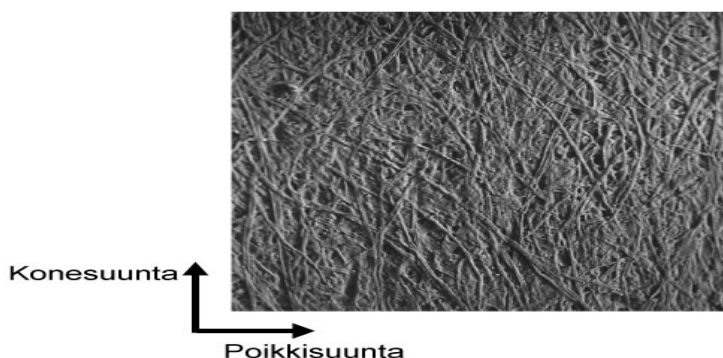
vähemmän poikkisuunnassa, paperin poikkisuuntaan mitatut vetolujuus, kimmokerroin ja jäykkyys paranevat ja venymä pienenee. /1/

5 KUITUORIENTAATIO

Paperin kuituorientaatio on laatutekijä, jonka merkitys on kasvanut uusien kopiointi- ja tulostusmenetelmien myötä. Kuituorientaatio on lisäksi paperikoneen ajettavuus- ja tuotantotekijä, joten sen hallinta on tärkeää paperilaadusta riippumatta. /11/

Vaikka kuituorientaatioon liittyvää systemaattista tutkimusta on tehty jo useiden vuosien ajan, tulokset alkavat vasta nyt näkyä käytännön paperin valmistuksessa. Tähän on löydettävissä kaksi perimmäistä syytä. Aikaisemmin paperinvalmistajalla oli massaominaisuuksien ja ajotavan (virtaama, suihkusuhde) valinnan lisäksi vain vähän keinoja orientaation hallinnassa. Nykyiset paperikonekonseptit ovat varustettuja erityisesti orientaation hallintaan liittyvillä rakenneratkaisuilla ja erillislaitteilla, jotka ovat luonnollisesti lisänneet paperintekijän mahdollisuuksia orientaation säätämisessä. Toisena syynä tähän kehitykseen on paperin kasvaneet laatuvaatimukset. Paperin hyvät orientaatio-ominaisuudet vaikuttavat tuotteen markkinointiin ja hintaan. /11/

Mikä on kuituorientaatio?



Kuva 13 Kuituorientaatio /25/

Elina Kunnas

5.1 Määritelmä

Kuituorientaatio on yksi paperikoneella valmistetun paperin tyypillisistä rakennepiirteistä. Kuidut eivät ole asettuneet paperin tason suunnassa tasaisesti kaikkiin suuntiin vaan konesuuntaisia kuituja on poikkisuuntaisia enemmän. Paperin tason suuntaisten kuitujen suuntajakauman epäsymmetrisyyttä nimitetään kuituorientaatioksi. /1/

Matemaattisesti kuituorientaatio määritellään suuntajakaumafunktiona; kuitujen määränä paperin tason eri suunnissa, eli se ilmaisee, mikä määrä kuituja on suuntautunut paperissa kuhunkin suuntaan. /24/

Kuituorientaatiota käytetään kuvaamaan kahta eri asiaa, kuitukulmaa ja kuitusuhdetta.

5.1.1 Kuituorientaationsuhde eli kuituorientaatiojakauma

Kuituorientaationsuhde eli kuituorientaatiojakauma kuvaa orientaation voimakkuutta eli intensiteettiä. Se voidaan ilmoittaa mitatun suuntajakauman maksimi- ja minimiarvojen suhteena. Silloin se vertaa kuitujen lukumäärien suhdetta suunnassa, jossa kuituja on eniten ja tätä suuntaa nähden vastakkaisessa suunnassa. Mitä suurempi osa kuiduista on suuntautunut lähelle keskimääräistä orientaationsuuntaa, sitä suuremman arvon kuituorientaatioindeksi tällöin saa. Orientaationsuhde ilmoitetaan kuitenkin useimmiten kone- ja poikkisuunnan kuitujen määrän suhteena, koska tieto ominaisuuksien jakautumisesta näissä suunnissa on käytännön kannalta tärkeämpi. Tällöin orientaationsuhde on sitä suurempi, mitä enemmän kuituja on konesuuntaan poikkisuuntaan suuntautuneisiin kuituihin verrattuna. /17/

Koska kuitujen keskimääräinen pituus on suurempi kuin normaalin paperin paksuus, asettuvat kuidut melko tarkoin paperin tason suuntaisiksi. Siten kuituorientaatiota kuvaava tilastollinen jakaumafunktio, ns. kuituorientaatiojakauma, ilmoittaa paperin tasossa eri suuntiin osoittavien kuitujen suhteellisen osuuden. /24/

Elina Kunnas

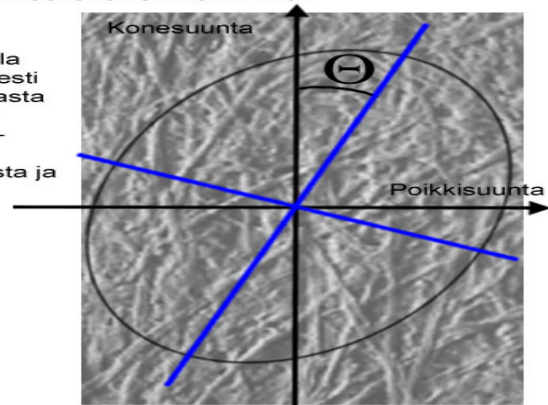
Piirrettäessä tyypillinen kuituorientaatiojakauma polaarikoordinaatistoon, muodostuu kuvio, jota voidaan yleensä hyvin approksimoida ellipsillä. Sanotaan, että orientaatiojakauma on elliptinen. /24/

5.1.2 Kuituorientaatiokulma

Orientaatiokulma ilmoittaa konesuuntaan nähden sen suunnan, johon on suuntautunut eniten kuituja, eli sen, kuinka paljon kuitujen keskimääräinen suunta poikkeaa konesuunnasta. Kun katsotaan paperia sen kulkusuuntaan (perälaatikolta katsottuna paperin etenemissuuntaan) ja verrataan siinä olevan kuidun suuntaa konesuuntaan, kuitu voi olla kääntyneenä paperin vasenta tai oikeaa reunaa kohden. Orientaatiokulman itseisarvo ilmaisee poikkeaman määrän asteina konesuunnasta ja etumerkkisuunnan. /24/ Konesuunta antaa kulman arvon nolla, ja siten lähelle konesuuntaa orientoituneiden kuitujen orientaatiokulma on lähellä nollaa. Kuidun suunnan ja etumerkin yhteys ei ole aina selvä, joissain orientaation mittalaitteissa käytetään vastakkaisia etumerkkisääntöjä. Erilaiset mittalaitteet antavat sen vuoksi erilaisia tuloksia, kuten esimerkiksi Lippke ja L&W. Tämä aiheuttaa usein sekaannusta tulosten tulkinnassa. /9/

Kuituorientaatiokulma

Paperin kuituorientaation vinoudella tarkoitetaan sitä, että lukumääräisesti eniten kuituja osoittaa konesuunnasta poikkeavaan suuntaan. Vinouden mittana käytetään kuituorientaatiokulmaa, jonka itseisarvo ilmaisee poikkeaman määrän konesuunnasta ja etumerkki suunnan (oikealle, vasemmalle)



Kuva 14 Kuituorientaatiokulman määrittely /25/

Elina Kunnas

5.1.3 **Vinous**

Paperin kuituorientaation vinoudella tarkoitetaan sitä, että lukumääräisesti eniten kuituja osoittaa konesuunnasta poikkeavaan suuntaan. Tästä seuraa, että paperin toiminnalliset ominaisuudet eivät ole suuntautuneet kone- ja poikkisuunnan mukaan. Elliptisen jakauman tapauksessa vinous tarkoittaa pääorientaatio suunnan eli ellipsin pääakselin poikkeamista konesuunnasta. Vinouden mittana käytetään kuituorientaatiokulmaa, jonka itseisarvo ilmaisee poikkeaman määrän konesuunnasta ja etumerkki suunnan (oikealle, vasemmalle). Etumerkki on mittaamenetelmästä riippuva sopimuskysymys, mikä usein aiheuttaa sekaannusta tulosten tulkinnassa. Kuituorientaation vinous aiheuttaa vinoutta paperin muodonmuutokseen. Esimerkiksi jatkolomakepaperi kuumenee tulostuslaitteessa ja vinon kuituorientaation omaava jatkolomakepaperi "kaatuu" pinottaessa. /24/

5.2 ***Kuituorientaation merkitys/orientaation ilmenemismuodot paperissa***

Orientaatio vaikuttaa valtavasti paperin eri ominaisuuksiin ja ajettavuuteen /18/. Hyvä kuituorientaatio parantaa ajettavuutta paperikoneella, mikä tehostaa tuotantoa. Orientaatiokulmaprofiilin vaihtelut voivat aiheuttaa ongelmia paperin valmistuksessa ja jatkojalostuksessa. Paperin käyttäytymisen epästabiilisuus on usein seurausta sen orientaatio-ominaisuuksien epätasaisuudesta. /1/ Huono kuituorientaatio voi valmistusvaiheessa aiheuttaa mm. ajettavuusongelmia pituusleikkurilla, kalanterilla ja päällystyskoneella, ratakatkoja paperikoneella sekä rullan pään viennin hankaloitumista. /17/

Jotkin paperin ominaisuudet riippuvat voimakkaasti paperin anisotropiasta ja siten kuituorientaatiosta. Tämä on selitettävissä sillä, että kuidun lujuus on paljon suurempi pituus- kuin poikkisuunnassa. Toiseksi kosteuslaajenevuus on paljon suurempaa poikki- kuin pituussuunnassa. /17/

Jotkut paperin ominaisuuksista korreloivat suhteellisen hyvin kuituorientaatiokulman tai – indeksin kanssa, joten ne voidaan määrittää laskennallisesti orientaatiotuloksista. Paperin ominaisuuksiin vaikuttavat orientaation lisäksi kuitenkin monet muutkin tekijät, kuten käytetty massa ja

Elina Kunnas

valmistusprosessin kalusto, täyteainetyyppi ja sen määrä sekä paperiradan jännitys kuivauksen aikana. Kun muita tuloksia lasketaan kuituorientaatiotuloksista, on tulosten luotettavuus aina syytä tarkistaa vertaamalla muilla menetelmillä mitattuihin tuloksiin. Mm. vetolujuus, taivutusjäykkyys ja puristuslujuus saavat suurimmat arvonsa suunnassa, johon pääosa kuiduista on suuntautunut. Toisaalta on myös ominaisuuksia, joiden arvot ovat suurimmillaan kohtisuoraan tätä suuntaa vastaan, kuten esimerkiksi repäisylujuus ja kosteuslaajenevuus. Kuituorientaatio vaikuttaa siis eri ominaisuuksiin eri tavalla; sen muuttaminen voi parantaa joitakin paperin ominaisuuksia konesuunnassa, mutta toisaalta huonontaa poikkisuuntaisia ominaisuuksia. Ominaisuudet onkin sen vuoksi asetettava tärkeysjärjestykseen ennen kuituorientaation säätöä. Optimiorientaatio määräytyy lähinnä lopputuotteelta vaadittavien ominaisuuksien perusteella. /17/

Lisäämällä suihkun ja viiran nopeuseroa, voidaan kuituorientaation voimakkuutta eli anisotropiaa kasvattaa. Tämä vaikuttaa puolestaan konesuuntaisten lujuusominaisuuksien paranemiseen. Samalla poikittaiset lujuusominaisuudet heikkenevät, samoin mittapysyvyys. Yleisenä sääntönä voidaankin todeta, että parannettaessa orientaation avulla paperin mekaanisia ominaisuuksia yhdessä suunnassa, ne heikkenevät sitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Kunkin paperilajin laatuvaatimukset määräävät valmistusprosessin ajotavan. /11/

5.2.1 Formaatio

Kitaformerissa formaatio paranee asteittain orientaatiotason kasvaessa. Tämä johtuu siitä, kun osittain muodostunut raina kulkee kahden viiran välissä, jolloin kestää verrattain suuria leikkaus- ja normaalivoimia ennen kuin kuituverkosto menee rikki. Suuret leikkausvoimat sekä parantavat formaatiota että kasvattavat orientaation intensiteettiä. Hybridi formereilla ja tasoviiralla raina on osittain muodostunut alapuolelta, yläpuoli jää nestemäiseksi viiralle suihkun vaikutuksesta. Tässä tapauksessa raina voi kestää vain pienen määrän leikkausta ennen kuin se alkaa hajota, joten paras formaatio saavutetaan paljon alhaisemmalla orientaatiotasolla kuin kitaformereissa. /18/

Elina Kunnas

5.2.2 Laatutekijät

Kuitujen suuntautumisen asteella on merkittävä vaikutus paperin ominaisuuksiin, koska kuiduilla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet niiden pituus- ja paksuussuunnissa. Alhaisempi orientaation intensiteetti aiheuttaa suuremman poikkitaajuuksien sekä paremman mittapysyvyyden. Kohdistusvirheongelmat painatuksessa vähenevät kun mittapysyvyys on parempi, jonka myös käyritysmis- ja rypistymistäipumus vähenee huomattavasti. Paperin käyrityminen riippuu toispuolisuudesta sekä kulmavirheestä ja orientaation intensiteetistä. Pienetkin virheet sekä kuitukulmassa että orientaation suuruudessa voivat aiheuttaa rypistymisongelmia. /18/

Paperin konesuuntainen vetolujuus ja poikkisuuntainen repäisylujuus paranevat nopeasti orientaatiotason kasvaessa. Tällä ominaisuudella on merkittävä vaikutus hankintakustannuksiin, sillä orientaatioaste usein määrittelee kuinka paljon kallista armeerausmassaa täytyy lisätä, jotta saavutettaisiin tavoitellut lujuusominaisuudet. Kuitenkin poikkisuuntainen vetolujuus huononee hieman orientaatiotason kasvaessa. /18/

5.2.3 Käytännön rajoitukset kuituorientaatiolle

Tavoiteltu orientaatiotaso riippuu paperilajista ja joskus jopa asiakkaasta tai määrittelystä painomenetelmästä. Tyypillisiä esimerkkejä ovat sanomalehtipaperi, SC ja LVC, jotka voidaan ajaa kone- ja poikkisuunnassa vetosuhteeseen 4. Tämän jälkeen on odotettavissa reunarullien rypistymistä. Lajien, jotka ovat herkkiä sekä käyritymiselle että poikkisuuntaiselle jäykkyydelle (esimerkiksi kopiopaperi), vetosuhde pitäisi olla noin 2,5. Säkkipaperilaadut ajetaan mahdollisimman lähelle vetosuhdetta 1, jotta saavutettaisiin mahdollisimman hyvä poikkisuuntainen lujuus. Ajettavuuden parantamiseksi kone- ja poikkisuuntainen vetosuhde tulisi ajaa mahdollisimman suureksi aiheuttamatta laatuongelmia. /18/

Elina Kunnas

5.2.4 Mittapysyvyys

Paperin mittapysyvyys riippuu oloista, jotka vallitsevat kuituverkoston syntyessä. Kosteuden vaihtelut aiheuttavat paperissa muutoksia, jotka vaikeuttavat jatkojalostusprosesseja, joissa paperin kosteutta ei voida pitää vakiona. Paperin mittapysyvyys on erittäin tärkeä lopputuotteen ominaisuus. Hyvä mittapysyvyys parantaa mm. silikonointia. /18/

Paperin mittamuutosten syynä on kuidun turpoaminen tai kutistuminen kuiva-ainepitoisuuden muuttuessa. Kuidun pituussuuntaiset vaihtelut ovat huomattavasti pienempiä kuin paksuussuuntaiset. Kuiduissa tapahtuvat muutokset aiheuttavat muutoksia koko kuituverkostossa. Kuitujen orientoitumisesta johtuen nämä muutokset ovat erilaisia paperin kone-, poikki- ja paksuussuunnassa. Lisäksi kuituorientaation vinous voi aiheuttaa vinoutta paperin muodonmuutokseen. /24/ Ilmiö aiheuttaa jatkolomakepinojen kaatumisen lasertulostuksessa /11/.

Jos kuituorientaatiokulma ei ole arkin sivun suunnassa, suorakulmainen arkki muuttuu suunnikkaaksi, ja jatkolomakepino kaatuu tietyn korkeuden saavutettuaan. Pinon kaatumatendessi on usein suurimmillaan paperiradan reunoilla, missä poikkisuuntainen kuivatuskutistuma on suuri. /11/

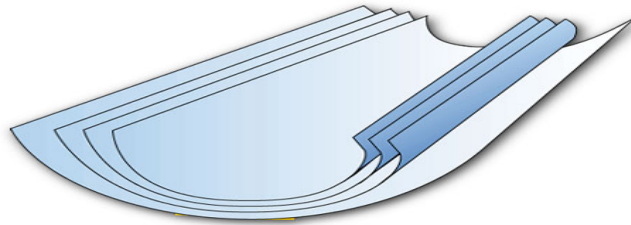
5.2.5 Orientaation vaikutus käyristymiseen

Paperin käyristymisen perimmäinen syy on, että paperin eripuolet reagoivat eri tavalla kosteuden muutoksiin. Yksi paperin kosteuslaajenemaan vaikuttavista tekijöistä on kuituorientaatio, jonka toispuolisuudella on selvä yhteys käyristymiseen. Jos paperin kuidut ovat orientoituneet paperin alapuolella enemmän konesuuntaan kuin paperin yläpuolella, kosteusmuutosten seurauksena syntyvä suurempi poikkisuuntainen kuitujen turpoaminen aiheuttaa rainan alapuolen suuremman poikkisuuntaisen kutistuman poistettaessa vettä. /10/ Samasta konerullan poikkipositioista otetut arkinäytteet käyttäytyvät eri tavalla esimerkiksi käyristymisen suhteen. Pienessä mittakaavassa tarkasteltuna orientaatiovaihteluita on myös yhden arkin sisällä. Kopiointi tapahtumassa arkkiin

Elina Kunnas

syntyy lokaaleja mittamuutoksia sekä sisäisiä jännityskeskittymiä. Mekanismi voi johtaa kopiopaperille haitallisen kupruilukäyttäytymisen. /11/

Käyristyminen



Kuva 15 Käyristymisen vaikutus paperiin /25/

Normaaleilla perälaatikkosakeuksilla paperin kuituverkostosta muodostuu kerroksellinen. Erään tutkimuksen mukaan yli 90 % konventionaalisen paperin rakenteesta on kerroksellista ja vain alle 10 % huopautunutta. Tämän perusteella kuituorientaation paksuussuuntaiset vaihtelut voidaan selittää kuhunkin yksittäiseen kuitukerrokseen syntyvän orientaatiojakauman avulla. Siten kuituorientaation toispuolisuuteen, tai yleisemmin kuituorientaatiojakauman vaihteluun paperin paksuussuunnassa vaikuttavat perälaatikossa sulppusuihkuun syntyvä nopeus- ja orientaatiojakauma, sekä turbulenssitason ja sulpun virtausnopeuden kehittyminen suotautumisen aikana. /10/Paperin käyristymiseen vaikuttavat kimmomoduuli ja kosteuslaajenema /9/. Säättösuureista merkittävin on suihkun ja viiran nopeusero, joten kuituorientaation toispuolisuus on voimakkaasti sidoksissa kuituorientaatio-suhteen keskimääräiseen arvoon /10/.

5.2.6 Orientaation vaikutus kutistumiseen

Vapaasti kuivuaan paperiraina kutistuu. Kutistuman suuruus riippuu paperikoneella mm.kuitujen orientaatiosta, vetojen suuruudesta sekä kuivatusviiran kireydestä. Voimakkainta kutistuma on 60 – 85 % kuiva-ainepitoisuudessa. Kuidun kutistuma sen pituussuunnassa on 1 – 2 % ja poikkisuunnassa 20 – 30 %. /24/

Monisynterikuivatuksessa poikkisuunnan kutistuma on lähempänä vapaata kutistumaa, konesuunnassa kuivatuskutistuma estetään ja rataan syntyy sisäisiä

Elina Kunnas

jännityksiä. Alapaineteloihin perustuvissa yksiviirakuivatusosissa poikkisuuntaisenkin kutistuman hallinta on parantunut. Kuivumisen aikana rainaan aiheutettu venytys lisää paperin vetolujuutta venytyksen suunnassa, kun murtovenymä taas vähenee yhä voimaakkaammin. Jännitettynä kuivunut paperi kestää hyvin tasaisia kuormia, mutta hyvin huonosti äkillisiä ja iskukuormia. /24/

Painopapereilla kuivumiskutistuma pyritään minimoimaan, jotta saavutettaisiin hyvät ominaisuudet painokoneella. Paperirainan kutistumisen estäminen on tärkeää; sillä päästään pienempään kosteuslaajenemaan, vähäisempään käyristymis- ja kupruilutaipumukseen, suurempaan jäykkyyteen ja vetolujuuteen sekä pienempään murtovenymään. /24/

Jos radalla tapahtuu epätasaista kuivumista, paikallista tai poikki – konesuuntaista, paperin eri alueet kutistuvat eri tavoin, mikä aiheuttaa jännitysten laukeamista sekä mittamuutoksia, ja sen vuoksi kupruilua ja rynkkyjä /24/.

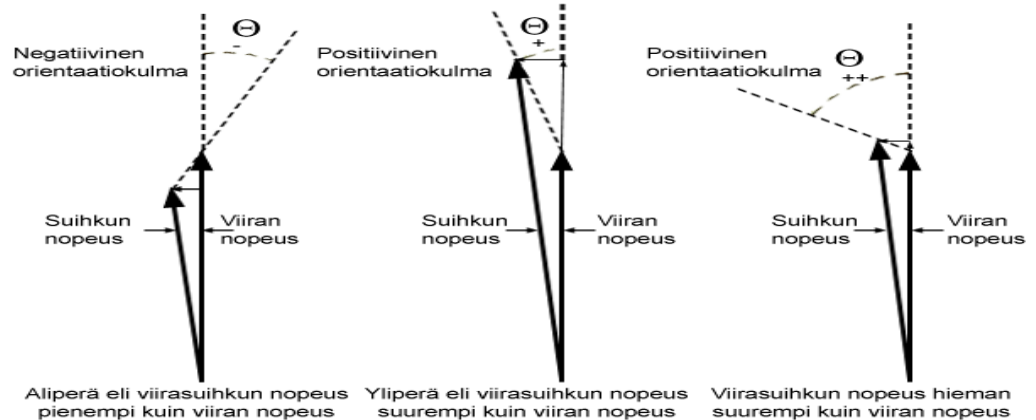
5.3 *Orientaation syntymekanismit*

5.3.1 **Kampausteoria**

Paperin kuituorientaation syntyminen voidaan selittää pääosin hyvin yksinkertaisten mekanismien avulla. Paperikoneella suotautuvan kuitususpension keskimääräinen nopeus poikkeaa yleensä jonkin verran viiralle jo muodostuneen kuitumaton nopeudesta. Nopeuseron syynä ovat viiran ja huulisuihkun nopeusero sekä kitasuotautumisessa suspension nopeuden pieneneminen suodatuspaineen muodostuessa. Kuituorientaation syntyminen suotautumisprosessissa voidaan selittää pelkistetysti ns. kampausteorian avulla. Tämän teorian mukaan jo toisesta päästään kuitumattoon kiinnittyneet kuidut kääntyvät suspension ja kuitumaton nopeuserosta syntyvän leikkausvoimakentän vaikutuksesta nopeuseron suuntaan. /11/ Viirapuolella on voimakkaampi orientaatio, joka selitetään vapaan lietteen ja viiran välisen nopeuseron pienenemisellä suotautumisen edistyessä. Tämän teorian mukaan orientaatioon vaikuttavat virtaukset ovat suihkun ja viiran nopeusero, sivusuuntaiset virtaukset ja turbulenssi.

Elina Kunnas

Kampausteorian mukainen orientaation syntymekanismi



Kuva 16 Kampausteorian mukainen kuituorientaation syntymekanismi /25/

Kampausteorian mukaan viiran ja perälaatikolta tulevan kuitususpension välinen nopeusero on pääsyy kuitujen konesuuntaiseen orientoitumiseen; se "kampa" kuidut nopeuseron suuntaan. Jos sulppukerroksen nopeus viiraan nähden ei ole konesuunnassa sulpun poikittaisvirtausten vuoksi, kuidut orientoituvat vinoon, jolloin kuituorientaatiokulma on sitä suurempi, mitä suurempi on sulpun poikittaishetki. Orientoitumisen suunta riippuu orientoivan voiman suunnasta, ja voimakkuus nopeuseron suuruudesta, ja siitä miten vapaasti kuitujen on mahdollista kääntyä orientoivan voiman vaikutuksesta. /9/ Flokit pienentävät orientoivien voimien vaikutusta ja sakeuden pienentyessä liikkumatila kasvaa /19/.

Alaperäsuotautumisella tarkoitetaan sitä, että suotautumishetkellä suspensio (kerroksen) nopeus on viiran nopeutta pienempi. Yläperäsuotautumisessa tilanne on päinvastainen. /24/

Sekä kokeellisesti että mallilaskujen avulla voidaan osoittaa, että kuituorientaatiokulma riippuu suihkun ja viiran nopeuserosta. Orientaatiokulma vaihtaa etumerkkiään tasaperäsuotautumistilanteessa. Orientaatiokulmat ovat samoilla poikittaisnopeuden arvoilla suurimmat lähellä tasaperää ja pienenevät nopeuseron kasvaessa. /24/

Elina Kunnas

5.3.2 Vinon suotautumisen teoria

Kuidun liikesuunta vapaasta lietteestä huopautuneen rainan pintaan määrättyy vinon suotautumisen teorian mukaan viiraa vastaan kohtisuoran vedenpoistonopeuden ja lietteen ja viiran nopeuseron resultanttina, jolloin kuidut projisoituvat viiralle tämän virtauksen suunnasta /19/. Kampausteorian avulla voidaan selittää ensisijaisesti kuituorientaatiokulman syntymekanismit, kun suotautuvassa sulpussa esiintyy poikittaisvirtauksia. Orientaation voimakkuus riippuu suotautumisvyöhykkeellä syntyvän leikkausvoimakentän lisäksi mm. vedenpoistonopeudesta ja turbulenssista. Vinon suotautumisen teoria perustuu virtauksen laminaarisuusoletukseen. Sen avulla voidaan osoittaa, että sulppukerroksen orientaatiovoimakkuus eli anisotropia riippuu paikallisen kokonaisnopeuden ja vedenpoistonopeuden suhteesta, kun liikutaan viiran määräämässä koordinaatistossa. Vinon suotautumisen teoria ennustaa, että suotautuvan sulppukerroksen ja viiran nopeuseron kasvaessa anisotropia kasvaa rajatta. Näin ei kuitenkaan tapahdu käytännössä, sillä suurilla nopeuseron arvoilla sulppuun syntyy turbulenttinen rajakerros, jolloin anisotropia alkaa pienentyä. /11/

Suotautumisen edistyessä tasoviiraosalla suotautumattoman kuitulietteen nopeus muuttuu vähitellen samaksi viiran nopeuden kanssa. Suotautuneen kuitumaton päällä olevassa lietteessä tapahtuu myös pyörteilyä ja kuidut pyrkivät flokkautumaan. Edettäessä viiralla nämä ilmiöt voimistuvat ja viiran loppuosassa vedenpoisto alkaa muistuttaa enemmän sakeutumisosprosessia kuin suotautumista. Tämän seurauksena tasonsuuntainen orientaatio tasoviirakoneella pienenee yleensä paperin viirapuolelta yläpuolelle mentäessä. /11/

Vinon suotautumisen teoria - anisotropiatekijä S

$$S = \frac{(w^2 + v^2 + \Delta u^2)^{1/2}}{w}$$

, jossa

w on vedenpoistonopeus

v on poikittaisvirtauskomponentti

 Δu on suspensiokerroksen ja viiran välinen nopeusero

Elina Kunnas

5.3.3 Turbulenssin rooli

Kuitususpension turbulentsisuudella on suuri merkitys kuitujen orientaatioissa. Turbulentsisuus merkitsee satunnaisia paine- ja nopeusheilahteluja virtauskentässä. Kuitujen suotautuminen tapahtuu siten myös näiden heilahtelujen vaikutuksen alaisena. Tämä johtaa satunnaisuuteen kuitujen orientoitumisessa. Turbulentsisuus pienentää paperin anisotropiaa, mutta ei vaikuta merkittävästi keskimääräiseen orientaatiokulmaan. /11/

5.3.4 Kuitususpension orientaatiojakauma

Perälaatikon huulikanavassa sulppuvirtaus kiihdytetään lopulliseen nopeuteensa. Kiihtyvässä virtauksessa kuidut pyrkivät orientoitumaan virtauksen suuntaan. Siten perälaatikosta ulostulevalla suspensiolla on orientaatiojakauma. Tämän jakauman vaikutus paperin orientaatioon näkyy lähinnä hitailla koneilla ajettaessa lähellä tasaperää. Normaalisti jakauman vaikutus peittyy suotautumisprosessissa, missä leikkausvoimat ovat kuituorientaation muodostumisen kannalta hallitsevia tekijöitä. /11/

5.3.5 Huulisuihkuteoria

Huulisuihkuteorian mukaan massan virtasuihkun turbulenssista huolimatta massasuihkun purkautuessa huuliaukosta kuituja on enemmän virtauksen suuntaisesti kuin muihin suuntiin, eli huulisuihkun tulisi orientoida kuituja virtaussuihkun suuntaan. Rainan muodostuessa viiralla lähinnä suotautumisen ansiosta jo rainautuneen kerroksen päällä säilyy kuitenkin laimea liete vielä suihkuvirtauksen vaikutuksen jälkeenkin. Huulisuihkuvirtauksessa tapahtunut suuntautuminen ehtii tällöin tuhoutua viiran turbulenssissa tässä osassa paperia. Tästä johtuen huulisuihkuvirtauksen vaikutus kuitujen lopulliseen suuntajakaumaan ei ole merkittävä viirapuolen päällimmäisiä kerroksia lukuun ottamatta. /20/

Elina Kunnas

5.4 Kuituorientaatioprofilien synty ja hallinta

Kuituorientaation katsotaan pääasiassa muodostuvan paperikoneen märässä päässä, eli perälaatikolla ja formerilla. Puristin- ja kuivatusosalla on myös vaikutusta kuituorientaatioon, vaikkakaan ei ole yhtä suuri kuin edellä mainittujen. /11/

Kuituorientaation syntyyn vaikuttavia mekanismeja tunnetaan useita. Kun virtaus perälaatikon huulikartiossa kiihdytetään lopulliseen nopeuteensa, syntyy kuidun päiden välille nopeusero, joka pyrkii kääntämään kuidun virtauksen suuntaiseksi. Mitä pitempi ja jäykempi kuitu on, sitä tehokkaammin kuitu orientoituu virtauksen suuntaan. Järjestäytyneimmän tilan oletetaan vallitsevan suihkun ohuimmassa kohdassa. Tietyn nopeuseron vallitessa saavutettava kuituorientaatio riippuu siitä, miten vapaasti kuidut pääsevät suotautumisen aikana liikkumaan. Tämä taas riippuu olennaisesti kuitulietteen sakeudesta. Sakeuden pienessä yksittäisten kuitujen liikkumatila kasvaa ja flokit heikkenevät, joten kuituorientaatio kasvaa. Mikäli sulppuun vaikuttavat leikkausvoimat eivät tässä vaiheessa ole riittävän suuria hajottamaan flokkeja, voidaan havaita kokonaisten flokkien venyvän ja orientoituvan virtauksen suuntaiseksi. Kiihdytyksen loputtua orientaatio häviää turbulenssin vuoksi nopeasti jo suotautumisen alkuvaiheessa. Tämän vuoksi yleensä vain lähellä viiraa olevat ensin suotautuneet kuidut jäävät konesuuntaisiksi. Initiaalivedenpoiston tehostaminen lisää siten konesuuntaista kuituorientaatiota. /11/

Huuliaukon geometriasta riippuen huulisuihkulla on paksuussuunnassa tietynlainen nopeusprofiili. Tämän vaikutus orientaatioon riippuu paljolti initiaalivedenpoiston oloista, kuten suihkun iskukulmasta ja törmäyskohdasta. /11/

Kuitujen orientoitumisen paperikoneen viiralla suotautumisvaiheen aikana saa aikaan suotautuvan sulpun ja jo muodostuneen kuitumaton välinen konesuuntainen nopeusero. Orientoitumisen voimakkuus riippuu nopeuseron suuruudesta sekä siitä, miten vapaasti kuidut voivat kääntyä orientoivan voiman vaikutuksesta. Kuitujen sitoutuminen flokkeihin eliminoi orientoivien voimien vaikutusta. Kaikki kuituflokkien syntymiseen ja niiden lujuteen vaikuttavat kuitujen ominaisuudet ja suotautumisolosuhteet vaikuttavat samalla myös saavutettavaan kuituorientaation voimakkuuteen. Perälaatikkosakeuden nosto, joka lisää flokkien lujutusta ja

Elina Kunnas

pienentää muutenkin kuitujen liikkumismahdollisuuksia, rajoittaa tunnetusti samalla orientaation hallintaa. Kuitujen ominaisuuksien vaikutuksia niiden orientoituvuuteen ei voida kuitenkaan johtaa suoraan niiden niiden verkostonmuodostusominaisuuksista, sillä orientaatiota aiheuttava nopeusero vaikuttaa samalla kuituflokkeja rikkovasti. Kuidun ominaisuuksilla, esim. pituudella ja jäykkyydellä, saattaa olla myös välitön vaikutus niiden orientoituvuuteen. /1/

Kuidut suuntautuvat lähinnä erilaisten virtauksien vaikutuksesta. Tärkeimmät muuttujat orientaation synnyssä ovat /9/:

- suihku-viiranopeusero
- sivusuuntaiset virtaukset
- turbulenssi

Kuitujen suotautumista tapahtuu perälaatikossa, huuliaukossa ja suotautumisen alussa viiralla. Suuntautumista aiheuttavat orientoivat voimat johtuvat perälaatikon rakenteesta, huulisuihkun kiihdytyksestä, suihku-viiranopeuserosta, sekä nopeuserosta jo muodostuneen kuitumaton ja vielä suotautuvan kuitususpension välillä. /9/

5.5 *Orientaatioon vaikuttavat tekijät*

Orientaatiokulmaprofiilin vaihtelut voivat aiheuttaa ongelmia valmistajalle ja paperin käyttäjälle. Seuraavassa tarkastellaan orientaatioon vaikuttavia tekijöitä ja sitä, miten niillä voidaan vaikuttaa orientaatioon.

5.5.1 **Virtausvirheet perälaatikossa**

Paperikoneen perälaatikon ensisijaisena tehtävänä on jakaa kuitususpensio koko koneen leveydeltä tasaisesti rainaimelle. Perälaatikon mitoitukselle, suunnittelulle ja valmistukselle asetettavat tavoitteet ovat vaativia. Paperin laatuvaatimusten ja

Elina Kunnas

tuotantonopeuksien kasvaessa vaatimukset perälaatikon mitoitus- ja valmistustarkkuudelle myös kiristyvät. /11/

Massan virtaamaa viiralle säädetään huuliaukon avulla. Perälaatikko vaikuttaa ratkaisevasti siihen, millainen poikkiprofiili paperikoneelta saadaan. Perälaatikon hyvä säätö on tärkeää, sillä se takaa hyvän valmistettavan paperin tuotannon ja laadun. Orientaatiokulman vaihteluista voidaan päätellä perälaatikon säätötarvetta. Perälaatikolla huuliaukon asento ja massan syöttösakeus vaikuttavat orientaatioon. Suihkusuhde ja reunavirtaukset muuttavat orientaatiota, lajikohtaisilla muutoksilla ei ole suurta vaikutusta. /18/

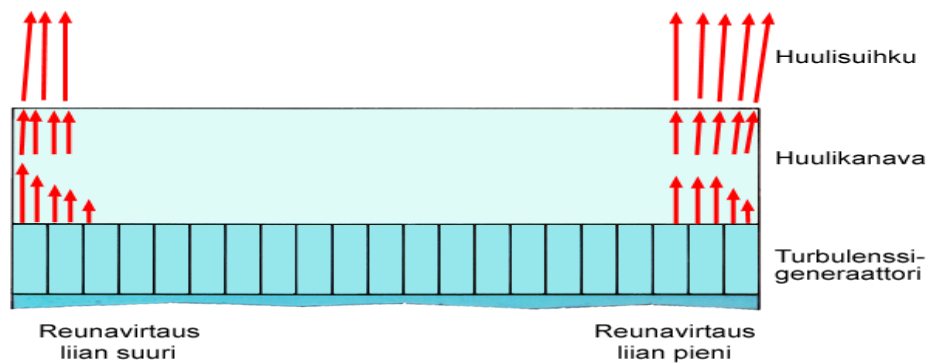
Perälaatikkovirtauksissa esiintyy aina virtausvirheitä, jotka vaikuttavat muodostuvan rainan profiileihin. Profiileihin vaikuttavat virtausvirheet voivat saada alkunsa jo jakojärjestelmästä. Jakojärjestelmän aiheuttamia virtausvirheitä voidaan rajoitetusti korjata ns. ohikierrätyksellä, jolla voidaan säädellä staattisen paineen balanssia jakotukissa. Vaikka jakojärjestelmä tuottaisi optimaalisen jakotuloksen, reunakitkat, likaantuminen, valmistuksen epätarkkuudet jne. voivat johtaa haitalliseen virheeseen turbulenssigenaattorin ulostuloprofiilissa. /11/

Kun virtaus suppenevassa huulikanavassa kiihdytetään lopulliseen nopeuteensa, vaimenee konesuuntainen virtausprofiili. Samalla syntyy kuitenkin poikittainen virtausprofiili, joka siirtyy suotautumisvyöhykkeelle aiheuttaen profiilivirheitä sekä kuituorientaatioon että neliöpainoon. /11/

Kuidut orientoituvat voimakkaasti massan poikittaisvirtausten mukaan. Säättämättömässä koneessa virtaus pyrkii leviämään viiran reunoja kohti, ja kääntämään orientaatiota pois konesuunnasta. Jos paperikoneen nopeus on alhainen, sulppufaasiin voi kehittyä vinous jo perälaatikolla. /19/ Perälaatikolla ja viiraosalla orientoitumista konesuuntaan aiheuttaa kiihtyvä virtaus perälaatikossa, suihku-viiranopeussuhteen poikkeaminen arvosta 1 sekä viistosti tapahtuva veden poistuminen viiraosalla /17/. Sivuttaissuuntaiset virtaukset perälaatikossa ja viiralla kääntävät orientaatiota konesuunnasta poispäin. Turbulenssi vähentää orientaation intensiteettiä. /9/

Elina Kunnas

Virtausnopeuden vaikutus huulisuihkun suuntautumiseen perälaatikon reuna-alueilla

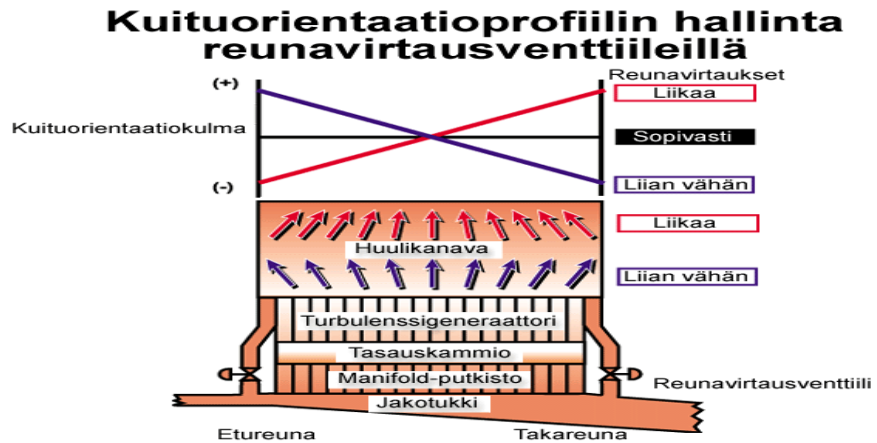


Kuva 18 Virtausnopeuden vaikutus huulisuihkun suuntautumiseen /25/

Perälaatikkovirtauksessa esiintyy aina virtausvirheitä, jotka vaikuttavat rainan profiileihin niiden tasaisuutta vähentäen. Ne voivat johtua jakojärjestelmästä, jonka virtausvirheitä voidaan kuitenkin korjata säätelemällä staattisen paineen balanssia jakotukissa ns. ohikierrätyksellä, eli perälaatikon ohivirtauksen säädöllä. Myös esimerkiksi likaantuminen ja valmistuksen epätarkkuudet voivat aiheuttaa virheen virtauksessa. Huulikanavassa syntyvä poikittainen virtaus aiheuttaa profiilivirheitä orientaatioon. /9/

Virtausvajeet paperikoneen reuna-alueilla ovat tyypillisimpiä virtausvirheitä huulikartiossa. Vajaus reuna-alueella synnyttää huulisuihkuun reunoille päin suuntautuvan poikittaisnopeuden profiilin, joka johtaa ns. diagonaaliseen virheeseen orientaatioprofilissa. Tämän virheen eliminoimiseksi joihinkin perälaatikoihin on asennettu ns. reunavirtaussäädöt, joiden avulla aivan perälaatikon reuna-alueelle voidaan syöttää lisää virtausta venttiilin kautta suoraan jakotukista. Tämän ansiosta poikittaisvirtausprofiili oikenee, oikaisten samalla myös kuituorientaatioprofiilin. /11/

Elina Kunnas



Kuva 19 Kuituorientaatioprofiilin hallinta reunavirtausventtiileillä /25/

Kuitususpension turbulentsisuus, eli virtauskentän paine- ja nopeusheilahtelut aiheuttavat satunnaisuutta kuitujen orientoitumisessa. Turbulentsisuus pienentää paperin anisotropiaa, eli orientaation intensiteettiä, eli lisää kuitujen suunnan vaihtelua, mutta ei vaikuta huomattavasti keskimääräiseen orientaatiokulmaan. /8/ Perälaatikon läpi kulkevan virtauksen kokonaismäärää kasvattamalla turbulenssi kasvaa. Virtauksen määrää voidaan lisätä suurettamalla nopeutta tai huuliaukkoa avaamalla. /9/ Perälaatikon turbulenssigeneraattori vaikuttaa paperiradan laadun tasaisuuteen radan poikkisuunnassa. Sen avulla voidaan saavuttaa tasainen kuituorientaatio. /24/ Toisaalta generaattorin virtausprofiilin epätasaisuudet vaikuttavat orientaatioprofiiliin heikentävästi /19/.

5.5.2 Suihkun ja viiran nopeussuhde

Suihku-viirasuhdetta säätämällä voidaan vaikuttaa ajettavuuteen paperikoneella. Kuituorientaatiota hallitaan perälaatikon massasuihkun ja viiran nopeuserolla, ja se on yksi tärkeimmistä hallintasuureista viiraosalla. Suihku-viira-nopeussuhde vaikuttaa kuituorientaatioon suoraan viiran kampauseron ja vinonsuotautumisen välityksellä. /9/

Kuitukulman ajatellaan syntyvän massan ja viiran nopeusvektoreiden erotuksesta. Tämä on helpointa hahmottaa siten, että ajattelee viiran olevan paikallaan ja miettii sitten, mihin suuntaan massa on liikkumassa paikallaan olevan viiran päällä. Perusorientaatio konesuuntaan syntyy huuliaukolla, jossa äkillinen nopeuden kiihtyminen tempaa kuidut mukaansa ja orientoituu konesuuntaan. Suihku-

Elina Kunnas

viirasuhteella voidaan orientaatiota vielä lisätä ja vaikuttaa kulmiin. Yläperällä ”massa kulkee eteenpäin” ja alaperällä ”taaksepäin”, jos viiran ajatellaan olevan paikallaan. Tällöin ylä- ja alaperällä saadaan vastakkaismerkkiset orientaatiokulmat ja tasaperällä tilanne on hieman epämääräinen. /23/

Suihku-viirasuhteella voidaan merkittävästi vaikuttaa myös kulmien itseisarvoihin. Mentäessä pois päin tasaperältä konesuunnan vektori pitenee, jolloin orientaatiokulmatkin pienenevät. Kulmien maksimi ei kuitenkaan käytännössä olekaan tasaperällä (konesuunnan vektori nolla, joten orientaatiokulman pitäisi olla 90 astetta), vaan tasaperällä onkin paikallinen orientaatiokulmien minimi, jonka molemmiin puolin on maksimit suhteellisen lähellä. Tasaperällä on usein melko voimakas orientaation toispuoleisuus, sillä silloin ylä- ja alapinnoista toinen on lievästi yläperällä ja toinen alaperällä, jolloin summakulma on nolla, mutta toispuoleisuus on suurehko. Kulmia voi siis pienentää ajamalla tarkkaan tasaperällä tai sitten reilusti ylä- tai alaperällä. /23/

Viiran ja suihkun välinen nopeusero ei koskaan ole käytännössä yksi. Virtaus asettaa kuidut tällöin virran suuntaisesti, käytännössä siis konesuuntaan. Mitä suurempi nopeusero on, sitä suurempi osa kuiduista suuntautuu konesuuntaisesti. Nopeuseron kasvattaminen pienentää siten orientaatiokulmaa. Usein nopeuseron valinnan perusteena ovat paperikoneen ajettavuudesta ja massajakauman tasaisuudesta, eli formaatiosta, saatu kokemukseräinen tieto sekä pyrkimys valmistaa mahdollisimman isotrooppista paperia. /19/

Tasaperällä orientaation intensiteetti on pieni, koska kuidut voivat vapaammin hakea asentonsa kuin yli- tai alaperällä /18/. Suihkun ja viiran nopeuseroa kasvattamalla voidaan kasvattaa paperin anisotropiaa. Suihkun ja viiran nopeusero vaikuttaa myös kuituorientaation toispuolisuuteen. Erot paperin eri puolilla johtuvat eriaikaisesta suotautumisesta, ja niihin voidaan vaikuttaa oikealla suihku-viirasuhteella. /24/ Suihku-viirasuhde vaikuttaa moniin paperin ominaisuuksiin, joten sen optimointi on monimuuttujaoptimointia /23/.

Elina Kunnas

5.5.3 Kuivatuskutistuma ja huuliaukkoprofiili

Perälaatikon huuliaukon profiilia voidaan säätää sen reunoilta venttiilien avulla. Sitä säädetään neliö/kuivapainon mukaan. Paperirata kutistuu kuivatusosalla poikkisuunnassa. Kutistumaan muodostuu kitkatekijöiden ja vetoerojen yhteisvaikutuksesta poikkisuuntainen profiili, missä reuna-alueet kutistuvat radan keskustaa enemmän. Tyypillisesti tämä kutistumaero on 2-5 % paperilajista, ajotavasta ja kuivatuskonseptista riippuen. Kutistumisesta johtuen paperin neliöpaino vastaavasti kasvaa, nyt reuna-alueilla keskustaa enemmän. Paperikoneen automaattinen neliöpainoprofiilin säätöjärjestelmä varmistaa huulisäädön avulla, että lopputuotteen neliöpainoprofiili on mahdollisimman suora. Tämä merkitsee väistämättä, että perälaatikon on syötettävä reuna-alueille massasulppua keskiosaa vähemmän. Tämä tapahtuu sulkemalla huuliaukkoa koneen reuna-alueilta, jolloin huuliaukkoprofiilista tulee bombeerattu. Tämä puolestaan synnyttää huulikanavassa keskustaan päin suuntautuvia poikittaisvirtauksia, joiden seurauksena orientaatioprofiili saa tyypillisen S-muotonsa, eli rainan reunoille syntyy vino kuituorientaatio. Neliömassaprofiilin korjaustoimenpiteet myös radan keskikohdilla heikentävät yleensä orientaatioprofiilia. /11/

Orientaatioprofiilin S-muodon korjaaminen tapahtuu neliöpainoprofiilin kustannuksella oikaisemalla huuliprofiilia, jolloin reuna-alueilla neliöpaino kasvaa. Käytännössä tämä toimenpide suoritetaan kasvattamalla neliöpainon tavoiteprofiilia radan reuna-alueilla. Näillä kahdella laatutekijällä on riippuvuussuhde, ja niiden väliltä tulisi löytää optimiarvo. /11/ S-muotoa voi siis lieventää avaamalla huulta reunoissa. Tällöin kuivamassaprofiili alkaa kääntyä hymyileväksi, mikä pitää ottaa huomioon, jos halutaan ajaa suoraa paksuusprofiilia superkalanterilta. /23/

Neliöpainoprofiilin säätö perälaatikon huuliaukon kärkilistalla perustuu pääsääntöisesti poikittaisnopeuksiin, joita huuliaukon muotoilu synnyttää jo huulikanavassa. Poikittaisnopeudet aiheuttavat puolestaan orientaatioprofiilin syntymisen. Näillä kahdella profiililla on siten riippuvuussuhde; toisen muuttaminen vaikuttaa myös toiseen. Tälle riippuvuudelle voidaan johtaa jopa suhteellisen tarkka fysikaalinen malli. /11/

Elina Kunnas

Pääorientaatiosuunnan poikkeamista konesuunnasta voivat aiheuttaa lähinnä huulisuihkun suuntausvirheet ja huulen läpi virtaavan massamäärän vaihtelut. Koska huulisuihkun ja viiran nopeusero säädetään käytännössä suhteellisen pieneksi, voi suihkun suuntausvirhe näiden nopeuksien yhteisvaikutuksesta kasvaa viiralla hyvin suureksi. Tämä suuntausvirheen moninkertaistuminen johtuu siitä, että huulisuihkun poikkisuuntaisen nopeusvektorin pituus ei muutu viiralla. Erot viiralle tulevan sulpun määrässä rainan eri osissa aiheuttavat poikkisuuntaisia virtauksia ja siten orientaatiovirheitä. Nämä virheet voivat olla säännöllisiä, esimerkiksi perälaatikon tukkeutumisesta johtuvia, tai satunnaisia, esimerkiksi massan syötön epäsäännöllisyyden aiheuttamia. /18/

5.5.4 Viiraosa

Viiraosalla voidaan vaikuttaa paperin ominaisuuksista mm. formaatioon, eli paperin pienimittakaavaiseen neliömassavaihteluun, konesuunnan ja poikkisuunnan vetolujuussuhteeseen, joka taas vaikuttaa dimensiostabiilisuuteen, jäykkyysuhteeseen ja ajettavuuteen, täyteainejakaumaan, orientaatioon, ja siten paperin käyristymiseen. Kuitujen orientoitumisen viiraosalla saa aikaan nopeusero jo muodostuneen kuitumaton ja suotautuvan sulpun välillä. Kuidut suuntautuvat vinoon, jos viiralla esiintyy poikittaisia virtauksia. Silloin orientaatiokulma poikkeaa konesuunnasta. Viiraosan stabiilisuus vaikuttaa parantavasti orientaatioprofiiliin. /19/

Viiraosan tyypillä on vaikutus orientaatioon, pitkillä tasoviiraosuuksilla kuidut voivat muuttaa asentoaan. Koneilla, joilla vedenpoisto tapahtuu nopeasti (kuten kitaformereilla), havaitaan yleensä kuitujen voimakkaampaa orientoitumista konesuuntaan. /18/

Myös merkittävin osa rainan paksuussuuntaisesta, eli z-suuntaisesta epähomogeenisuudesta on peräisin viiraosalta, ja on siten riippuvainen osan rakenteesta. Kuituorientaation pieneneminen tasoviirakoneella valmistetun paperin yläpuolta kohti johtuu siitä, että suotautuvan sulppukerroksen nopeusero pienenee suotautumisen edistyessä. Kitaformerilla tuotetun paperin orientaatio pienenee

Elina Kunnas

paperin keskikohdalla, ja on ylä- ja alapinnoilla samanlainen, koska sulpun nopeus lähestyy viirojen nopeutta. Tosin joissakin tapauksissa orientaatio voi olla keskeltä suurempi kuin viirojen läheltä, jolloin siinä vaikuttaa sulpun nopeuden muuttuminen paineen vaikutuksesta. /19/

Viiraosalla myös vedenpoistoelementtien suuruudet ja taipumat, imujen tasaisuus koneen poikkisuunnassa sekä kulumisesta ja likaantumisesta aiheutuvat virheet voivat aiheuttaa poikkeamia virtauksissa sekä vedenpoistonopeudessa. Tämä vaikuttaa paperinkerrokselliseen rakenteeseen. /24/

5.5.5 Virtausvirheet rainaimella

Suotautuva sulppuvirtaus on alttiina häiriöille myös rainaimen vedenpoistovyöhykkeellä. Vedenpoistoelementtien suoruudet ja taipumat, imujen tasaisuus koneen poikkisuunnassa, paikalliset kulumisesta ja likaantumisesta johtuvat virheet, reuna-aallot jne. ovat esimerkkejä tekijöistä, jotka aiheuttavat profiilivirheitä virtauskentässä. Virheitä esiintyy siis suotautuvan sulppukerroksen tasossa sekä myös vedenpoistonopeudessa. Tästä seuraa, että paperin kerrokselliselle rakenteelle syntyy poikkiprofiili koneen leveyssuunnassa. /11/

5.5.6 Tasaperäsuotautuminen ja stabiilisuus

Eräitä kopiopaperilaatuja pyritään valmistamaan hyvän rainanmuodostuksen (pohja, formaatio) ja mittapysyvyyden parantamiseksi hyvin lähellä nk. tasaperätilannetta. Teoriassa ajotapa vaikuttaa ihanteelliselta kuituorientaation kannalta, sillä efektiivisessä tasaperäsuotautumisessa kuituorientaatiokulman arvo on nolla. Käytännössä tämä on kuitenkin erittäin stabiili piste ja mahdoton saavuttaa yhtä aikaa koko radan leveydeltä. Tämä johtuu mm. siitä, että huuliaukosta purkautuvalla suihkulla on myös konesuuntaista nopeusprofiilia. Tämä on eräs häiritsevä tekijä lähellä tasaperää olevassa ajotilanteessa. Tasaperäsuotautumisen lisäksi osa radasta voi tällöin suotautua ylä- ja/tai alaperätilanteessa. Pienetkin ajalliset vaihtelut prosessissa näkyvät levottomuutena ajettavuudessa (telalta irrotus, vedot) ja paperin profiileissa. /11/

Elina Kunnas

5.5.7 Puristinosä

Puristinosalla ei ole merkittävää vaikutusta kuituorientaatioon, lukuun ottamatta rainan eri kerrosten yhteisen puristumista /17/.

5.5.8 Kuivatusosa

Kuivatusosalla rainassa tapahtuu sen muodon muutoksia. Paperin ominaisuudet puristinosan jälkeen ovat hyvin erilaiset kuin kuivatuksen lopulla. Tapahtuvat muodonmuutokset lisäävät rainan anisotropiaa. Tämä vaikutus näkyy erityisesti monikerrospapereilla. Kuivatusvaiheessa tapahtuva paperiradan reunojen kutistuminen vaikuttaa osaltaan orientaation profiiliin./9/

5.5.9 Muita orientaatioon vaikuttavia tekijöitä

Jauhatuksen on havaittu vaikuttavan välillisesti kuituorientaatioon siten, että se lisää kuituverkoston lujuutta jo suotautumisen alkuvaiheessa ja siten vähentää orientoitumista. Kuidun pituudella ei ole havaittu olevan vaikutusta kuituorientaation voimakkuuden kannalta. /18/

Tietyn nopeuseron vallitessa orientaatio riippuu sulpun tilasta, eli siitä, miten nopeasti kuidut pääsevät suotautumisen aikana liikkumaan. Kuidun liikkumisvapautteen vaikuttaa eniten sulpun sakeus. Sakeuden pienentyessä kuitujen liikkumatila kasvaa ja flokit heikkenevät, jolloin tietyllä nopeuserolla saavutettava kuituorientaatio kasvaa. /20/

5.6 *Kuituorientaation mittaaminen*

Kuituorientaation luotettavien ja nopeiden mittausten kehittymisen mahdollistaa hyvän orientaation säädön, ja siten hyvän kuituorientaation ja halutun paperin anisotropian saavuttamiseen. Orientaation mittaaminen auttaa valmistajaa saamaan taloudellisia säästöjä, ja parantaa kilpailuasemaa markkinoilla. Kuituorientaation mittaaminen on tärkeää, sillä sen avulla voidaan nähdä

Elina Kunnas

mahdolliset muutokset paperikoneella, ja sen avulla voidaan myös arvioida paperin ominaisuuksia. Kun otetaan käyttöön uusi paperikone tai perälaatikko, on tietenkin tärkeää saada se toimintaan mahdollisimman nopeasti, eli myyntikelpoista paperia on saatava nopeasti. Tämä vaatii hyvää tietoa paperikoneen ja perälaatikon säädöistä, jotta saavutettaisiin parhaat asetukset ja kuituorientaatio. /24/

Kuituorientaatiokulma on kuitujen pääorientaatiokulma. Orientaatiosuhte ilmoitetaan tavallisesti konesuunnan ja poikkisuunnan orientaation suhteena, mutta eri mittausmenetelmät saattavat ilmoittaa orientaatiosuhteen myös esimerkiksi pääorientaatiokulman ja sitä kohtisuoraan olevan suunnan orientaatioiden suhteena. Siksi tulokset eri mittalaitteiden välillä eivät aina ole yhteneviä. Kuituorientaatiota on mahdollista mitata myös eri kohdissa paperin paksuussuunnassa. /18/

Kuituorientaation mittauksessa haittana on yksittäisten kuitujen käyristyminen ja hienoaineet, joten se määritetäänkin keskimääräisenä suurena. Kuitujen suuntajakaumaa paperissa voidaan mitata suoraan laskemalla erisuuntaisten kuitujen lukumäärät. Tämä edellyttää kuitujen värjäämistä ja kuva-analyysimenetelmän käyttöä, ja menetelmä on varsin hankala. Orientaatiota mitataankin tavallisesti epäsuorin menetelmin. Paperin kuituorientaation mittaaminen tapahtuu epäsuorasti optisella, sähköisellä tai mekaanisella menetelmällä. Epäsuorien mittaustapojen ideana on mitata jotakin paperin orientoitunutta ominaisuutta, joka korreloi kuituorientaation kanssa. Kuidulla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet sen pituus- ja poikkisuunnassa, ja siten paperin ominaisuuksista ja niiden jakautumisesta voidaan päätellä kuitujen sijoittumista paperissa. Tavallisesti tuloksena saadaan orientaatiokulma ja orientaatiosuhte eli tietoa anisotropiasta ja mahdollisesti myös muita paperin suuntariippuvuuteen liittyviä tunnuslukuja. /18/

Koska kuituorientaatio näkyy paperin voima- ja venymäominaisuuksissa, voidaan niitä mittaamalla saada tietoa orientaatiosta. Aikaisemmin kuituorientaation mittaukseen käytettiin venymän mittausta. Tämä menetelmä oli tarkka, mutta kuitenkin suhteellisen paljon aikaa vievä, sillä kokeita jouduttiin tekemään useita paperin eri suunnissa. /21/

Elina Kunnas

Kuituorientaatiota voidaan selvittää mittaamalla paperin kimmokerrointa ja vetolujuutta. Kimmokerroin saadaan jännitys-venymäkäyrän kulmakertoimesta origossa tai käyrän lineaariselta osalta läheltä origoa. Kuidulla on suurin vetojäykkyys sen pituussuunnassa, joten sen arvo on suurin pää-orientaatiosuunnassa, eli orientaatiokulman suunnassa. Kone- ja poikkisuunnassa vetojäykkyyttä verrattuna saadaan hyvä kuva orientaationsuhteesta. Vetolujuus on suurin kuormitus, jonka koeliuska kestää katkeamatta, ja se saadaan samasta voima-venymäkäyrästä kuin kimmokerroinkin. Näistä tuloksista saadaan orientaation konesuunta- ja poikkisuuntasuhde, joka korreloi hyvin muutamien muiden kuituorientaation mittaamenetelmien kanssa, mutta jos halutaan selvittää orientaatiokulma, on näytettä mitattava useista suunnista. /19/

5.6.1 Suora mittausmenetelmä

Paperin suora kuituorientaatiojakauman mittaaminen on erittäin hankala tehtävä. Kuitujen suuntajakaumaa paperissa voidaan mitata suoraan laskemalla erisuuntaisten kuitujen lukumäärät. Suora mittaaminen edellyttää värjättyjen kuitujen ja kuva-analyysitekniikan käyttöä, ja menetelmä on varsin hankala. Mittaus tapahtuu laskemalla paperin ylä- ja alapinnalle näkyvien värillisten kuitujen kuitupituudet kaikissa paperin tason suunnissa. /11/

5.6.2 Epäsuorat mittausmenetelmät

Käytännön sovellutuksissa paperin kuituorientaation mittaaminen tapahtuu epäsuorasti optisella, sähköisellä tai mekaanisella menetelmällä. Kaikkien epäsuorien mittausmenetelmien perusideana on mitata jotain sellaista paperin orientoitunutta ominaisuutta, jonka tiedetään korreloivan kuituorientaation kanssa. Kuidulla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet sen pituus- ja poikkisuunnassa, ja siten paperin ominaisuuksista ja niiden jakautumisesta voidaan päätellä kuitujen sijoittumista paperissa. Yleensä orientaatiomittauksista saadaan tulokseksi sekä orientaatiokulma että orientaationsuhde ja menetelmästä riippuen myös muita paperin suuntariippuvuuteen liittyviä tunnuslukuja. /11/

Elina Kunnas

Vetoluusmenetelmät

Tavallisin kuituorientaatioon liittyvä tunnusluku on vetolujuussuhde (ks/ps). Suhteen arvo 1 tarkoittaa isotrooppista orientaatiota. Mitä suurempi orientaationsuhde on, sitä enemmän kuidut ovat suuntautuneet konesuuntaan. Jos vetolujuustesti suoritetaan sekä kone- ja poikkisuuntaan että esim. $+30^\circ$ ja -30° kulmiin konesuunnasta leikatuille liuskoille, voidaan myös orientaatiokulma laskea olettamalla vetolujuusjakauma elliptiseksi. Mittaus antaa siis tulokseksi vetolujuuden orientaatioon liittyvät tunnusluvut, joiden yhteys todellisiin kuituorientaation tunnuslukuihin ei ole triviaali. Tiedetään, että paperin vetolujuuteen vaikuttaa kuituorientaation lisäksi paperin kuituominaisuudet (kuitu-, hieno- ja täyteaines), märkävenytys sekä kuivatusprosessi. /11/

Deformaatiomenetelmä

DFS-testi simuloi paperin deformatumista lasertulostimissa. DFS-testin mittausmenetelmä on järjestetty siten, että suorakulmaisen paperiarkin vino muodonmuutos voidaan määrittää, kun se kuivataan standardi-ilmastoidusta tasapainokosteudesta uunikuumentuksella rutikuivaksi. Mittaustuloksista saadaan suoraan arkin suoran kulman muutos eli kaatumatendessi sekä deformaation orientaationsuhde (anisotropia) ja orientaatiokulma. On varsin ilmeistä, että paperin mittapysyvyys (dimensiostabiliteetti) ja paperin jähmettyneet sisäiset jännitykset vaikuttavat menetelmällä mitattuihin anisotropian arvoihin. Paperikoneelta DFS-menetelmällä mitattu anisotropiaprofiili korreloi useissa tapauksissa hyvin poikkiradasta mitatun kutistumaprofiilin kanssa. Testi osoittaa, että paperin vino muodonmuutos riippuu käytännössä lähes lineaarisesti sekä orientaatiokulman että paperin anisotropian suuruudesta. /11/

Elina Kunnas

Ultraäänimenetelmä

Ultraäänimenetelmää käytetään nykyään yleisesti kuituorientaation mittaamisessa. Menetelmä voi perustua joko aika- tai vaihe-eromittaukseen tai molempiin. Kaikissa tapauksissa menetelmä antaa suoraan paperin dynaamisen vetojäykkyys- tai kimmomoduulijakauman mittaamalla ultraäänen nopeusjakauman paperin tason eri suunnissa. /11/

Ultraäänilaite mittaa ultraäänen kulku-aikaa paperissa. Kulkuajasta saadaan laskettua orientaatiokulma, ja lisäksi se on yhteydessä myös moniin paperin mekaanisiin ominaisuuksiin. /19/

Ultraäänen matemaattinen malli perustuu siihen, että tarkasteltu väliaine koostuu värähtelykykyisistä hiukkasista, jotka ovat jollain tavalla kytkeytyneet toisiinsa. Äänen nopeus on suurempi kiinteässä aineessa kuin ilmassa. Ultraäänen etenemisnopeus riippuu paperin elastisista ominaisuuksista, ja ultraääni etenee nopeammin jäykässä paperissa. Ultraäänen etenemisnopeus riippuu venymästä ja vetojäykkyydestä, joten siinä vaikuttavat muutkin asiat, kuin kuidun suunta. Paperissa ultraääni etenee sidoksilla toisiinsa liittyvien kuitujen verkostoa pitkin. Se ei siirry kuidusta toiseen sitoutumattoman kohdan yli. /19/

Laboratorio-olosuhteissa ultraäänimenetelmä on osoittautunut luotettavaksi ja nopeaksi orientaation mittaamenetelmäksi ja mittausrakenteita on kaupallisesti saatavissa (Nomura, L&W:n TSO). TSO = tensile stiffness orientation, eli vetojäykkyysorientaatio ja TSO-Ange:lla tarkoitetaan orientaatiokulmaa. Ultraäänilaite antaa tuloksina myös paperin TSI-arvot, vetojäykkyyksindeksin. TSO:lla saadaan tyypillinen vetojäykkyyden suuntajakauma sekä anisotrooppisuutta kuvaavat TSO-suhteet ks/ps ja min/max. Menetelmän etuna voidaan lisäksi pitää sitä, että tuloksena saadaan absoluuttiset vetojäykkyyksindeksit tai äänimoduulit sekä kone- että poikkisuunnassa. Tällä on merkitystä esim. ajettavuusongelmien selvittämisessä paperikoneella. Kaarlo Niskanen on lisäksi osoittanut, kuinka näistä absoluuttisista mittaustuloksista saadaan tietoa sekä rainanmuodostuksesta (kuituorientaatiosta) että kuivatuksesta (kuivatuskutistumasta). /11/

Elina Kunnas

Ultraäänellä saadaan mitattua kuitujen keskimääräinen orientaatiokulma, eli keskimääräinen kuitujen suunnan poikkeama asteina konesuuntaan nähden. Suunta mitta-alueella saadaan ultraäänien nopeudesta; nopeus on suurimmillaan kuidun pituussuunnassa, ja pienimmillään kuidun poikkisuunnassa. Kuituorientaatiokulma on se suunta konesuuntaan nähden, jossa TSI saa suurimman arvonsa. Äänikerroin ei ilmaise pelkästään paperin kuituanisotropiaa, joka riippuu sekä kuituorientaatiosta että kuivatuksen mittamuutoksista. Ultraäänilaitte mahdollistaa siis myös paperin elastisten ominaisuuksien mittauksen paperin eri suunnissa nopeasti, helposti ja paperia rikkomatta. Ultraäänimittalaitteen antamat vetojäykkyystulokset kuvastavat lopputuotteen laatua, ja niiden avulla voidaan säätää lopputuotteen laatuominaisuuksia. Lisäksi ne ilmaisevat prosessivaihteluita ja niiden vaikutuksia paperiin. Tieto on tärkeää, sillä muutokset ja vaihtelut prosessissa vaikuttavat moniin paperin ominaisuuksiin. Vetojäykkyys tarkoittaa paperin vastusta vetorasitukseen. Vetojäykkyyteen vaikuttavat paperikoneella tapahtuvat muutokset hyvin vahvasti, joten se on ultraäänilaitetta käyttäen helppo ja paperia tuhoamaton tapa selvittää paperikoneella tapahtuvien muutosten yhteisvaikutusta paperin ominaisuuksiin. /19/

Vetojäykkyyssuhdetta voidaan mitata ultraäänellä tai suoraan paperista. Vetojäykkyysindeksi ilmoittaa, kuinka helposti paperi venyy, eli kuinka paljon voimaa sen venyttämiseen tarvitaan. Konesuunnassa paperi venyy vähemmän, poikkisuunnassa venyminen on suurempaa. Kun TSI ks/ps on selvästi U:n muotoinen, paperi on joustavaa. Muoto ei välttämättä johdu orientaatiosta. /19/

Äänikertoimeen vaikuttavat lähes samat tekijät kuin vetotestillä saatuun kimmokertoimeen, eli kuivatuksen mittamuutosten lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat paperin tiheys, kosteus ja lämpötila. Tiheyden kasvaessa äänikerroin kasvaa, kosteus vaikuttaa paperin kimmokertoimeen, ja lämpötilan nousu hidastaa ultraäänien kulkua. Tämän vuoksi mittauksissa tulisi olla vakio-olosuhteet ja erilaiset tiheydet tuli ottaa huomioon. /19/

Äänikertoimen korrelaatiot vetotestillä mitattujen vetolujuuden ja kimmomoduulin kanssa ovat lineaarisia, samoin kuin kone- ja poikkisuuntasuhteiden vastaavat erot.

Elina Kunnas

Suoran kulmakertoimessa tai tasossa saattaa kuitenkin olla eroja johtuen massan jauhatuksesta ja kemiallisista aineista, kuten ligniinistä ja hemiselluloosan määrästä. Myös puristus- ja kuivatusolosuhteet voivat vaikuttaa korrelaatioihin. Taivutusjäykkyyden ja äänikertoimen välillä on havaittu lineaarinen korrelaatio. /19/

Ultraäänimenetelmä mahdollistaa paperin mekaanisten ominaisuuksien mittaamisen myös juoksevalta rainalta (on-line mittaus), koska se ei vahingoita paperia, ja se korreloi hyvin useiden paperin mekaanisten ominaisuuksien kanssa. Tällöin mitataan tavallisesti kone- ja poikkisuuntaisia ultraäänen nopeuksia, joiden avulla voidaan seurata lähinnä lujuus- ja poikkisuuntaisia ultraäänen nopeuksia, joiden avulla voidaan seurata lähinnä lujuus- ja jäykkyystekijöiden muuttumista koneen toiminnan aikana. Massan ja prosessin aiheuttamat vaikutukset saadaan eliminoitua kalibroimalla mittari laboratoriossa mitattuihin vetolujuuksiin nähden. /19/

Kuituorientaatiotuloksiin vaikuttavat ultraäänimoduulilla muutkin paperinteon prosessivaiheet, kuten esimerkiksi kuivatusosalla tapahtuvat muutokset. Siksi se ei aina ole paras tapa mitata kuituorientaatiokulmaa. Parhaiten se sopii juoksevalta paperirainalla tapahtuvaan paperilaadun vaihteluiden seuraamiseen sekä laboratoriolaitteena paperin poikkiratanäytteiden profiilien, poikkiradassa tapahtuvien muutosten, mittaamiseen. Ultraäänimittauksessa pienet viat, viillot tai reiät eivät vaikuta suuresti tuloksiin, joskin paperin voimakas kupruilu saattaa aiheuttaa sen, että ultraäänen edetessä saattaa syntyä heijastuksia, jolloin mittaus ei ole luotettava. Mittapään ja paperin välisen kosketuksen aste vaikuttaa myös mittaustuloksiin. Ultraäänimenetelmän on kuitenkin todettu korreloivan hyvin useilla muilla menetelmillä mitattujen kuituorientaatioparametrien kanssa. /19/

Ultraäänimenetelmällä mitattujen orientaatiotulosten on todettu korreloivan hyvin DFS-mittaustulosten kanssa. Tämä ei ole mitenkään yllättävää, sillä molemmat menetelmät mittaavat paperin mekaanisten ominaisuuksien suuntautuneisuutta. /11/

Elina Kunnas

Optiset menetelmät

Paperin kuituorientaatiota voidaan mitata myös optisesti laservalolla. Laservalon läpäisyyn perustuva menetelmä on erityisen kiinnostava, koska se tarjoaa potentiaalisen mahdollisuuden orientaatioon on-line mittaukseen paperikoneella. Menetelmään perustuva laite on kaupallisesti saatavilla (Lippke). Lippke-mittauksessa paperin läpäisevä pyöreä laservalospotti leviää elliptiseksi sen kulkiessa paperin läpi. Valon diffuusio paperissa on tunnetusti suurinta konesuunnissa ja pienitä kuituja vastaan kohtisuorissa suunnissa. Onkin ilmeistä, että epäsuorista mittausten menetelmistä optinen Lippke-menetelmä mittaa, ainakin periaatteessa, suorimmin itse kuituorientaatiota. Menetelmän eräänä kiinnostavana etuna voidaan pitää mittausalueen tai laserspotin pientä kokoa, mikä tarjoaa mahdollisuuden pienimittakaavaisen orientaatiovaihtelun mittaamiseen arkin sisällä. Arkin sisäisellä orientaatiovaihtelulla on yhteys mm. kopiopaperille haitallisen kupruilukäyttäytymisen kanssa. /11/

Eräissä tutkimuksissa on osoitettu, ettei optinen Lippke-menetelmä ole paperin paksuussuunnassa välttämättä integroiva, vaan painottaa lähellä valon ulostulopintaa olevien kuitukerrosten orientaatiota. Menetelmä antaa siten tietoa paperin kerroksellisesta orientaatiosta. Tämä on pikemminkin hyöty- kuin haittatekijä, sillä menetelmä paljastaa näin paperin "piilotetut rakenneongelmat", jotka näkyvät sen toiminnallisissa ominaisuuksissa (esim. diagonaalikäyristyminen). Kaikki optiset menetelmät ovat herkkiä täyteaineille, erilaisille kirkasteille ja päällysteille, joten tässä suhteessa on syytä varovaisuuteen tulosten tulkinnassa. /11/

Keskuslaboratorioissa on kehitetty optinen, polaroidun valon heijastukseen perustuva valon heijastuksen mittaamiseen perustuva paperin pintaorientaation mittausten menetelmä. Tässä niin kutsutussa Surfo-mittauksessa paperiin suunnatun valospotin polarisaatiotasoa kääntämällä ja heijastuneen valon intensiteettiä mittaamalla saadaan selville pintakerrosten orientaatio, sen anisotropia ja orientaatiokulma. Heijastusmaksimissa valon polarisaatiotaso yhtyy kuitusuunnan kanssa ja heijastusminimissä on sitä vastaan kohtisuorassa. Surfo-menetelmä soveltuu hyvin paperin pintojen välisen orientaatioeron eli orientaation toispuolisuuden

Elina Kunnas

tutkimiseen. Paperin toispuolisuudella on toisaalta selvä yhteys mm. käyristymiskäyttäytymiseen. /11/

Muut menetelmät

Muista paperin epäsuorista orientaatiomenetelmistä mainittakoon esim. sähkönjohtavuuteen, röntgendiffraktioon, mikroaallon vaimenemiseen ja nestepisaran diffuusioon perustuvat menetelmät. Kaikilla näillä menetelmillä on oma tärkeä roolinsa paperin rakenteen tutkimisessa ja sen ominaisuuksien suuntaisuuden selvittämisessä. /11/

5.6.3 Menetelmävertailu

Erilaisiin fysikaalisiin ilmiöihin perustuvien epäsuorien paperin kuituorientaatiota mittaavien menetelmien määrä on suuri. Menetelmävertailusta on tullutkin varsin suosittu tutkimusaihe. On kuitenkin syytä muistaa, että yhteys todellisen kuituorientaatiojakauman välillä ei ole välttämättä triviaali. Samoin, vertailtaessa kahden täysin erilliseen fysikaaliseen ilmiöön perustuvan mittausmenetelmän antamia tuloksia toisiinsa, suuri kvantitatiivinen yhteensopivuus olisi pikemmin ihme kuin itsestäänselvyys. Tämän seurauksena paperin orientaatioon liittyvät laatutakuut olisi kytkettävä mittausmenetelmään. /11/

Käytännön kannalta tarkasteltuna ei ole olemassa yhtä ja oikeata menetelmää, vaan orientaatiota voidaan hallita kaikilla edellä mainituilla menetelmillä. Menetelmän nopeus, soveltuvuus, käyttövarmuus sekä hinta-laatusuhde ovat pikemminkin ainoita järkeviä valintakriteereitä. /11/

Elina Kunnas

KOKEELLINEN OSA

6 TYÖN TAUSTA JA TARKOITUS

Paperikoneelle oli hankittu uusi lasermittausmenetelmään perustuva online-kuituorientaatiomittari, jonka näytön luotettavuudesta ei ollut tarkkaa tietoa. Tarkoituksena oli tutkia mittarin luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta. Kyseenalaista oli myös se, kuinka syvältä paperia mittaus tapahtuu.

Työn tarkoituksena oli löytää oikeat ajoarvot käyrityksen hallintaan kuituorientaatiomittarin avulla. Etenkin kuituorientaation toispuolisuus aiheuttaa käyrityksiä.

Tarrapaperin taustalla on jatkojalostuksessa suuria lämpötila- ja kosteusvaihteluita. Tavoitteena olisi kosteusvaihtelutilanteissa mahdollisimman stabiili paperi. Ongelmallisina jatkojalostuksen vaiheita on tarraliiman kuivatusuuni, jossa tarrapaperin taustalla on taipumusta käyritystä alaspäin. Tällöin paperiradan reunat saattavat osua uuniin, josta seurauksena on katkoja sekä liiman palamista uunin seinämiin.

7 TYÖN SUORITUS

7.1 *Koeajosuunnitelma*

Työ aloitettiin tekemällä koeajosuunnitelma, jossa suunniteltiin kaikki kuituorientaatioon vaikuttavat suureet.

Elina Kunnas

Testattavia suureita olivat:

- suihku-viirasuhde
- perälaatikon huuliaukon suuruus
- perälaatikon suihkun asema
- perälaatikon ohikierto
- sivuvirtaukset

Koeajoissa oli tarkoitus seurata näiden suureiden muuttumisen vaikutusta kuituorientaatioon ja etenkin sen toispuolisuuteen sekä muihin suureisiin.

Koeajosta otettiin ylimääräisiä poikkiratanäytteitä sekä rullauksen jälkeen että superkalanteroinnin jälkeen. Näistä näytteistä tehtiin laboratoriossa käyritymis- ja silikonointitestejä sekä lähetettiin niitä myös ulkopuolisille tutkimuslaitoksille erillisiin orientaatioimittauksiin.

7.2 *Mittausmenetelmät*

7.2.1 **Käyritymistestit**

Koeajojen poikkiratanäytteistä leikattiin neliön muotoisia kappaleita, joihin leikattiin keskelle ruksi lähes reunasta reunaan. Kokeessa näkyi kuinka eri kulmat käyrityivät ja niistä pystyi päättelemään kuituorientaation tasaisuutta. Mitä vähemmän reunat käyrityivät, sitä pienempi oli puolien välinen kuitusuhde-ero. Jos vastakkaiset reunat käyrityvät paljon, oli ylä- ja alapuolten välinen ero suuri. Kyseessä oli vinoa kuituorientaatiota, jos vierekkäiset reunat käyrityivät.

Seuraavaksi näytteet laitettiin uuniin kuivumaan ja tarkkailtiin mihin suuntaan reunat siellä alkoivat käyrityä.

Elina Kunnas

7.2.2 Silikonointitestit

Koeajojen poikkiratanäytteistä tehtiin myös A4-kokoisia arkkeja, joille tehtiin silikonointitestejä. Tarkoitus oli saada mahdollisimman todenmukainen silikonointilinjan tilanne. Arkit kuivattiin ensin uunissa, jonka jälkeen niille levitettiin silikoni. Tämän jälkeen ne laitettiin hetkeksi uuniin ja sen jälkeen levitettiin tarraliima silikonin päälle ja laitettiin uuniin kunnes liima oli kuivunut. Tarkkailtiin eri vaiheiden jälkeen käyristymistä.

7.2.3 Lippke-mittaus

Menetelmä

Lippke-menetelmällä analysoidaan paperin tason suuntaisen kuitujen suuntajakauman epäsymmetrisyyttä eli kuituorientaatiota. Menetelmä soveltuu papereille, joiden neliömassa on välillä $50 \text{ g/m}^2 - 200 \text{ g/m}^2$. Myös tätä kevyempiä papereita voidaan mitata, mutta tuloksen tarkkuus heikkenee neliömassan pudotessa. Menetelmä ei sovellu esimerkiksi jos paperi on kalanteroitu läpikuultavaksi (tarrapohja), krepattu tai painettu. Normaalisti mitataan orientaation poikkisuunnan profiili, mutta myös konesuunnan mittaus voidaan suorittaa. /14/

Määrittäisperiaate

Paperin läpi mennessään valo siroaa enemmän kuitujen pituussuuntaan kuin poikkisuuntaan. Mittarissa paperin yläpintaa valaistaan kohtisuoraan ympyränmuotoisella lasersäteellä. Vastapuolelta katsottuna kuituorientaatio aiheuttaa täplän muodon muuttumisen hieman soikeaksi. Mittarissa tunnistetaan ja analysoidaan ellipsin muoto, jolloin ellipsin pidemmän akselin suunnan katsotaan olevan pääorientaationsuunta (orientaatiokulma konesuuntaan nähden, FO-Angle) ja ellipsin akselien pituuksien suhde (FO-Ratio pääorientaationsuuntaan) kuvaa orientaation intensiteettiä. /14/

Virhelähteet, poikkeamat ja huomautukset

Näytteen taittelemisessa ja leikkaamisessa tulee noudattaa erityistä huolellisuutta, että näytteestä tulee suora. Näytteen taittelussa tulee suurin virhe. Toinen merkittävä virhelähde on teippaus: jos näyte vähänkään kupruilee, tämä vaikuttaa mittaustulokseen. /14/

Ohuet ja läpinäkyvät näytteet aiheuttavat virhettä FO-Anglen arvoon, mikä kompensoidaan mittaamalla näyte toistamiseen ylösalaisin. /14/

7.2.4 Vesikko (Paperin dynaamisten dimensiomuutosten mittalaite)

Tarkoitus ja käyttöalue

Vesikko-laitteella mitataan paperin kone- ja poikkisuuntaisia mittamuutoksia nipillä tehtävän vesiapplikoinnin jälkeen. Menetelmässä mitataan myös kostutuksessa paperiin siirtynyt vesimäärä merkkiaineen avulla. Menetelmä soveltuu lähes kaikille paperi- ja kartonkilajeille. Mittamuutosten määrittämisessä käytettävä aikaskaala on tavallisesti 0-2,5 sekuntia kostutuksesta. /4/

Menetelmän kuvaus

Koejärjestyksessä lasipöydän päälle kiinnitetyn testikappaleen pinnalle levitetään vesikerros testikappaleen yli rullattavalla telalla, ja mitataan kuva-analyysillä kostutuksesta aiheutuvat paperin tasonsuuntaiset mittamuutokset. Menetelmässä kostutus suoritetaan konesuuntaisen kiristyksen alla; tällä simuloidaan esimerkiksi painatuksessa vallitsevaa ratakireyttä. Telapainetta, ratakireyttä, siirtyvää vesimäärää ja telanopeutta voidaan säätää. Kostutus tapahtuma kuvataan lasipöydän läpi nopealla CCD-kameralla, jonka suurin kuvaustaajuus on 160 kuvaa sekunnissa. Kostutuksen ajalta saadusta kuvasarjasta määritetään paperin pituuden ja leveyden muutokset kuvakorrelaatiotekniikalla vertaamalla ensimmäistä referenssikuvaa

Elina Kunnas

kaikkiin muihin jäljempänä otettuihin kuviin. Vesikko-laite on ilmastoidussa huoneessa. /4/

Tulokset

Dynaaminen dimensiostabiliteetti määritetään suhteellisena mitanmuutoksena (%) paperin kone- ja poikkisuunnassa ajan funktiona. Kokeessa siirtynyt vesimäärä ilmoitetaan grammoina neliometriä kohden (g/m^2 , litiumanalyysi). /4/

Hyöty

Paperin nopeat mittamuutokset aiheuttavat ongelmia painatuksessa ja muissa vastaavissa prosesseissa, joissa paperi joutuu alttiiksi äkilliselle kosteusmuutokselle. Kohdistusongelmat moniväripainossa, rainan kireysvaihtelut ja kostumisesta aiheutuvat ratakatkot voivat johtua paperin heikosta dimensiostabiliteetista. Hyvä mittapysyvyys on siis tärkeä ominaisuus paperin toimivuuden ja ajettavuuden kannalta. /4/

7.2.5 OPTICUM (Optinen kosteuskäyritymä mittari)

OPTICUM on mittalaite paperin kosteuden aiheuttaman käyritymisen analysointiin. /4/

Menetelmän kuvaus:

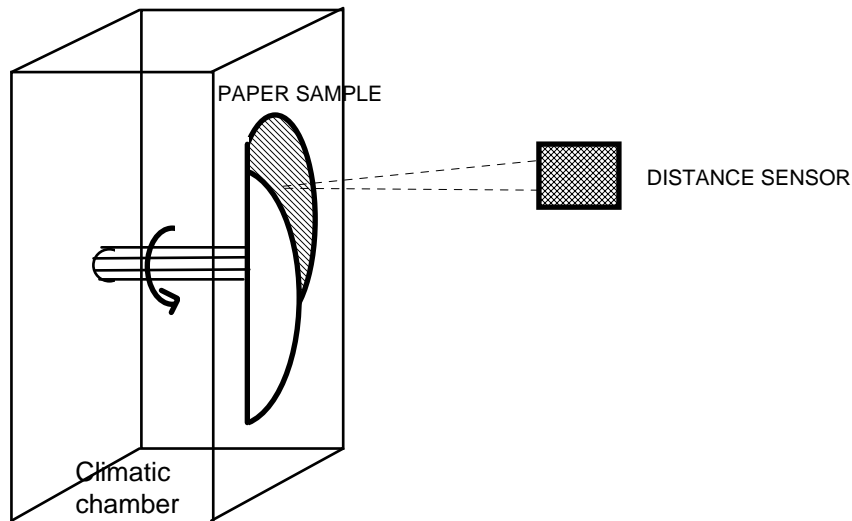
Menetelmä perustuu näytepinnan optiseen etäisyysmittaukseen. Näytteet leikataan kiekkoiksi, jotka sijoitetaan keskikohdastaan pyörivään näytteenpitimeen siten, että paperin konesuunta verrattuna näytteenpitimen asentoon on vakio. Näytteen pyöriessä mitataan optisesti etäisyys näytteen pinnasta mittasensoriin konesuuntaan nähden tunnetuilla kulmilla. Mittaus suoritetaan kosteuskaapin lasisen etuseinän

Elina Kunnas

läpi 35 mm etäisyydeltä näytekiekon keskipisteestä. Kosteuskaappiin mahtuu kerralla 50 näytekiekkoa. /4/

Hyöty

Menetelmää voidaan käyttää paperin kosteuskäyrityksen ja rakenteen anisotropian mittaamiseen. Koska kaappiin mahtuu samanaikaisesti 50 näytekiekkoa, soveltuu menetelmä hyvin mm. paperiradan kosteuskäyrityksen poikkiprofiilin selvittämiseen. /4/



Kuva 19 Optinen kosteuskäyritysmittari /4/

7.2.6 OPTIDIM (Optinen dimensiostabiiteetin mittari)

OPTIDIM on optinen mittalaite kosteusmuutosten paperille aiheuttamien dimensiomuutosten mittaamiseen. /4/

Menetelmän kuvaus

Kosteuskaappiin sijoitettu näyte läpivalaistaan alapuolelta kirkkaalla valolla ja kuvataan CCD-kameralla yläpuolelta. Kuvan analysointi perustuu paperin

Elina Kunnas

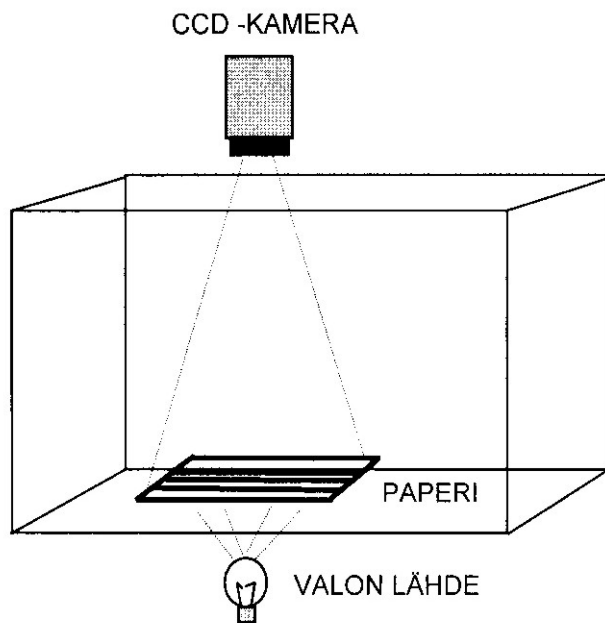
formaation aiheuttamiin sävytaseroihin. Matalammassa kosteudessa otetun kuvan dimensioita verrataan korkeammassa kosteudessa otettujen kuvien dimensioihin. Dimensiomuutokset kyetään näin laskemaan ilman suhteellisen kosteuden funktiona. Läpivalaistukseen perustuvasta tekniikasta johtuen mitattavien papereiden neliömassat rajoittuvat alle 250 g/m^2 . Paksut valoa läpäisemättömät näytteet valaistaan päältä pintavalolla, jolloin näytteiden pintaan on tehty satunnaiskuvio kalkkeeripaperilla. Menetelmää käytetään myös hystereesisilmion mittaamiseen. Hystereesillä tarkoitetaan ilmiötä, jossa paperi ottaa itseensä kosteutta ilman kosteuspitoisuuden noustessa ja luovuttaa kosteuden pois ilman kosteuspitoisuuksien laskiessa. Desorptiokäyrä kulkee absorptiokäyrän alapuolella. Näytteet voi myös punnita eri kosteuksissa ja määrittää paperin kosteuspitoisuus (%), jolloin hystereesikäyrän voi piirtää RH% sekä kosteus pitoisuuden funktiona. /4/

Tulokset

Dimensiostabiliteetti määritetään suhteellisena mitan muutoksena (%) paperin kone- ja poikkisuunnassa. Hystereesimittauksessa lasketaan mitan muutos (%) verrattuna ensimmäiseen 50 % mittaan. /4/

Hyöty

Hyvä dimensiostabiliteetti on tärkeä ominaisuus papereille, jotka mm. kuljetuksista tai varastoinneista johtuen altistuvat muuttuviin kosteusolosuhteisiin. /4/

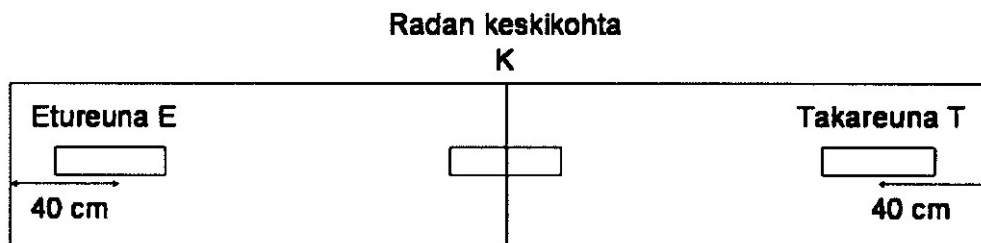


Kuva 20 Optinen dimensiostabiliteetin mittari /4/

7.2.7 Kerroksellinen kuituorientaatioanalyysi

Näytteen käsittely

Poikkiratanäyte leikattiin kuvan 21 mukaisella tavalla kolmeen positioon E, K ja T. Reunapositioiden E ja T keskikohtaan etäisyys radan reunasta oli 40 cm. /8/



Kuva 21 Kerroksellisen kuituorientaatioanalyysin näytteenottopisteet /8/

Paperinäytteet revittiin kerroksiin laminointimenetelmällä. Pinnan liukkaudesta johtuen näytteitä jouduttiin karhentamaan hiontapaperilla ennen revintää tartunnan

Elina Kunnas

aikaansaamiseksi. Hionnan yhteydessä näytteen massasta poistettiin noin 3 %; hionnalla ei pitäisi olla vaikutusta tuloksiin. /8/

Reivityistä kerroksista kuvattiin skannerilla alue, josta analysoitiin orientaatiövaihtelu. /8/

Mitatut parametrit

Kerroksista mitattiin orientaatiokulma, anisotropia, max/min – arvo sekä efektiivinen leikkaus. Orientaatiokulma kuvaa kuitujen suunnan keskimääräistä poikkeamaa konesuunnasta. Anisotropia ja max/min kuvaavat orientaation voimakkuutta siten, mitä suurempi arvo on, sitä voimakkaammin kuidut ovat orientoituneet. Efektiivinen leikkaus puolestaan kuvaa anisotropian konesuuntaista osuutta. /8/

8 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Koeajoja ajettiin useita kertoja. Monet koeajoista viivästyivät tai niitä jouduttiin lyhentämään suunnitellusta pituudesta eri syiden takia.

Näitä olivat esimerkiksi

- ajosuunnitelman muutokset, jolloin koeajopäivänä olikin tarkka asiakas, jonka aikana ei voi tehdä mitään normaaliajosta poikkeavia muutoksia
- Pitkittyneet pesuseisokit
- Kuituorientaatiokoeajojen ”kirous”, eli usein oli niin, että oli pitkään ajettu ongelmitta, mutta kun oli suunniteltu orientaatiokoeajo, niin jotain oli pahasti vialla, eikä koeajoa voitu ajaa.
- Online-kuituorientaatiomittarin huoltotoimenpiteet

Elina Kunnas

8.1 Tulkitseminen

Tulosten tulkitsemista hankaloitti huomattavasti orientaatiomittarin huolto- ja kalibrointitoimenpiteet. Joka huoltokerran jälkeen mittari näytti erilailla, eivätkä mittarin näytöt ole vertailukelpoisia keskenään. Viimeisimmän huollon jälkeen mittarin näyttö vaikutti luotettavalta. Ongelmallista oli lisäksi se, että viimeisimmän huollon jälkeen ei ole ehditty ajaa kuin yksi koeajo. Joten esimerkiksi tutkimuslaitoksille lähetettyjen näytteiden online-kuituorientaatiomittarin tulokset eivät korreloineet keskenään. Eri tutkimuskeskuksilta saatuja tuloksia verrattiin viimeisimmän koeajon kuituorientaatiomittarin tuloksiin. Joten tulosten luotettavuus on vielä hieman kyseenalaista.

Kuvat mittarin näytöstä ennen huoltoa on nähtävissä liitteessä 3 ja huollon jälkeen liitteessä 4.

8.1.1 Koeajotilanne

Koeajot yleensä kestivät yli kymmenen tuntia, koska koepisteille oli saatava riittävästi aikaa muutosten tasoittumiselle. Joka muutoksen jälkeen tulostettiin kuitusuhde- ja kuitukulmaraportti, huulensäättöprofiili sekä perälaatikon asetukset. Lisäksi seurattiin formaation, retention sekä formerin vesimäärän muutoksia ja paperin kuivumista. Koeajotampureista katsottiin myös paperilaboratorion tuloksista mm. TSI - suhdetta, huokoisuutta, tiheyttä, lujuuksia ja formaatiota. Näistä kaikista tuloksista tehtiin taulukko, josta piirrettiin erilaisia kaavioita kuvaamaan eri suureiden muuttumista koeajon aikana. Tarkimman seurannan alaisina olivat kuitukulman ja – suhteen ylä- ja alapuolen välinen ero, formaatiot sekä huulensäättöprofiili.

8.1.2 Suihkun ja viiran nopeussuhde

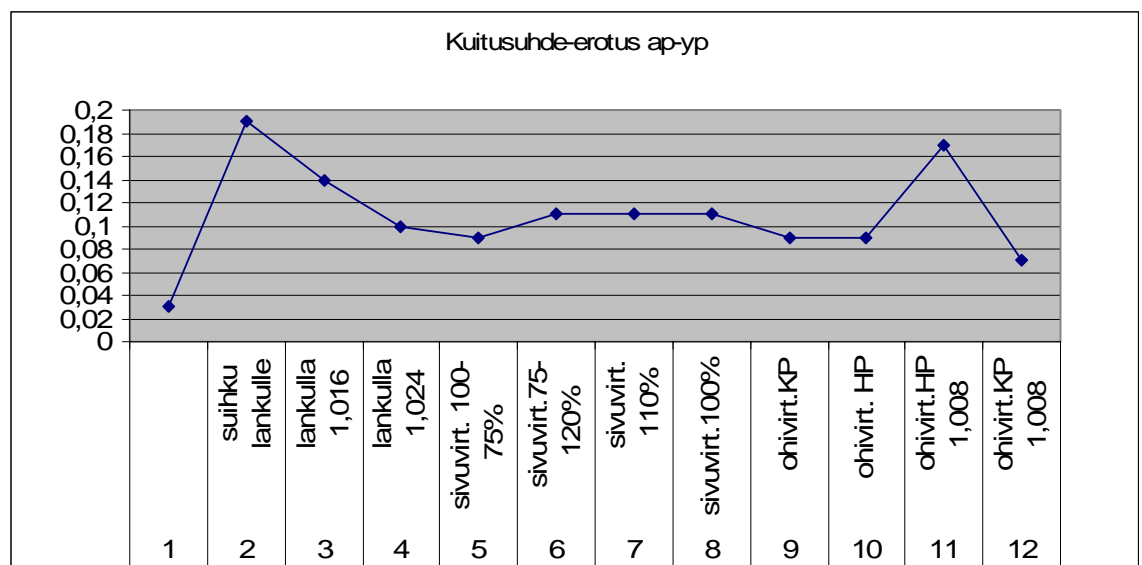
Suihkusuhdekoeajoja ajettiin eniten, sillä sen muutoksilla todettiin olevan eniten vaikutusta kuituorientaation käyttäytymiseen.

Elina Kunnas

Suihkusuhteen nosto paransi huomattavasti paperin formaatiota. Ero pienemmän suihkusuhteen paperiin on silmännähtävä. Suihkusuhdetta kasvattamalla mentiin paperikoneella niin sanotulle vetopuolelle, jolloin paperirata kapeni. Tämä tuotti joissakin koeajoissa ongelmia, kuin radan kaventumista ei huomattu ajoissa ja rata pääsi liian kapeaksi. Paperiradalla pitäisi olla tietty minimi leveys, jotta se saadaan ajettua superkalanterilla. Jos rata on liian leveä, tulee äkkiä paperikoneella reunarisoja, jotka aiheuttavat katkoja.

Suihkusuhdetta muutettiin sekä reilulle ylä- että alaperälle, mutta yläperän todettiin olevan parempi ajo-ominaisuuksiltaan kuin alaperätilanne. Suihkusuhdetta nostettiin normaaliajoarvosta 1,008 aina 1,028 asti. Alimmillaan suihkusuhte oli 0,998. Varsinaista tasaperätilannetta ei varmuudella saatu syntymään, vaikka sitä haettiin. Useimmin suihkusuuhdetta nostettiin aina 1,024 asti.

Suihkusuhteen nosto normaalista 1,008 ei huomattavasti heikentänyt lujuuksia eikä muuttanut muitakaan laboratorioarvoja. Ainoa huomattava laboratorioarvojen muutos tapahtui formaation huomattavana paranemisena. Aluksi vaikutti myös siltä, että suihkusuhteen nostolla saataisiin myös pienemmät kuitukulmien ja -suhteen ylä- ja alapuolien väliset erot. Mutta viimeisimmän mittarin huoltokerran jälkeen tulokset näyttivät kuitenkin toisin.



Taulukko 1 Koeajon vaikutuksia kuitusuhteen erotukseen

Elina Kunnas

Taulukossa 1 on nähtävissä selvä vaikutus suihkusuhteen nostolla ja suihkun asemalla kuitusuhteen puolien väliseen eroon. Kohdassa 1 suihkusuhte on 1,008 ja suihkun asema on viirapöydän ja rintatelan välissä. Muutettaessa suihku viirapöydälle (kohta 2), kasvaa puolten väliset erot huomattavasti. Kohdassa 4 suihku on viirapöydällä ja suihkusuhdetta on nostettu 1,024 tasolle, jolloin puolten väliset erot hieman pienenevät. Jälleen suihkusuhteen ollessa 1,008 ja suihkun asema viirapöydälle, kasvavat puolten väliset erot jälleen huomattavasti (kohta 11). Ero pienenee jälleen muutettaessa suihku viirapöydän etupuolelle (kohta 12).

8.1.3 Perälaatikon huuliaukon suuruus

Koeajoja ajettiin myös muuttamalla perälaatikon huuliaukon suuruutta. Kunnollista huuliaukon koeajoa ei saatu ajettua, sillä ensimmäisellä kerralla formerin vesimäärä nousi liian suureksi, jolloin vesimäärää täytyi vähentää. Tämän muutoksen jälkeen kaikki arvot menivätkin aivan eri tasolle, joten niiden vertaileminen keskenään oli aivan mahdotonta.

Toisella kertaa, kun piti ajaa huuliaukon koeajo, tapahtui jälleen koeajojen ”kirous” ja paperikoneella oli jotain ongelmia, joiden johdosta koeajon ajaminen oli mahdotonta.

Viimeiseksi ajettiin pienimuotoinen huuliaukon koeajo, jossa testattiin vesimäärän vaikutusta kuituorientaatioon, paperilla jota on jauhettu enemmän. Tässä paperissa oli havaittavissa huonommat kuitukulman ja – suhteen puolien väliset erot. Lisättiin vesimäärää formerilla huomattavasti, suurentamalla huuliaukkoa. Vesimäärän lisääminen ei kuitenkaan vaikuttanut kuitusuhteen tai – kulman puolien väliseen eroon. Tästä johtuen voi päätellä kuituorientaation ylä- ja alapuolien suuremman eron johtuvan koneen nopeudesta.

8.1.4 Perälaatikon suihkun asema

Yksi mielenkiintoisimmista muutoksista oli perälaatikon suihkun aseman muutokset. Suihkua muutettiin eri etäisyyksille perälaatikosta. Erityistarkkailun

Elina Kunnas

alaisina olivat suihkun asema viirapöydälle sekä asema, jossa suihkun iskukohta on viirapöydän ja rintatelan välissä. Tervasaassa käytetään suihkun asemille erilaisia nimityksiä. Viirapöytää sanotaan lankuksi ja asemaa viirapöydän edessä sanotaan vuoluksi.

Normaalin ajotavan mukaan suihku ajetaan viirapöydän ja rintatelan väliin.

Ensimmäisissä suihkun aseman koeajoissa tulokset osoittivat puolten välisen eron pienenevän, ja muodon tasoittuvan, muutettaessa suihkun asema viirapöydälle. Tämä yhdistettynä suihkusuhteen nostoon näytti parantavan paperia entuudestaan.

Mutta jälleen viimeisin kuituorientaatiomittarin huoltokerta muutti tilannetta täysin. Huollon jälkeiset koeajon tulokset osoittivat, että tämän hetkinen ajomalli oli parempi. Kuitukulman ja – suhteen puolten väliset erot olivat huomattavasti pienemmät ajettaessa suihku suoraan viirapöydän eteen kuin viirapöydälle.

Suihkun asemassa on erikoista se, että kun muutetaan suihku viirapöydälle, suurenevat puolten väliset erot huomattavasti. Kun taas pidetään suihku viirapöydällä, niin puolten väliset erot tasoittuvat hieman. Eli tämä antaisi viittauksia siihen, että kannattaisi ajaa joko niin, että suihku on viirapöydän edessä suihkusuhteen ollessa 1,008 tai ajaa suihku viirapöydällä ja nostaa suihkusuhdetta huomattavasti.

8.1.5 Perälaatikon ohikierto

Perälaatikon ohivirtausta testattiin useimpia kertoja. Sen vaikutus kuituorientaatioon jäi kuitenkin olemattomaksi. Ohikierrolla näytti joissain koeajoissa olevan tasoittava vaikutus epätasaiseen etureunaan, mutta tilannetta ei saatu varmistettua useista yrityksistä huolimatta. Ohikierrolla ei ollut merkittäviä vaikutuksia kuituorientaatiokulmaan ja – suhteeseen.

Elina Kunnas

8.1.6 Sivuvirtaukset

Sivuvirtauksia muuteltiin useassakin koeajossa. Eräässä koeajossa muutettiin reilusti etureunan sivuvirtauksia, mutta ei odotettu pitkään tilanteen tasoittumista vaan tarkasteltiin vaan muutoksen aiheuttamaa suuntaa kuitukulmissa ja – suhteessa. Sivuvirtausta muutettiin ensin normaalista 100 %:sta 75 %:iin. Sitten sitä nostettiin 75 %:sta asteittain 120 %:iin. Sivuvirtauksen ollessa noston aikana 110 % saatiin kuitukulman suunnan muutos alapuolella ja yläpuolella todella pieni kulma, eli puolten välinen erokin oli todella pieni. Tätä ei kuitenkaan saatu toistettua sivuvirtausta pienennettäessä 120 %:sta 110 %:iin.

8.2 Lippke – mittaus

Eräästä suihkusuuhdekoajosta lähetettiin poikkiratanäytteitä UPM-Kymmenen tutkimuskeskukselle Lippke – mittausta varten. Näytteissä oli kaksi koepistettä. Koepiste 1 oli suihkusuhteella 1,024 ja koepiste 2 suihkusuhteella 1,008. Näytteillä ei ollut muuta eroa kuin suihkusuhteen muutos. Perälaatikon suihkun asema oli viirapöydän etupuolella molemmissa tapauksissa.

8.2.1 Tulokset

Koepiste 1:ssä hoitopuolella kulma harittaa 7 astetta. Haritus voi olla pahasta reunaan tulevien vikojen suhteen. Harituksessa alkava repeämä leviää helpommin radan keskiosaa kohti. Auraustilanteessa alkava repeämä ajautuu helpommin reunaa kohti, jolloin katkon todennäköisyys pienenee. Aurauksen on hyvä olla kuitenkin suhteellisen lievä. Erilaiset paperit sietävät eri suuruisia orientaatiokulmavaihteluita. /5/

Suuret reunakulmat voivat aiheuttaa painopapereilla radan kulkeutumista painokoneen raamiin ja yhdessä reunan jyrkän kuivatuskutistumaprofiilin kanssa esimerkiksi kohdistusongelmia. /5/

Elina Kunnas

Etüreunaa lukuun ottamatta kulmaprofiili näyttää hyvältä, takareunan kulma on hyvä eikä siinä ole jyrkkiä vaihteluja. Kuidut vaikuttaisivat hieman voimakkaammin orientoituneelta lukuun ottamatta etüreunaa, jossa prientaatiosuhde hieman alenee. /5/

Koepiste 2 on muuten, kuten koepiste 1, mutta etüreuna on lievemmässä harituksessa, vain noin 4 astetta. /5/

Lippken tulokset tukevat nykyistä ajomallia, sillä suuremmalla suihkusuhteella etüreunan epästabiilisuus kasvaa. Muuten koepisteillä ei ollut eroa.

8.3 *Kerroksellinen kuituorientaatioanalyysi*

Eräälle ulkopuoliselle tutkimuskeskukselle lähetettiin poikkiratanäytteitä, jotka olivat samasta koeajosta kuin Lippke – mittauksen näytteetkin. Näytteet tosin olivat hieman eri koepisteistä, sillä tutkimuslaitos ei pysynyt tekemään mittausta superkalanteroidusta paperista eikä kalanteroimattomia näytteitä ollut enää samoista pisteistä kuin Lippke – mittaukseen. Mutta mittaukset ovat kuitenkin erittäin vertailukelpoisia keskenään.

Näytteitä oli kolme kappaletta.

- Näyte 1 oli suihkusuhteella 1,008 ja suihkun asema oli viirapöydälle.
- Näyte 2 oli suihkusuhteella 1,024 ja suihkun asema oli viirapöydälle.
- Näyte 3 oli suihkusuhteella 1,008 ja suihkun asema oli viirapöydän etupuolelle.

8.3.1 **Tulokset**

Tulosten tulkinta tuotti aika paljon vaikeuksia esimerkiksi epämääräisten sanavalintojen takia. Joten nämä tulokset ovat ehkä hieman kyseenalaisia.

Elina Kunnas

Saman näytteen eri positioissa (etureuna, keskipositio ja takareuna) on havaittavissa tiettyjä samankaltaisuuksia. /8/

Näytteistä voimakkaammin orientoitunut on näyte 2. Heikoin orientaatio on näytteellä 1. /8/

Näytteen 1 etureunan anisotropiassa ei ole suurtakaan eroa ala- ja yläpintojen välillä; alapinta on hieman voimakkaammin orientoitunut. Näytteessä voidaan havaita laajoja alhaisen anisotropian (heikon orientaation) alueita läpi koko näytteen. Saman näytteen keskipositiossa on yläpinnalla heikommin orientoitunut yhtenäinen alue, kun taas alapinnalla on havaittavissa muutamia alhaisen anisotropian alueita, jotka jatkuvat melko syvälle näytteeseen. Ilmiö saattaa viitata näytteen orientaatioperäiseen vanaisuustaipumukseen. Takareunan näytteessä on voimakkaammin orientoitunut alue. Alapinnalla on useita alhaisemman ja korkeamman anisotropian alueita. /8/

Näytteen 2 positiot ovat varsin voimakkaasti orientoituneet. Kaikkien positioiden näytteissä on kaksi voimakkaammin orientoitunutta aluetta lähellä näytteen pintaa, mutta näytteen keskiosan anisotropian taso on pintoja alhaisempi. Keskiposition yläpinnalla on kapea voimakkaammin orientoitunut alue. Näytteen keskiosa on heikommin orientoitunut ja alapinnalla on laajoja voimakkaammin orientoituneita alueita. Näytteen takareuna on anisotropialtaan etureunan näytteen kaltainen. /8/

Näytteen 3 kaikissa positioissa on havaittavissa voimakkaamman orientaation aluetta; yläpinnalla, alapinnalla ja näytteen keskellä. Kaikissa positioissa yläpinta on muuta näytettä voimakkaammin orientoitunut ja korkean anisotropian vyöhykkeiden välissä on heikommin orientoituneita alueita. Etureunan näytteessä nämä heikommin orientoituneet alueet ovat alapinnan tuntumassa varsin laajoja. Keskiposition ja takareunan näytteissä keskiosan ja alapinnan voimakkaammin orientoituneet alueet eivät ole yhtä yhtenäisiä, mutta kuitenkin selvästi havaittavia. Takareunan näytteen yläpinta on varsin voimakkaasti orientoitunut ja voimakkaan orientaation alue on melko laaja. /8/

Efektiiviset leikkauskuvat ovat nähtävissä liitteissä 5, 6, 7, 8 ja 9.

Elina Kunnas

Kerroksellisen kuituorientaatioanalyysin mukaan oli tarkoitus tutkia, sitä kuinka syvältä online-kuituorientaatiomittari mittaa. Tämä tuotti kuitenkin vaikeuksia, koska koeajo on ajettu ennen viimeisintä mittarin huoltoa, joten mittarin antamiin tuloksiin ei voi luottaa. Tuloksia vertaillessa huomataan niiden antavan aivan päinvastaisia tuloksia. Esimerkiksi koepisteissä online-kuituorientaatiomittari näyttää yläpuolen olevan alapuolta paremmin orientoitunut kun taas kuituorientaatioanalyysin tuloksista on nähtävissä päinvastainen tulos.

8.4 *Vesikkökäyryys ja – kutistuma*

Ensimmäisistä suihkusuuhdekoeajosta lähetimme näytteitä myös eräälle ulkopuoliselle tutkimuskeskukselle erilaisiin kosteus laajenema ja – käyristymämittauksiin. Näytteitä oli kaksi, kahdella eri suihkusuhteella. Näyte 1 oli suihkusuhteella 1,009 ja näyte 2 suihkusuhteella 1,024. Tutkimuslaitoksen antamia tuloksia ei voinut kunnolla verrata online-kuituorientaatiomittarin näyttöön, sillä koeajo tehtiin ennen yhtäkään tutkimuksen aikana tehtyä mittarin huoltoa / kalibrointia. Mittarin näyttö tuolloin poikkesi huomattavasti mittarin näytöstä huoltotoimenpiteiden jälkeen.

8.4.1 Tulokset

Tulosten tulkinnassa oli hieman epäselvyyksiä, sillä taulukoita ja kaavioita tuli paljon, ja niiden ymmärtämisessä meni oma aikansa.

Optidim - kosteus kutistuma

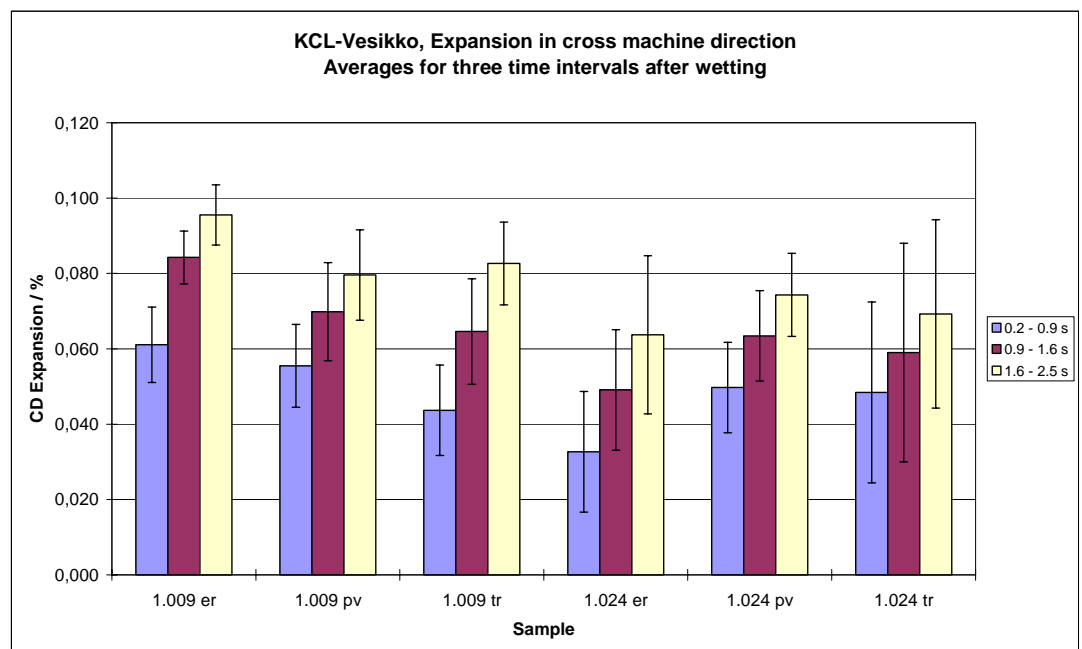
Kosteuskutistuman kohdalla pystyttiin tekemään joitakin johtopäätöksiä verrattaessa tuloksia aiemmin kyseisellä tutkimuslaitoksella tehtyihin kokeisiin. Tämä osoitti, että kosteus kutistuma olisi hieman aikaisempaa tutkimusta pienempää. Hystereesit poikkisuunnassa tuntuivat olevan hyvin hallinnassa sekä pienempää kuin ennen. Etu- ja takareuna venyvät kostutuksessa enemmän

Elina Kunnas

poikkisuunnassa kuin keskikohta, mutta kutistuman suhteen merkittäviä eroja ei ole. Korkeampi suihkusuhde vaikuttaa hieman konesuuntaiseen kutistumaan pienentävästi, mutta ei juurikaan poikkisuuntaiseen kutistumaan eikä käyrän muotoon.

Vesikko - kosteuslaajenema

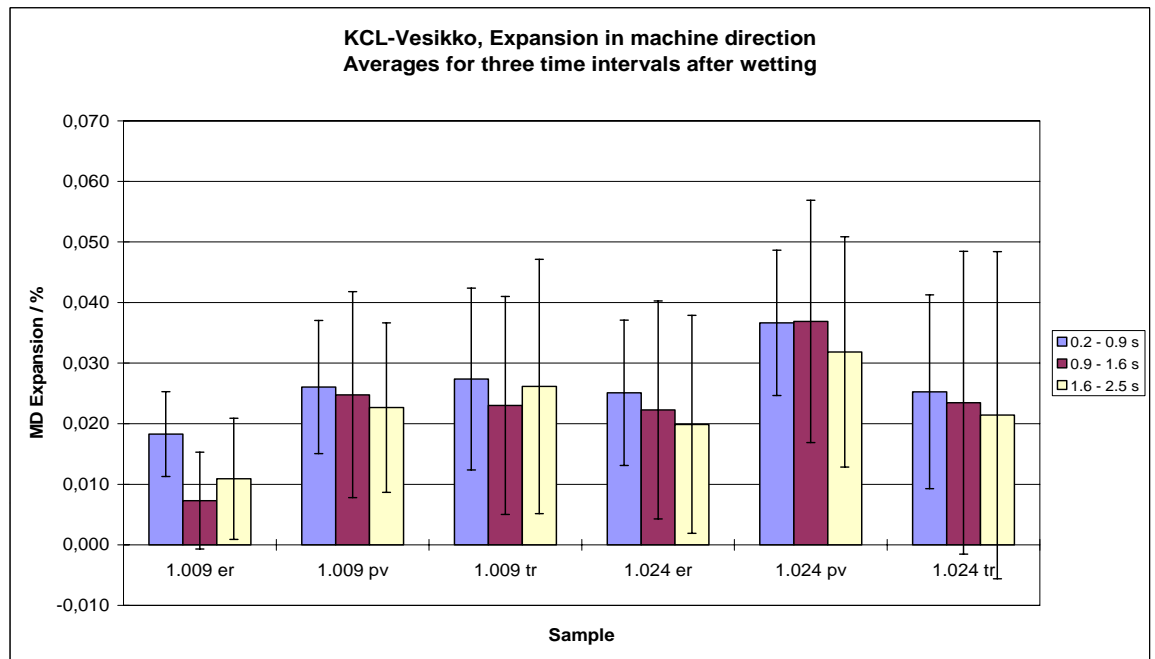
Poikkisuuntaisessa Vesikko – kosteuslaajenema mittauksessa oli nähtävissä näytteiden välillä hieman eroa. Näyte 1 laajeni kostutettaessa hieman enemmän kuin näyte 2. Tosin näytteellä 2 oli enemmän hajontaa kuin näytteellä 1, mutta keskiarvillisesti laajenemaa oli hieman vähemmän. Tämä on nähtävissä kuvassa 22.



Kuva 22 Poikkisuuntainen kosteuslaajenema

Konesuuntaisessa kosteuslaajenemassa oli enemmän eroja. Tuloksista on nähtävissä, että näyte 2 laajenee näytettä 1 enemmän, myös hajontaa on huomattavasti näytettä 1 enemmän. Näytteen 1 etureunan käyttäytyminen on varsin erikoista. Se kutistuu 0,9 – 1,6 sekunnin kuluttua kostutuksesta, mutta laajenee jälleen 1,6 – 2,5 sekunnin kuluttua kostutuksesta. Samoin kaikkien näytteiden laajeneminen pienenee ajan kuluessa. Nämä on nähtävissä kuvasta 23.

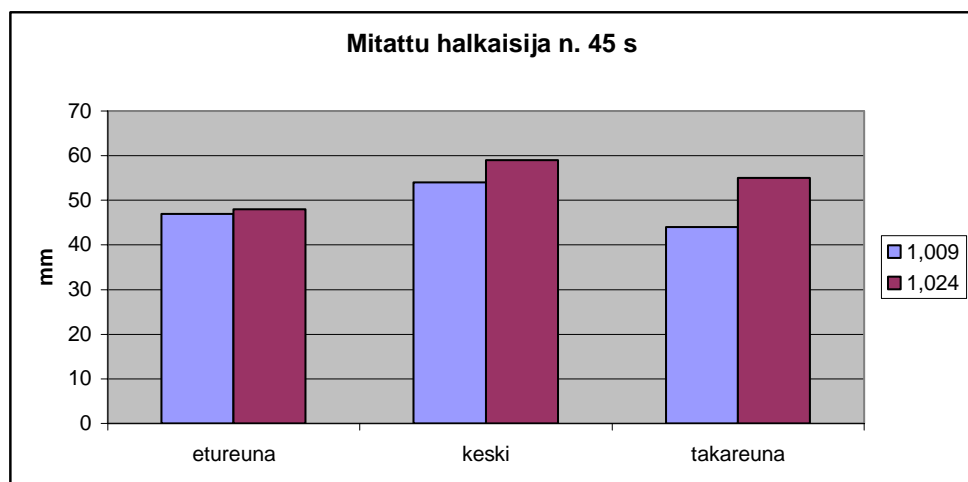
Elina Kunnas



i

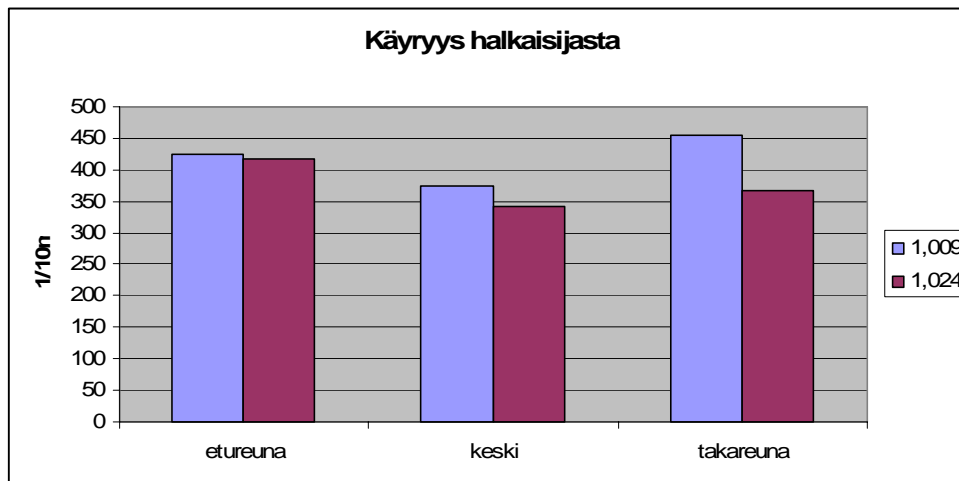
Kuva 23 Konesuuntainen kosteuslaajenema**Vesikko – käyrydet**

Näytteiden halkaisijat olivat kostutuksen jälkeen hieman suuremmat näytteellä 2 (suuremmalla suihkusuhteella). Molemmissa näytteissä keskikohta oli reunoja hieman suurempi. Tämä on nähtävissä kuvasta 24.

**Kuva 24** Vesikko-käyrysmittauksen halkaisijat noin 45 sekunnin kuluttua kostutuksesta

Elina Kunnas

Näytteellä 2 on havaittavissa hieman näytettä 1 pienempää ja tasaisempaa käyristymää. Keskikohdan näyte käyristyy molemmissa tapauksissa reunoja vähemmän. Näytteellä 1 oli myös enemmän hajontaa tuloksissa.



Kuva 25 Vesikko-mittauksen käyryydet halkaisijasta

Opticum – kosteuskäyryys

Optinen kosteuskäyristymämittarin tuloksista on nähtävissä näytteen 1 huomattavasti suurempi käyristymistäipumus kuin näytteellä 2. Näytteen 1 etureunasta ei saatu mistään koepisteestä tulosta säteen mennessä aina näytteen ohi. Radan puolivälistä sekä takareunasta tuloksia saatiin 50 % kosteudessa, mutta muissa kosteuksissa näyte oli niin käyristynyt, että säde meni siitä ohi.

Näytteessä 2 saatiin mittaustuloksia kaikista radan kohdista. Puolivälin kohdan näytteestä saatiin tuloksia 50 %, 10 % sekä 90 % kosteuksista, mutta ei 70 % kosteudesta. Eli kostutettaessa enemmän, näyte suoristuu hieman. Etu- ja takareunan näytteissä ei mittausta voitu tehdä enää 70 % eikä 90 % kosteuksissa, säteen mennessä ohi.

Nämä tulokset ovat nähtävissä myös liitteissä 1 ja 2.

Elina Kunnas

Näiden kokeiden tuloksista voi päätellä suuremmalla suihkusuhteella ajetulla paperilla olevan pienempi käyritysmistaipumus kuin pienemmällä suihkusuhtella ajetulla paperilla. Kosteuslaajenemien suhteen näytteillä ei ollut merkittäviä eroja.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulokset ovat hieman ristiriidassa keskenään. Niitä ei myöskään luotettavasti voi verrata keskenään, sillä online – kuituorientaatiomittarin näyttö on joka testin ja koeajon aikana ollut erilainen. Tämä johtuu mittarille tehdyistä huoltotoimenpiteistä sekä kalibroinnista.

Tällä hetkellä mittari näyttää luotettavan oloisesti, joten suosittelen useita uusia koeajoja. Etenkin suihkusuhteen muutokset, perälaatikon huulen aseman ja huuliaukon suuruuden muutokset sekä sivuvirtausten vaihtelut ovat osoittautuneet varteen otettaviksi koeajomalleiksi. Myös koneen nopeuden muutoksia kannattaa vielä testata. Niiden lisätutkimuksella online-kuituorientaatiomittarin näytön luotettavuus saadaan varmasti selville, sekä myös kosteusvaihtelutilanteiden aiheuttamaa käyritysmää pienennettyä kuituorientaation hallinnan avulla.

Tämän hetkisten tulosten perusteella ajomallia ei kannata muuttaa. Kokeiden tulokset puoltavat hieman myös suuremmalla suihkusuhteella ajamista, mutta tilannetta kannattaa vielä tutkia lisää, jotta tulevan ajomallin pohjalle saadaan luotettava tutkimustulos.

Elina Kunnas

LÄHTEET

Painetut lähteet

1. Paperin valmistus, Suomen paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja III Osa 1, Oy Turun Sanomat, Turku 1983
2. Niskanen, Kaarlo, Paperin ja kartongin anisotropia. Toiminnallinen vs. rakenteellinen suuntaisuus, kirjallisuuskatsaus, Seloste 1793, Oy Keskuslaboratorio 1987
3. Mäkelä, Merja, Paperin laatusuureiden mittaustapa ja säätö. Suomen automaatioseura ry, Helsinki 2003. 111 s.
4. Tutkimuslaitoksen mittaushjeet ja -tulokset, maaliskuu, Jyväskylä 2005
5. Perälä, Tommi, Lippke-mittauksen tulosten tulkinta. Lappeenranta 2005
6. Ikola, Tero, Tarran irrokepaperin laadun tasaisuuden arvioiminen ja parantaminen, Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto, automaatiotekniikan osasto, Tampere 2003. 135 s. + 17 liites.
7. Häggblom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka, Kemiallinen metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin valmistus. 2. tarkistettu painos, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2001
8. Kerroksellinen kuituorientaatioanalyysi, tutkimusraportti, Jyväskylä 2005
9. Kaukas Oy, tutkimuskeskus. Kuituorientaatio: perusteoria ja vaikuttavat suureet
10. Viitaharju, Päivi – Niskanen, Kaarlo, Painopaperien käyristyminen osa 3: Kuituorientaatio, kuivatus ja rullapohjakäyristyminen. Tutkimusraportti, Oy keskuslaboratorio 1994
11. INSKO, Kuitu- ja paperifysiikan soveltaminen. Koulutuskansio (1994)
12. Järvi, Rauno, massamies. Haastattelu 12.3.2005. UPM-Kymmene Oyj
13. Pekuri, Pekka, Releasepaperin silikonoitavuuteen vaikuttavat tekijät, Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 1998, 91 s. + 34 liites.
14. Lippke-mittarin käyttöohjeet, UPM-Kymmene Oyj, Keskuslaboratorio 2005
15. Mittausmenetelmien esittely, Tutkimuslaitos, Painatustestaus 2005
16. Kesätyöntekijöiden perehdytyskansio, UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari, 2005

17. Siren, Jaana. PaperLab Ultraääni kuituorientaatio Nomura. Valmet Automation Kajaani Oy 1998
18. The complete fibre orientation control and effects on diverse paper properties. Michael H. Odell, Pekka Pakarinen, Papermakers conference, 2001
19. Laitinen, Anna-Leena. Paperin kuituorientaatio ja ultraäänen kuluaikaan perustuva kuituorientaation mittauslaitteisto. Pro – gradu - työ. Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos 1991
20. Lampainen, Seppo. Lainerkartongin kuituorientaation ja vetojäykkyyden vaikutuksista aaltopahvin käyristymiseen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu 1992
21. 56th Appita Annual General Conference 2002, Proceedings

Sähköiset lähteet

22. Tervasaaren toimintajärjestelmä, Tervasaari intranet [[http-sivu](http://intranet.tervasaari.upm-kymmene.com)]. [viitattu 10.3.2005] Saatavissa <http://intranet.tervasaari.upm-kymmene.com>
23. UPM-Kymmene tutkimuskeskus, Klaus Jernström, sähköposti, elokuu 2002
24. KnowPap
25. KnowBase5, Tervasaari intranet, [[http-sivu](http://intranet.tervasaari.upm-kymmene.com)]. [viitattu 10.3.2005] Saatavissa <http://intranet.tervasaari.upm-kymmene.com>