

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperitekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Jouni Alenius

TAIDEPAINOPAPERIN VANAIKUUDEN ALKUSYIDEN KARTOITUS

Työn valvoja
Työn teettäjä
Tampere 2005

TT Ulla Häggblom-Ahnger
M-real Oyj, ohjaajana DI Teemu Liukkonen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikka

Alenius, Jouni

Tutkintotyö

Työn valvoja

Työn teettäjä

Huhtikuu 2004

Hakusanat

Taidepainopaperin vanaisuuden alkusyiden kartoitus

55 sivua + 2 liitesivua

TkT Ulla Häggblom-Ahnger

M-real Oyj Äänekosken paperitehdas, ohjaajana DI Teemu Liukkonen

Vana, vanaisuus, profiilimittaus, profiilivirhe

TIIVISTELMÄ

Vana on paperin poikkisuunnan virhe, joka esiintyy paperiradan poikkisuunnassa satunnaisessa paikassa. Myös vanan esiintymisajankohta ja kesto ovat satunnaisia. Vanaisuus voi haitata paperin jalostusta ja painamista tai pahimmillaan estää niiden suorittamisen. Ongelma on erityisen paha useaan kertaan päällystetyillä kiiltävillä paperilajeilla. Paperin vanaisuus onkin yksi suurimmista reklamaatioiden aiheuttajista Äänekosken paperitehtaalla, jossa valmistetaan kolmeen kertaan teräpäällystettyä hienopaperia.

Tämän insinööri työn tavoite on kartoittaa niitä hienopaperin valmistukseen liittyviä tekijöitä, jotka johtavat lopputuotteen vanaisuuteen. Tekijöiden kartoituksen jälkeen tavoitteena on selvittää tapoja, jolla paperin vanaisuutta voitaisiin vähentää.

Ongelman lähestymistapa on seurata ongelman kehittymistä ja ilmenemistä prosessin aikana. Tärkein työkalu tässä työssä on kovuusprofiilimittari Tapio RQP (Roll Quality Profiler). Kyseisellä mittarilla voidaan mitata konerullien kovuusprofiileja. Kovuusprofiileja mitataan samoista konerullista läpi paperinvalmistusprosessin paperikoneelta päällystyskoneen ja kalantereiden kautta pituusleikkurille asti. Pituusleikkurilla mitataan valmistuneet asiakasrollat. Saatuja kovuusprofiileja verrataan Honeywellin mittapalkeilta normaalia suuremmalla resoluutiolla poimittuun dataan. Mittapalkeilta tallennetaan muun muassa neliömassa-, paksuus-, kosteus-, tuhka- ja päällystemääräprofiilit. Profiileja vertailemalla on tarkoitus löytää riippuvuussuhteita kovuuden ja tallennettujen profiilien välillä, selvittää vikojen alkuperä ja seurata niiden kehittymistä paperinvalmistuslinjan aikana.

Työn aikana tehtyjen mittausten ja muiden huomioiden perusteella on tehty esityksiä jatkotoimenpiteistä. Tällaisia ovat muun muassa lisäselvitys kosteusprofiilin muodostumisesta paperikoneella välillä perälaatikko-kuivatusosan loppu sekä toimenpiteet turbulenssigenaattorin mitoitusarvojen ylittämisen estämiseksi.

Vanaisuusongelman vähentämiseksi on tehtävä vielä paljon työtä ja tutkimusta. Tämän työn perusteella voidaan tehdä päätöksiä seuraavan vanaisuustutkimuksen kohdealueesta, ja tämän työn mittaustuloksia voidaan mahdollisesti hyödyntää.

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paper Technology

Alenius, Jouni

Identification of factors causing streakyness in coated fine paper

Engineering Thesis

55 pages, 2 appendices

Thesis Supervisor

Ulla Häggblom-Ahnger (Ph. D.)

Commissioning Company

M-real Corporation. Supervisor: Teemu Liukkonen (MSc)

April 2005

Keywords

waviness, streak, streakyness, profile measurements, profile faults

ABSTRACT

A streak is a quality defect in the crossdirectional profile of a paper. It's appearance in paper machine's cross-direction is random, and the duration of the defect is also random. Streakyness can cause problems in paper converting and printing, or at it's worst prevent it entirely. The problem is worst at multiple coated and glossy paper grades. Paper streakyness causes the most of the customer complaints at Äänekoski Paper Mill.

The aim of this thesis is to study factors concerning fine paper making that cause the streakyness of the end product. After identifying the factors the aim is to find out ways how streakyness could be decreased.

The key idea of this study is to follow the defect through the paper making line and pursue its development. The most important tool is Tapio RQP (Roll Quality Profiler). Roll hardnesses can be measured with it. Roll hardnesses are measured from the same machine rolls from paper machine via coater and calenders to winder. At the winder the customer rolls are measured. The hardness profiles are compared to other profiles, which are recorded by the Honeywell on-line measurements. Recorded profiles are for example thickness, basis weight, moisture, ash and coat weight. By comparing the recorded profiles to roll hardness profile the aim is to find dependencies between profiles and so to identify the origin of defects.

Based on the measurements and other findings, the following steps have been suggested. For example a more detailed study about moisture profile between headbox and the end of the drying section and actions to avoid overcapacity of the turbulence generator.

There is a lot of work to be done to decrease streakyness and defects caused by streaks. Based on this study the decisions of the next study's topic can be made and the measurements of this study can be taken advantage of.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö tehtiin M-real Äänekoski Paperin toimeksiannosta keväällä 2005.

Työn valvojana ja tarkastajana toimi TkT Ulla Häggblom-Ahnger Tampereen ammattikorkeakoulusta ja työn ohjaajana DI Teemu Liukkonen M-real Äänekoski Paperista. Heitä molempia haluan kiittää hyvistä neuvoista ja kiinnostuksesta työtäni kohtaan.

Haluan kiittää kaikkia niitä, jotka ovat tämän työn valmistumista edesauttaneet. Kiitos kuuluu myös PK2:n käyttöhenkilökunnalle sujuvasta yhteistyöstä ja innoittavasta ilmapiiristä.

Kiitos vanhemmilleni jatkuvasta kannustuksesta opintojeni aikana ja Anulle loputtomasta tuesta.

Äänekoskella 26.04.2005

Jouni Alenius

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TEHDASESITTELY: ÄÄNEKOSKEN PAPERITEHDAS.....	6
2.1 Paperikone.....	7
2.1.1 Lyhyt kierto.....	7
2.1.2 Perälaatikko.....	9
2.1.3 Formeriosa.....	12
2.1.4 Puristinosa.....	13
2.1.5 Kuivatusosa.....	16
2.1.6 Konekalanteri.....	17
2.3 Päällystys.....	17
2.4 Kalanterointi.....	20
3 VANAN SYYTEKIJÖITÄ PROSESSIJÄRJESTYKSESSÄ.....	21
3.1 Perälaatikko.....	22
3.2 Formeriosa.....	26
3.3 Puristinosa.....	28
3.4 Kuivatusosa.....	29
3.5 Päällystys.....	30
3.6 Kalanterit.....	31
4 MITTAUSLAITTEISTON ESITTELY.....	32
4.1 Honeywell Measurex DaVinci.....	32
4.2 Tapio Roll Quality Profiler.....	37
5 MITTAUKSET.....	38
5.1 Mittapalkkien profiilien tallennus.....	39
5.2 Kovuusprofiilimittaus.....	40
6 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	41
6.1 Paperikoneen mittaukset.....	42
6.2 Päällystyskoneen mittaukset.....	45
6.3 Superkalanterin mittaukset.....	47
6.4 Mattakalanterin mittaukset.....	47
6.5 Pituusleikkurin mittaukset.....	48
7 OMAT PÄÄTELMÄT JA JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET.....	50
LÄHTEET.....	54
LIITTEET	
Liite 1. Kuva paperikoneen mittapalkkien sijainneista	
Liite 2. Kuva päällystyskoneen mittapalkkien sijainneista	

1 JOHDANTO

Paperin vanaisuus on laajalti tunnettu ongelma, jota on tutkittu pitkään. Ongelma on erityisen paha useaan kertaan päällystetyillä paperilajeilla, joita valmistetaan myös Äänekosken paperitehtaalla. Laajoista selvityksistä huolimatta kattavaa teoriaa vanaisuuden synnystä ei kukaan ole pystynyt kehittämään.

Usein vanaisuus onkin usean yksittäisen tekijän summa. Ongelman tutkimista vaikeuttaa sen esiintymisen satunnaisuus ja yksiselitteisen mittarin puute. Vanaisuutta arvioidaan yleensä vain visuaalisesti. Paperin poikkiprofiilin virhe korostuu paperin kerrostuessa rullalle. Tällöin vanaiset kohdat tulevat selvästi esiin. Työssä käytettiin apuna kovuusprofiilimittaria, jotta vanaista saataisiin visuaalisen tarkastelun tueksi mittaustuloksia.

Kappaleessa 2 esitellään Äänekosken paperitehtaan eri osa-alueet ja niihin liittyvät prosessin osat. Seuraava kappale esittelee tunnettuja vanaisuuden alkusyitä ja tukeutuu kappaleessa 2 esitettyyn teoriaosuuteen eri laitteiden toiminnasta. Kappaleet 4 ja 5 käsittelevät käytettyjä mittalaitteita ja mittausten suoritusta. Mittaustulokset ja niiden analyysi on esitetty kappaleessa 6. Lopuksi löytyvät omat päätelmät ja jatkotoimenpide-ehdotukset.

2 TEHDASESITTELY: ÄÄNEKOSKEN PAPERITEHDAS

M-real Äänekoski Paper on M-real Oyj:n Commercial Printing –toimialaan kuuluva tuotantoyksikkö. Äänekosken paperitehdas valmistaa yhdellä paperikonelinjalla molemmin puolin kolme kertaa teräpäällystettyä taidepainopaperia kahdella eri kiiltotasolla. Paperinvalmistuslinja sisältää paperikoneen ja sen online-päällystysyksiköt, neljäasemaisen päällystyskoneen, paperin viimeistelyyn matta- ja kiillotuskalanterit, kaksi

pituusleikkuria ja arkkileikkurit. Valmistettavan paperin neliömassa-alue on merkittävän laaja: 115–300 g/m². Valmiina tuotteena mattalaatu kantaa nimeä Galerie Art Silk, ja vastaavasti kiiltävää laatua kutsutaan Galerie Art Glossiksi. Taidepainopaperilla tarkoitetaan molemmin puolin kaksi tai kolme kertaa päällystettyä puuvapaata paperia. Puuvapaan painopaperin, eli hienopaperin valmistukseen on käytetty ainoastaan kemiallista massaa. /2; 11; 24; 25/

Taidepainopaperi on tarkoitettu erittäin vaativiin ja korkealuokkaisiin painotöihin. Paperin loppukäyttökohteina ovat kuvateokset, korkealaatuiset lehdet, lehtien kannet, esitteet ja mainokset, vuosikertomukset ja julisteet. Tehdas työllistää noin 300 henkilöä ja tuottaa vuodessa noin 180 000 tonnia paperia. Tehtaan liikevaihto vuonna 2003 oli 119 miljoonaa euroa. Äänekosken paperitehtaan tärkeimmät markkina-alueet vuodelle 2005 markkinaosuusjärjestyksessä ovat Venäjä, Suomi, Puola, Iso-Britannia ja Yhdysvallat. Valmistetusta paperista noin 90 % menee vientiin. /2; 11; 24/

2.1 Tehdasesittely: Paperikone

Äänekosken paperikone 2 (jatkossa PK2) starttasi vuonna 1987. Koneen trimmileveys on 3,86 metriä ja viiran leveys 4,55 metriä. Paperikoneen ajonopeus on lajista riippuen 500–1000 m/min. Esipäällystetyn paperin neliöpainoalue vaihtelee alueella 80–240 g/m². Tuotantokapasiteetti on 400–610 t/d. /24; 25/

2.1.1 Lyhyt kierto

Lyhyellä kierrolla tarkoitetaan sitä prosessinosaa, jossa paperikoneen viiraosalta paperirainasta poistuvia kuituja ja muuta hienoinetta sisältävä vesi ohjataan viirakaivoon laimentamaan konesäiliöstä tulevaa sakeaa massaa. Sakea massa, jonka sakeus on noin 3 %, laimennetaan ennen pumppaamista perälaatikolle. Kuitususpensio (kuitujen ja veden muodostama seos) laimennetaan tasaisen kuitujakauman saavuttamiseksi. Mitä

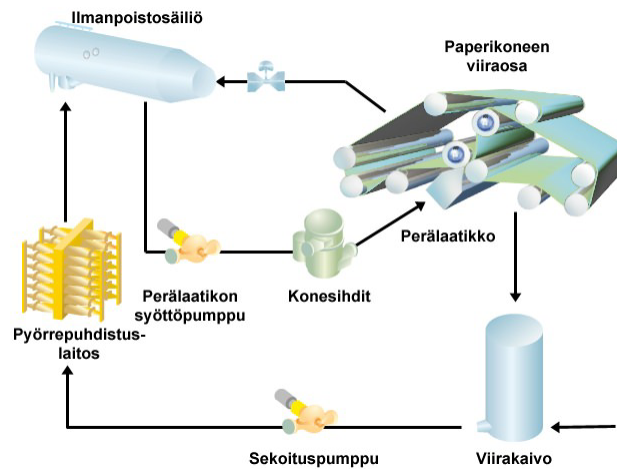
enemmän pitkäkuituista massaa suspensiossa on, sitä alhaisempi sakeuden tulee olla flokkien välttämiseksi. Flokit ovat puukuitujen muodostamia kimppuja, jotka häiritsevät paperin valmistusta ja aiheuttavat laatuvirheitä lopputuotteeseen. /2; 11/ Äänekosken PK2:n perälaatikkosakeus vaihtelee ajettavasta lajista riippuen välillä 0,5–1,1 %.

Lyhyen kierron tehtävät ovat /2; 11; 23/

- laimentaa konesäiliön sakea massa perälaatikkosakeuteen
- palauttaa ja retentoida viiraosalta poistuvan veden mukana kulkevat kuidut ja täyteaineet takaisin paperirainaan, eli parantaa taloudellisuutta
- puhdistaa massa epäpuhtauksista ja ilmasta
- rainan hiukkaskokojakauman optimointi
- sakeus- ja painevaihteluiden minimointi
- väri- ja täyteaineiden sekä kemikaalien annostelu ja sekoitus

Tyypillinen lyhyen kierron kytkentä on esitetty kuvassa 2.1. Kuvasta voidaan havaita virtauksien liikkeitä. Sakea massa syötetään konesäiliöstä viirakaivon pohjalle, jossa se laimennetaan viiravedellä. Laimennettu massa pumpataan sekoituspumpulla pyörrepuhdistuslaitoksen läpi ilmanpoistosäiliöön. Tämän jälkeen massa pumpataan perälaatikon syöttöpumpulla konesihtien läpi ja edelleen perälaatikkoon. Perälaatikon jakotukista on ohivirtaus takaisin ilmanpoistosäiliöön. /2; 11/

Hienopaperin valmistuksessa paperin neliöpainot saattavat vaihdella hyvin suurissa rajoissa. Esimerkiksi Äänekosken PK2:n pohjapaperin neliömassa-alue on 63–210 g/m². Tästä johtuen myös perälaatikkosakeudet sekä lyhyen kierron virtausmäärät saattavat vaihdella paljon verrattuna kapeamman neliöpainoalueen paperikoneisiin. /2; 25/



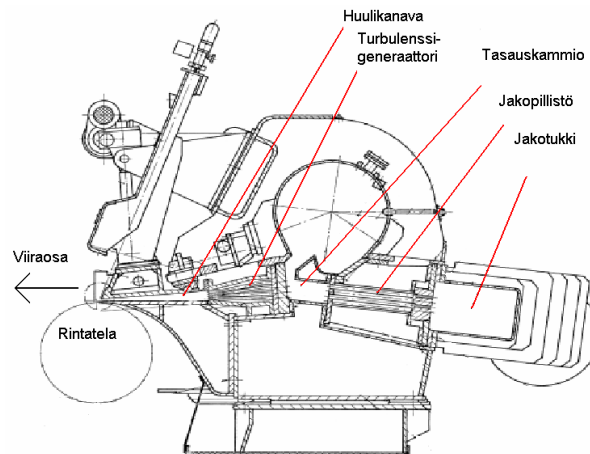
Kuva 2.1 Tyypillinen lyhyen kierron kytkentä /23/

2.1.2 Perälaatikko

Rainanmuodostusosa koostuu perälaatikon syöttöputkistosta, perälaatikosta sekä viiraosasta. Rainanmuodostusosalla muotoutuvat monet tärkeät paperin laatuominaisuudet, kuten formaatio, joihin myöhemmissä prosessin vaiheissa voidaan vaikuttaa vain marginaalisesti. Lyhyen kierron lähestymisputkisto toimittaa oikeaan sakeuteen laimennettua paperimassaa paperikoneen perälaatikkoon. Perälaatikon tehtävänä on

- levittää massasuspensio tasaisesti koneen poikkisuunnassa
- stabiloida syöttövirtauksen painevaihtelut ja pulseeraus sekä mahdolliset poikkisuuntaiset virtaushäiriöt
- tuottaa sopivan tasoinen turbulenssi kuituflokkien hajottamiseksi
- tuottaa viiraosalle massasuspensiosuihku, jolla on haluttu sakeus, nopeus ja suunta. /2; 11; 17; 23/

Seuraavissa kappaleissa keskitytään hydraulisen, kärkilistasäätöisen perälaatikon toimintaan. Kuvassa 2.2 esitetty Äänekosken PK2:n perälaatikko on toimintaperiaatteeltaan hydraulinen, Metson toimittama SymFlo M. /2; 11; 19/



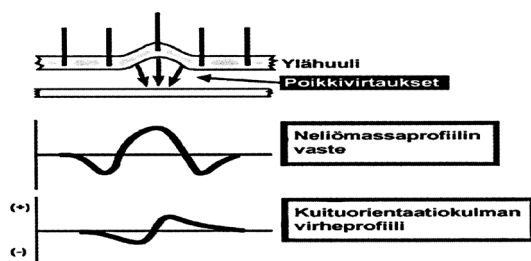
Kuva 2.2 Äänekosken PK2:n perälaatikko SymFlo M /19/

Massa ohjataan perälaatikkoon etenemissuunnassa kapenevan jakotukin avulla. Jakotukki sijaitsee perälaatikon takana koneeseen nähden kohtisuorassa. Kapenevan muodon avulla ja perälaatikon jakoputken muotoilulla pyritään vaikuttamaan tasaisen virtaus- ja nopeusprofiilin aikaansaamiseen. Jakotukin päästä johdetaan ilmanpoistosäiliöön ohivirtaus (suuruudeltaan maksimissaan 10 % kokonaisvirtauksesta), joka varmistaa tasaisen paineen myös jakotukin kapeammassa päässä sijaitseville jakopilleille. Oikealla tasolla oleva ohivirtaus estää vinon orientaatioprofiilin. /2; 11; 15; 23/

Jakotukista massa johdetaan perälaatikon sisään jakopillistöä pitkin. Jakopillistö on patteristo putkia, jotka ovat sisäänmenopuoleltaan pienempiä kuin ulostulopuoleltaan. Jakopillistön tehtävänä on vaimentaa jakotukista tulevia painevirheitä kuristuksen avulla. Tämän jälkeen perälaatikossa on koko koneen levyinen tasauskammio, jossa pillistön virtaukset yhtyvät homogeeniseksi virtaukseksi. Samalla lyhyestä kierrosta tulevat paine- ja virtaamahäiriöt vaimenevat. Tasauskammioista massa johdetaan turbulenssi-generaattoriin, jonka tehtävä on tuottaa tasainen sakeusprofiili sekä flokkeja hajottava virtaustila. Turbulenssi-generaattori on patteristo putkia, joiden sisäänmenopuoli on pyöreä ja ulostulopuoli neliskulmainen. Flokkeja hajotetaan aiheuttamalla virtaukseen leikkausvoimia ja turbulenssia. Turbulenssi on riittävä pitämään kuidut erillään ja hajottamaan flokkeja, mutta ei haittaa rainanmuodostusta viiralla. /2; 11; 15; 23/

Turbulenssigeneraattoria seuraa huulikanava, jossa massan virtausnopeus kiihdytetään paperikoneen nopeuteen. Huulikanava on mitoitettu niin, että generaattorissa synnytetty turbulenssi ehtii vaimentua rainanmuodostukseen sopivalle tasolle ennen huuliaukkoa. Hydraulisessa perälaatikossa generaattorin synnyttämä turbulenssi on verrannollinen koneen nopeuteen. Perälaatikolla on olemassa virtaaman optimialue, joka on määritelty suunnitteluvaiheessa tuotannon mukaiseksi. Ajettaessa perälaatikon mitoituksen ylärajoilla turbulenssi ei ehdi vaimentua huulikanavassa riittävästi. Tästä johtuen massa virtaa rauhottomasti viiralle, ja seurauksena on vanainen paperirata. Myös liian alhainen perälaatikon virtaama saattaa aiheuttaa vanaisuutta sekä huonontaa formaatiota. /2; 11; 17; 23/

Perälaatikon alahuuli on asennettu kiinteästi. Ylähuuli sen sijaan liikkuu sekä pystyettä vaakasuunnassa. Hydraulisen perälaatikon kuivapainoprofiilia säädetään ylähuulella. Tällaisesta säädöstä käytetään nimitystä kärkilistasäätö. Ylähuuleen kiinnitettyä kärkilistaa ja siten viiralle virtaavan massavirran määrää voidaan säätää paikallisesti taivuttamalla kärkilistaa ylös- tai alaspäin hienosäätökarojen aiheuttaman voiman avulla. Huuliaukon suurentuessa virtaama viiralle kyseisellä kohdalla kasvaa. Kärkilistan säätö on kytketty paperikoneen kuivan pään kuivapainomittaukseen. Haittavaikutuksena kuivapainoprofiilin kärkilistasäädöllä on kuituorientaation ja neliömassaprofiilin muuttuminen virtauksen paikallisesti muuttuessa kuvan 2.3 mukaisesti. /2; 11; 13; 15; 21/

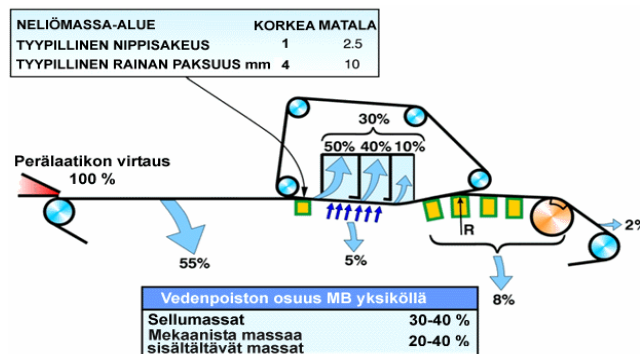


Kuva 2.3 Huulen säädön vaikutukset neliömassa- ja orientaatioprofiiliin /11/

2.1.3 Formeriosa

Rainanmuodostuksen ylivoimaisesti tärkeimmät alueet ovat perälaatikko ja viiraosa. Voitaneen sanoa, että puolet rainasta tehdään perälaatikossa ja puolet viiraosalla. Formerin eli viiraosan tarkoitus on huopauttaa perälaatikosta tuleva massaliete poistamalla lietteestä noin 98 % sen sisältämästä vedestä. Hybridiformerissa tasoviiraosuuden päälle on asennettu yläviirayksikkö, joka poistaa vettä myös ylöspäin. Tällainen ratkaisu parantaa paperin pintojen homogeenisuutta, koska hienoainejakauma on lähes symmetrinen. Symmetrinen rakenne tuottaa samanlaiset päällystys- ja painatusominaisuudet paperin kummallekin puolelle. /2; 11/

Äänekosken PK2:n hybridiformeri on modernisoitu vuonna 2000 Valmetin toimesta. Tuolloin Ahlström/Karhulan valmistamalle viiraosalle uusittiin MB(Multi Blade)-laitteet ja yläviiran formeritelan nostolaitteet. Valmetin käyttämä nimike kyseiselle formeriratkaisulle on SymFormer MB. MB-formerin sisältämän yläviirayksikön ansiosta vettä poistuu myös ylöspäin ajotilanteesta riippuen noin 30 %. Molemminpuolisesta vedenpoistosta johtuen saavutetaan symmetrisempi hienoainejakauma paperin paksuussuunnassa kuin tasoviiralla. Kuvassa 2.4 on esitetty PK2:n formerille tyypilliset veden poistumisen vaiheet, suunnat ja määrät. /2; 16; 18/



Kuva 2.4 Vedenpoisto SymFormer MB:llä /23/

Viiraosan ensimmäinen vedenpoistoelin on rintapöytä. Huulisuihkun osuessa viiralle vedenpoisto alaviiran läpi tapahtuu nopeasti, sillä vedenpoistoa hidastavaa kuitumattoa

ei ole vielä ehtinyt muodostua. Rintapöytä viivyttää veden poistumista sekä tukee viiraa kohdalta, jossa se ottaa vastaan huulisuihkun. Huulisuihkun tulokulman avulla hallitaan aivan tasoviiraosan alussa tapahtuvaa vedenpoistoa eli initiaalivedenpoistoa. Rauhallinen initiaalivedenpoisto parantaa viiraretentiota, formaatiota ja hienoainejakaumaa. /1; 2; 11; 16; 17/

Rintapöydän jälkeen vettä poistetaan foililaatikoilla. Niitä on koneessa seitsemän kappaletta, ja ne on numeroitu perälaatikosta alkaen. 4. laatikossa on seitsemän foililistaa. 7. laatikossa on kuusi foililistaa, muissa laatikoissa listoja on viisi. Kaksi viimeistä foililaatikkoa sijaitsevat kaksoisviiraosuudella. /26/

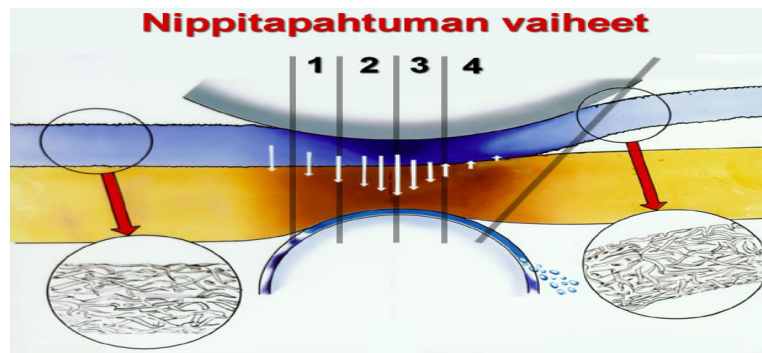
MB-yksikön vedenpoistokalustoon kuuluu kolmikammioinen imulaatikko yläviiralenkin sisäpuolella. Jokaisen kammion alipainetta voidaan säätää itsenäisesti. Lisäksi laitteistoon kuuluu alaviiralenkin sisäpuolelle tuleva kaareva pöytä sekä kuormituspöytä. Yläviiralenkin sisällä olevan imulaatikon tarkoitus on poistaa vettä paperirainasta liike-energian ja alipaineen avulla. Imulaatikon kohdalla alaviiran alapuolella on kuormituspöytä, jolla voidaan painattaa viiroja toisiaan vasten ja siten tehostaa vedenpoistoa. Kuormituspöydän listoista aiheutuva pulseeraava vedenpoisto parantaa formaatiota. Poistuva vesi johdetaan putkistoja myöten kellarissa sijaitsevaan lukkovesialtaaseen. MB-yksikön jälkeen vettä poistetaan siirtoimulaatikolla, irroitusimulaatikolla sekä kahdella tasoimulaatikolla. /16; 18; 26/

2.1.4 Puristinosa

Paperiraina poimitaan viiralta pick-up –telan avulla alipainetta hyväksikäyttäen märkäpuristusosalle 15–20 % kuiva-ainepitoisuudessa. Puristinosaalla kuiva-ainepitoisuus nousee 40–55 % tasolle. Kuiva-aineen suuresta noususta huolimatta puristinosaan poistama vesimäärä on vähäinen verrattuna viiraosan poistamaan vesimäärään. Tuotannon taloudellisuuden kannalta on edullista poistaa puristusosalla niin paljon vettä kuin mahdollista kalliin höyryenergian säästämiseksi kuivatusosalla. Yhden prosentin kui-

va-aineen nousu puristinosalla pienentää noin 3-4 % kuivatusosan höyrynkulutusta. Kuiva-aineen nostossa puristinosalla on olemassa optimitaso. Rainan paksuuden menettäminen, huopien käyttöiän huomattava aleneminen sekä huopamarkkeeraus ovat seurausta liian suurista nippipaineista. /2; 11; 23/ Käytännössä nippipaineita rajoittaa myös rainan rikkoutuminen eli kuraaminen.

Märkäpuristuksen mekanismin luonteen selvitti Wahlström 1960-luvulla. Sittemmin sitä ovat tarkentaneet Nilsson ja Larsson. Teorian mukaan nippitapahtuma voidaan jakaa neljään vaiheeseen kuvan 2.5 mukaisesti. /2/



Kuva 2.5 Nippitapahtuman vaiheet /23/

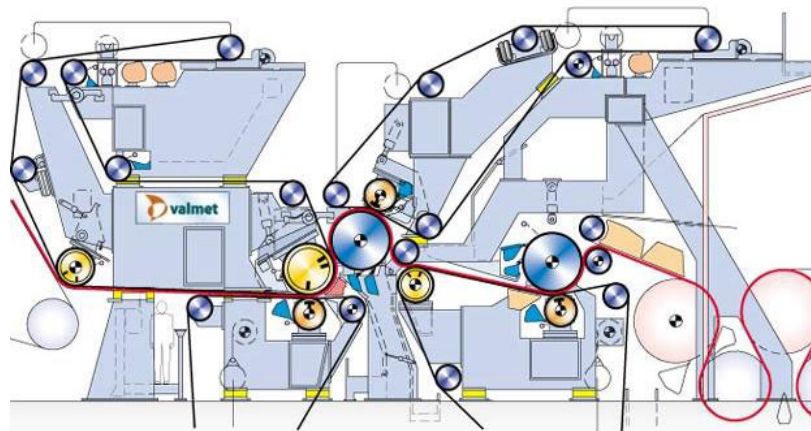
Vaiheessa 1 kokonaispaine nipissä alkaa kasvaa ja ilma poistuu nipistä. Vaiheessa 2 hydraulinen paine alkaa kasvaa, vesi alkaa virrata kohti huopaa, huopa kyllästyy vedellä ja vesi poistuu telan puolelle. Vaiheessa 3 nippi laajenee, nipin kokonaispaine laskee, ja vaiheen lopussa rainan kuiva-ainepitoisuus on korkeimmillaan. Vaiheessa 4 huopa ja paperi eivät enää ole vedellä kyllästettyjä. Tällöin alkaa tapahtua jälleenkastumista, eli raina alkaa imeä vettä huovasta. /11; 23/

Veden poistuminen rainasta aikaansaadaan voimakkaalla puristuksella. Paperiraina kulkee yhden tai kahden huovan kanssa telojen väliin muodostuneen nipin läpi. Puristuksessa vesi pyrkii siirtymään rainasta huopaan, sillä rainan tilavuus pienenee, jolloin vedelle ei jää enää tilaa. Veden siirtymiseen rainasta huopaan vaikuttavat monet seikat.

Näistä tärkeimpiä ovat huovan ja telan rakenne, lämpötila, massan koostumus ja jauhausaste, koneen nopeus sekä viivakuorma ja viipymäaika nipissä. /2; 11; 23/

Veden poistumista huovasta edistetään höyrylaatikoilla. Veden lämpötilan noustessa sen viskositeetti laskee, ja näin ollen se poistuu kuiduista tehokkaammin ja virtaa helpommin huopaan. Höyrylaatikkoa käytetään koko radan lämmittämiseen ja siten kuiva-ainetason nostoon. Höyrylaatikko on koneen poikkisuunnassa jaettu 10–30 cm leveisiin lohkoihin, joille voidaan syöttää eri määrä höyryä. Näin ollen sitä voidaan käyttää profiloivana elementtinä kosteuspiikkien ja kosteusvanojen eliminoimiseksi. Usein tämä onkin paperikoneen ainoa kosteuden profilointilaite ennen päällystystä. Höyrylaatikko sijaitsee yleensä puristimen imutelaa vasten. /2; 11; 21; 23/ Tästä poiketen Äänekosken PK2:n höyrylaatikko sijaitsee viiraosalla viiran imutelan päällä.

Paperin karheustoispuolisuuden pienentämiseksi sekä kuiva-ainetason nostamiseksi käytetään joissakin paperikonekonstruktioissa neljää puristinnippiä. Neljännessä nipissä paperin yläpinta on kosketuksissa sileään telaan, jolloin yläpuolen karheus pienee. Äänekoskella on käytössä Ahlströmin valmistama neljännippinen puristinosa, joka on vastaava kuin kuvassa 2.6 esitetty Valmetin valmistama SymPress II + 4th press –puristinosa. /2; 11; 24/



Kuva 2.6 Valmetin SymPress II + 4th press – puristinosa /23/

2.1.5 Kuivatusosa

Puristinosan jälkeen paperiraina johdetaan kuivatusosalle. Kuivatusosalla paperirainan sisältämä kosteus poistetaan höyryllä lämmitettyjen sylinterien avulla. Rainan koskettaessa sylinterin pintaa sen lämpötila nousee ja vettä haihtuu kuivatuskudokseen ja sen läpi. Haihduttamisen tulee tapahtua tehokkaasti, taloudellisesti, tasaisesti ja paperin laatua huonontamatta. Kuivatuksen merkitys prosessin kokonaistalouteen on suuri.

Kuivatuksella vaikutetaan seuraaviin paperin laatuominaisuuksiin:

- kosteuden poikkiprofiili
- pituussuuntainen kosteusprofiili
- pintaominaisuudet (sileys, karheus)
- lujuusominaisuudet (veto- ja repäisylujuus)
- venymä
- vaaleus /11; 23/

Kuivatusosalla raina tuetaan kuivatuskudokseen, joka yleensä on kuivatusviira. Viiran tarkoitus on tukea rainaa, parantaa rainan ja sylinterin välistä kosketusta, estää paperia rypistymästä ja poimuuntumasta, hallita poikkisuuntaista kutistumaa ja sallia kuivatus- ta edistävien ilmavirtojen kulku lävitseen. Rainan tullessa kuivatusosalle sen lujuus on alhainen, koska vetysidoksia ei ole ehtinyt muodostua. Tästä johtuen rainaa tuetaan kuivatusosan alkupäässä sekä ylä- että alasyntereillä samalla kuivatusviiralla. Tällais- ta vientiä kutsutaan yksiviiravienniksi. Myöhemmissä sylinteriryhmissä käytetään ko- neen nopeudesta riippuen edellä mainittua yksiviiravientiä tai kaksiviiravientiä, jossa ala- ja yläsyntereille on omat viiransa. Äänekosken PK2:n kuivatusosalla kahdella ensimmäisellä sylinteriryhmällä on yksiviiravienti, ja loppuilla sylinteriryhmillä kaksi- viiravienti. Sylinterien pintalämpötilat ovat kuivatusosan alussa alhaiset ja nousevat kuivatusosan loppua kohden. Näin toimitaan siksi, ettei kostea raina palaisi kiinni en- simmäisiin syntereihin. /1; 2; 11; 23; 24/

Prosessitietokone säättää kuivatushöyryn painetta siten, että höyrynpainetta muutetaan paperin kosteusmittauksen perusteella. Äänekosken esipäällistykseen menevän pohja-

paperin tavoitekosteus on neliömassasta riippuen 2,8–4,5 %. Kosteusohje riippuu myös kosteusprofiilin suoruudesta. Huonon kosteusprofiilin omaava paperi saa pienemmän tavoitekosteusarvon, jolloin paperi ajetaan kuivemmaksi. Näin voidaan kosteusprofiilista aiheutuvia virheitä pienentää. /2; 11; 25/

2.2 Tehdasesittely: konekalanteri

Paperi kalanteroidaan ennen esipäälylystystä konekalanterilla. Konekalanteri on kovanippinen. Tämä tarkoittaa sitä, että nipin muodostavat telat ovat kovapintaisia. Konekalanterin tarkoitus on tasoittaa paperin paksuusprofiilia sekä aikaansaada oikea karheustaso paperiin. Lämpölaajenemiseen perustuva konekalanteri muodostuu taipumakompensoidusta alatelasta sekä ylätelasta, joka on ns. lämpötela. Lämpötela lämmitetään induktiolla. Mittapalkki mittaa jatkuvasti paperin paksuusprofiilia konekalanterin jälkeen. Mittaus on kytketty profiilinsäätölaitteistoon, joka lämmittää paperissa havaitun paksuuspiikin kohdalta paikallisesti kalanterin ylätelan vaippaa. Lämmitessään vaipan halkaisija suurenee kyseiseltä kohdalta, jolloin samasta kohdasta kalanterin läpi mennyt paperi tulee ohuemmaksi, tiheämmäksi, sileämmäksi ja kiiltävämmäksi. /2; 3; 11; 21/

2.3 Tehdasesittely: päällystys

Paperin päällystämällä tarkoitetaan sen päällystämistä pigmenteillä, sideaineilla, vahoilla ja muoveilla sekä näiden yhdistelmillä. Päällystykseen tarkoitus on täyttää paperin pinnan epätasaisuudet yhdellä tai useammalla päällystekerroksella. Päällystyksellä haetaan ennen kaikkea painettavuusominaisuuksia ja ulkonäköä. Samalla voidaan vaikuttaa paperin jäykkyyteen ja absorptio-ominaisuuksiin. Päällystykseen vaikutus painettavuuteen ilmenee muun muassa seuraavista seikoista:

- se vähentää painoväriin tarvetta
- se vähentää värin leviämistä ja lisää painojäljen terävyyttä
- se lisää painojäljen kiiltoa
- se lisää opasiteettia ja vähentää läpipainamista
- se lisää yleensä vaaleutta /11/

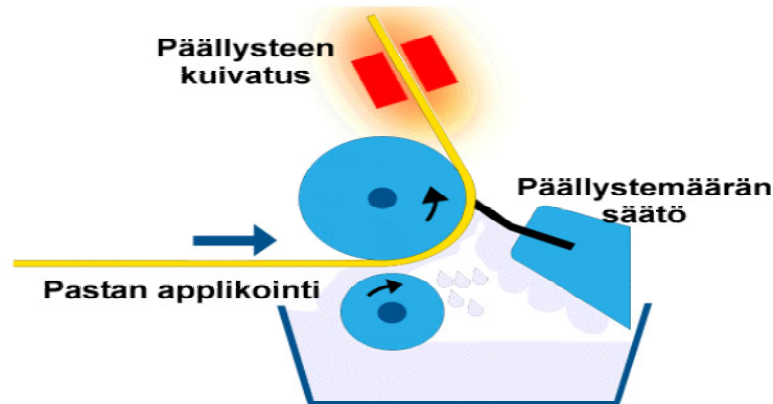
Päällystyspasta koostuu pigmenteistä, sideaineista, lisäaineista ja vedestä. Kuivatusta päällysteestä on pigmenttiä 75–95 %. Näin ollen se on määräävä tekijä päällysteen laadulle ja ominaisuuksille. Päällystystapahtuma käsittää kaksi vaihetta: päällysteen applikoinnin eli sivelyn ja päällysteen tasoituksen. Erot eri päällystysmenetelmien välillä muodostuvat applikointiin ja päällysteen tasoitukseen käytettävistä tekniikoista. /11/

2.3.1 Päällysteen applikointi ja päällystemäärän säätö

Yleisin päällystysmenetelmä on teräpäällystys eri variaatioineen: sivelytelapäällystin, lyhytviipymäpäällystin tai näiden välimuoto, suutinapplikoinnilla varustettu päällystysasema. Äänekosken taidepainopaperi on kolme kertaa teräpäällystettyä. Paperikoneella suoritettavaan esipäällystykseen käytetään lyhytviipymäasemia, kun taas erillisellä päällystyskoneella suoritettavaan väli- ja pintapäällystykseen käytetään sivelytelaapplikoinnilla varustettuja asemia. /11/

Lyhytviipymäapplikoinnissa päällystysseos johdetaan aivan terän takana olevaan kammioon. Yksi kammion seinämistä muodostuu vastatelan tukemasta liikkuvasta paperiradasta. Radan liikkeen aiheuttama kitka aikaansaa kammioon pyörteilyä. Aivan paperin pinnan läheisyydessä päällystysseoksen nopeus on sama kuin paperiradan, mutta kammion keskustaan päin siirryttäessä nopeus laskee. Päällysteen vähäisestä viipymäajasta johtuen paperin kostuminen on vähäistä. Kuitujen turpoaminen tapahtuu osittain vasta terän jälkeen. Tämä aiheuttaa karheustilavuuden kasvun ja sen, ettei lyhytviipymäpäällystyksellä saavuteta yhtä korkeaa sileyttä kuin sivelytelapäällystyksellä. Äänekosken PK2:lla tapahtuvan esipäällystykseen päällystemäärä on 7-11 g/m². /11; 23; 25/

Sivelytela-applikoinnissa paperirata ohjataan vastatelan tukemana sivelytelan ja vastatelan muodostamaan nippiin. Sivelytela nostaa kaukalosta mukanaan päällystyspastaa, joka nipissä tarttuu paperin pintaan. Vastatela myöten kulkevaa paperirataa vasten on puristettu teräpalkkiin kiinnitetty taipuisa terä, joka päästää alitseen halutun määrän pastaa ja pyyhkii ylimääräisen pois. Kuvassa 2.7 on esitetty periaatekuva sivelytela-applikoinnista, teräkaavauksesta ja päällysteen kuivatuksesta. /23/



Kuva 2.7 Sivelytela-applikointi ja teräkaavaus /23/

Äänekosken pintapäällysteen päällystemäärä vaihtelee lajista riippuen välillä 10–14 g/m². Välipäällysteen määrä vaihtelee välillä 7-14 g/m². Erikoista Äänekosken päällystyskoneessa on se, että väli- ja pintapäällystyskoneet on alun perin rakennettu eri koneiksi. Nykyisin molemmat laitteistot on yhdistetty, ja ne toimivat käytännössä yhtenä koneena. Huomion arvoista on myös se, että pintapäällystysasemien päällystemäärän poikkiprofiilit ovat käsisäätöisiä. /24; 25/

2.3.2 Päällysteen kuivausmenetelmät

Infrapunakuivaimia käytetään yleisesti päällysteen kuivaukseen heti päällystystapah-tuman jälkeen niiden pienen tilantarpeen, hyvän säädettävyyden ja tehokkuuden takia. Infrapunakuivaimia lämmitetään joko sähköllä tai kaasulla. Äänekosken kaikki infra-punakuivaimet toimivat sähköllä. Sähkökäyttöisissä infrapunasaiteilijöissä käytetään halogeenilla täytettyjä volframilankahehkulamppuja. Niiden sisälämpötila on noin 2200 °C. Kuivaimien tehokkuutta nostetaan asettamalla heijastin paperiradan taakse,

jolloin paperiradan läpäissyt lämpösäteily kimpoaa takaisin rataan. Infrapunakuivain toimii profiloivana laitteena kosteuden osalta. Infrapunalamppurivistö on jaettu noin 150 mm levyisiin lohkoihin. Jokaiselle lohkolle voidaan syöttää eri määrä tehoa kosteusprofiilista riippuen. Tavoitteena on mahdollisimman tasainen kosteusprofiili. Infrapunakuivaimilla voidaan myös lieventää paperikoneelta tulevia kosteusprofiilivirheitä. /11; 23/

Leijukuivaimet kuivattavat loput päällysteen sisältämästä kosteudesta. Leijukuivaimissa paperirata kuivataan suurella nopeudella (30–75 m/s) rainan pintaan puhallettavalla kuumalla ilmalla. Energiataloudellisista syistä suurin osa ilmasta kierrätetään takaisin leijuun. Puhallusilma kostuu paperista haihtuvasta vedestä. Tämä vesimäärä poistetaan poistoilman mukana. Höyrylämmitteisillä leijukuivaimilla, jollaisia myös Äänekosken leijut ovat, puhallettavan ilman lämpötila on noin 170 °C. Paperin kuivatukseen käytetään kaksipuoleisia leijuja, joissa ilmaa puhalletaan paperiradan molemmilta puolilta. Ylipaine muodostaa rainan ja suuttimen väliin ilmatyynyn, joka estää rainan kosketuksen leijun rakenteisiin. Samanlaisten ilmasuuttimien ollessa lomittain rainan ylä- ja alapuolella raina liikkuu leijussa sinimuotoisesti aaltoillen. /11; 23/

2.4 Tehdasesittely: kalanterointi

Kalanteroinnilla tarkoitetaan prosessia, jossa paperia puristetaan kahden tai useamman telan välissä. Tällä pyritään muuttamaan paperin ominaisuuksia haluttuun suuntaan. Kalanteroinnin kolme päätehtävää ovat paperin pintaominaisuuksien parantaminen, paperin paksuuden hallinta sekä paperin paksuusprofiilin tasoittaminen. Kalanteroitumismekanismit voidaan jakaa neljään vaikutustapaan: puristumiseen, siirtymiseen ja hioutumiseen, suuntautumiseen sekä jäljentyymiseen. Kalanteroinnin erilaisia muotoja ovat väli- ja konekalanterointi, pitkänippikalanterointi, superkalanterointi ja softkalanterointi. /11; 23/ Tehtaalla tuotettavat kaksi kiiltotasoa (Silk ja Gloss) eroavat toisistaan kalanterointikäsitteilyn osalta. Gloss-lajit superkalanteroidaan, kun taas Silk-lajit softkalanteroidaan.

Superkalanterointi suoritetaan erillisenä työvaiheena useiden kovien ja pehmeiden telojen muodostamien nippien välissä. Superkalanteri on pystysuuntainen telapino, jossa on vuorotellen kuitu- tai polymeeriteloja ja metallipintaisia teloja. Metallitelan puoleinen pinta kalanteroituu paremmin, joten painopapereiden kalantereissa on kääntönippi toispuoleisuuden vähentämiseksi. Äänekosken paperitehtaan jälkikäsitelyyn kuuluu kaksi identtistä superkalanteria, jotka ovat Kleinewefersin toimittamat. Molemmat superkalanterit starttasivat vuonna 1988. Kalantereissa on 14 telaa, joista muodostuu 13 telanippiä. /23; 24/

Softkalanterointi tapahtuu nipissä, jossa toinen tela on pehmeä, polymeeripintainen. Jokainen nippi on erikseen kuormitettava, toisin kuin superkalanterissa. Jagenbergin Äänekoskelle toimittama softkalanteri on rakennettu vuonna 1988. Softkalanteri käsittelee kaksi nippiä, yhden kummankin puolen kalanterointia varten. /11; 24/

3 VANAN SYYTEKIJÖITÄ PROSESSIJÄRJESTYKSESSÄ

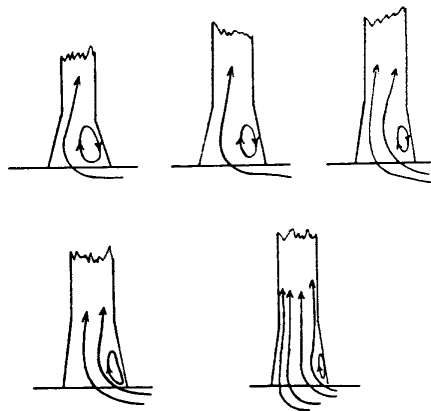
Vanalla tarkoitetaan koneen pituussuunnassa esiintyvää paperin poikkisuuntaista neliömassan, kosteuden, paksuuden, orientaation, kiillon, karheuden, päällystemäärän tai näiden yhdistelmien virhettä. Vanan leveyden maksimiarvo on 250–300 mm:n paikkeilla. Tätä leveämmät virheet tulkitaan profiilivioiksi, koska näin leveisiin vikoihin pystytään vaikuttamaan poikkisuunnan säätötoimilaitteilla. Vanan alkusyiden selvittäminen on hankalaa, koska se esiintyy koneen poikkisuunnassa satunnaisessa paikassa, ja myös vanan esiintymisen ajankohta ja kesto ovat satunnaisia. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty kirjallisuudessa esitettyjä vanan syntymekanismeja. /12; 20/

3.1 Perälaatikko

Yleisin neliömassavanojen aiheuttaja on perälaatikko. Usein perälaatikosta tulevat vanat muodostuvat myös kosteusvanoiksi. Erityisesti tasoviirakoneilla perälaatikon rooli vanojen syntyyn on ratkaiseva. Sen sijaan hybridiformerilla on oma vaikutuksensa vanaisuuteen. Eri formerityyppien kyky vaimentaa perälaatikosta tulevia vanoja on hyvin erilainen. /20/

3.1.1 Jakopillistö

Ensimmäinen neliömassavanoja aiheuttava tekijä massan etenemissuunnassa on jakopillistö. Pillien riittämätön määrä, epätydyttävä limittäisyys tai yksittäisten pillien tukkeutuminen sekä epätasainen sakeusprofiili pillistön poikkisuunnassa saattaa näkyä vanaoina paperissa. Tukkeumiin vaikuttavat elektrolyyttisen kiillotuksen vioittuminen, massalaji ja pillistön virtaustekninen mitoitus. Riittävä virtausnopeus putkistossa helpottaa sen puhtaana pysymistä. Yksittäisen pillin muotoilulla voidaan huomattavasti vaikuttaa pilliin muodostuvaan pyörteeseen. Pillistön kannaksesta aiheutuvaa massalajista riippuvaista virtaushäiriötä, joka häiritsee paperin laatua, kutsutaan vanavesiefektiksi. Sen lopullinen vaikutus riippuu myös huulisuihkun iskugeometriasta. Pyörre voi aiheuttaa virtauksen pienenemisen ja epästabiilin poikittaisvirtauksen perälaatikkoon. Pyörteeseen saattaa myös jäädä ilmaa. Kuvassa 3.1 on esitetty pyörteen muodostumista erimuotoisissa jakopilleissä. /12; 20/



Kuva 3.1 Pyörteen muodostuminen massan tuloreunaan erimuotoisissa pilleissä /20/

3.1.2 Turbulenssigeneraattori

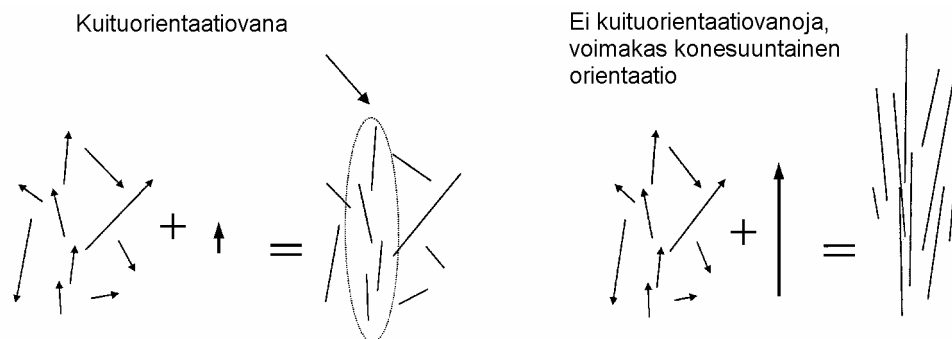
Turbulenssigeneraattorin mahdollisesti aiheuttama vanaisuus riippuu pillien limittäisyydestä ja muodosta, pilleissä vallitsevasta virtausnopeudesta sekä massan nopeus- ja sakeusprofiilista. Huulikanavaan muodostuvaan poikkiprofiiliin yksittäisten pillien sakeus- ja nopeusprofiilien summautuessa voidaan vaikuttaa tasoittavasti riittävällä pillien limittäisyydellä. Nopeusprofiilin tasoittumiseen vaikuttaa pillien limittäisyys sekä huulikanavan pituus. Hydraulisisissa perälaatikoissa generaattorin tuottama turbulenssi on verrannollinen virtausmäärään, minkä takia niillä on jo suunnitteluvaiheessa määritetty optimaalinen toiminta-alue. Ajettaessa perälaatikon mitoituksen ylärajoilla turbulenssi ei ehdi vaimentua huulikanavassa riittävästi. Tästä johtuen massa virtaa rauhatomasti viiralle, ja seurauksena on vanainen paperirata. Myös liian alhainen perälaatikon virtaama saattaa aiheuttaa vanaisuutta. Massalajin muutos saattaa aiheuttaa vanaisuutta, vaikka perälaatikon laskennallista kapasiteettia ei ylitettäisikään. Eri massalajeilla on erilaiset turbulenssin vaimennusominaisuudet, joten pyörteily ei välttämättä ehdi vaimentua huulikanavassa riittävästi. /1; 11; 12; 20/

3.1.3 Kuituorientaatiovanat

Laimennussäätöistä perälaatikkoa pidetään ratkaisuna suuremman mittakaavan neliömassa- ja kuituorientaatio-ongelmiin. Näin ollen pienemmän mittakaavan viat tulevat entistä olennaisemmiksi. Kuituorientaatiovanat saattavat aiheuttaa vakavia laatuongelmia. Ne näkyvät yleensä niin sanottuina tiikeriviiruinä tasoviirakoneen viirapuolella, mutta kitaformerikoneilla vanat saattavat olla molemminpuolisia. Orientaatiovanat syntyvät huulisuihkun paikallisista nopeuseroista kuvan 3.2 mukaisesti. Ne säilyvät tai saattavat jopa vahvistua arkin muodostuksessa. Orientaatiovanat ovat ongelma erityisesti paperi- ja kartonkilajeille, joilta halutaan alhaista vetolujuussuhdetta. Tämä kuvaus sopii Äänekosken paperiin, jossa vetolujuussuhdetavoite on lajista riippuen noin 2. /12/

Kuvassa 3.2 on esitetty kuituorientaatiovanan muodostuminen ajettaessa vähän (vasen puoli) ja paljon (oikea puoli) tasaperästä poikkeavalla suihkusuhteella. Koska puukuitu kutistuu kuivuessaan enimmäkseen vain paksuussuunnassa, kuituorientaatiovanat saat-

tavat aiheuttaa voimakasta paikallista kutistumaa. Ohuet paperilajit saattavat tästä syystä käyristyä paikallisesti. Korkeammilla neliöpainoalueilla tämä ei ole ongelma, koska rainan rakenne on vahvempi. Päälylystyspasta absorboituu paperiin orientaatiovanan kohdalla eri tavalla kuin ympäristössä. Tämä aiheuttaa pienimittakaavaista päälylysteen neliömassan vaihtelua. Vikaa ei välttämättä huomaa heti päälylytyksen jälkeen, vaan tulee selvästi näkyviin vasta superkalanteroinnin jälkeen. Pahimmillaan häiriö saattaa aiheuttaa sen, että konerullan pinta muistuttaa kalanteroinnin jälkeen pyykkilautaa. /12/



Kuva 3.2 Kuituorientaatiovanan muodostuminen ajettaessa vähän (vasen puoli) ja paljon (oikea puoli) tasaperästä poikkeavalla suihkusuhteella /12/

3.1.4 Muut vaikutukset

Käynnistyksistä ja massan lämpötilan vaihtelusta seuraa muodonmuutoksia, joiden takia ylä- ja alahuulen alue on termостоitava profiilivikojen ja vanojen välttämiseksi. Yhden sadasosamillimetrin muutos huuliaukon yhdessä säätöruuvissa merkitsee 0,1–0,2 g/m² kuivapainomuutosta paperissa. Nykyaikaisissa perälaatikoissa termostointi on välttämätön vanaisuuden välttämiseksi. /20/ Äänekosken PK2:n perälaatikon huulet ovat termостоituja. Huulen lämpötila on riippuvainen massan lämpötilasta, ja sen asetusarvo on 3 °C tulevan massan lämpötilaa korkeampi. Tämä on pitkällä aikavälillä kokeilemalla hyväksi havaittu arvo.

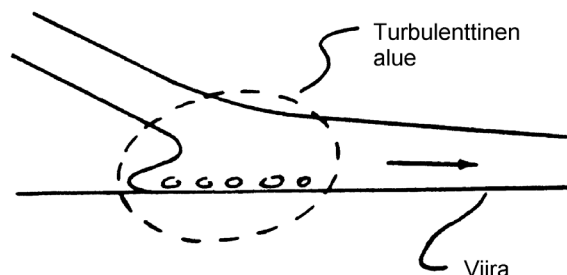
Ylä- ja alahuulen viat näkyvät huuliaukon vaihtelun vuoksi vanaisuutena paperissa. Pysyviä muotovirheitä saattaa aiheuttaa ylähuulten vierekkäisten säätökarojen säätö ylisallittujen rajojen. Alahuulen aaltomaisuus ja muut viat vaikuttavat huulisuihkun isku-

kohtaan ja iskukulmaan. Huulen tasainen likaisuus aiheuttaa stabiileja vanoja paperiin. Yksittäisen ja ison lian jälki näkyy massakerroksessa viuhkamaisena. /16; 20/

Huulen säätöruuvien tiheys on kasvanut profiilinsäätölaitteiden ja –algoritmien kehityksen myötä. Keskuslaboratorion tutkimusten mukaan säätöruuvien jako on hyvin harvoin tullut poikkisuuntaisissa jaksollisuuksissa esiin. Tiheämmän ruuvijaon etu onkin sen, että sillä pystytään korjaamaan kapeampia vanoja. Olennaista säätöruuvissäädössä on havaita, että yhden säätösauvan aiheuttama vaste riippuu mm. sulpun ominaisuuksista, koneen nopeudesta ja vedenpoistosta. Tämä, ja rainan siirtymä sekä kutistuminen paperin kuivatuksen aikana pitää mahdollisuuksien mukaan huomioida säätöalgoritmissa. Neliömassaprofiilin säätöalgoritmit eivät poista kaikkia poikkisuuntaisia aallonpituuksia. Ne saattavat aiheuttaa paperiin kapeaa tai leveää vanaisuutta, vaikka säädön kokonaisvaikutus olisikin positiivinen. Toimilaittejaon tihentyessä kohdistus (mapping) on entistä tärkeämpää, jotta korjaukset pystytään kohdistamaan tarkasti oikeaan paikkaan. /20; 21/

3.1.5 Huulisuihkun iskugeometria

Huulisuihkun iskugeometrian on todettu sekä synnyttävän vanoja että vahvistavan perälaatikosta tulevia, esimerkiksi vanavesiefektistä johtuvia vanoja. Perälaatikosta tulevia vanoja vahvistavaksi tekijäksi on todettu olevan takaisinvirtaus, joka kitkan vaikutuksesta pysähtyy nopeasti ja siirtyy liikkuvan viiran mukana kulkevaan pääkerrokseen kuvan 3.3 mukaisesti. Huulisuihkun sisältämät vanat voivat vahvistua myös niin, että huulisuihkun annetaan liikaa laskeutua rintatelan jättöpuolen imuvaikutuksen alueelle. /20/



Kuva 3.3 Takaisinvirtaus huulisuihkun osuessa liikkuvaan viiraan /20/

Perälaatikosta saattaa tulla huulisuihkun yläpintaa häiritsevää turbulenssia. Tämä epätasaisuus saattaa vahvistua huulisuihkussa ja iskukohdassa. Kyseistä ilmiötä kutsutaan aaltovahvistukseksi. Se voi vahvistaa vanaisuuden ja massasuihkun pinnan satunnaisen epätasaisuuden lisäksi perälaatikosta tulevia konesuuntaisia jaksollisia häiriöitä. Yihin ja Linin esittämän matemaattisen teorian mukaan aaltovahvistus syntyy kiihtyvyyksimuutoksista, joita tapahtuu suihkun osuessa viiralle. Suihkun pinnan epätasaisuus muuttuu vapaan suihkun pituuden, iskukulman ja nopeuden mukaan. /20/

Suihkun osuessa viiralle rintatela vuolee osan siitä ja suuntaa sen alaspäin. Liikemäärän säilymislain mukaan osa suihkusta saa pystysuoran nopeuskomponentin, mikä näkyy roiskumisena heti viiraosan alussa. Tämä pystysuora nopeuskomponentti tulee saada mahdollisimman pieneksi massan hyppäämisen estämiseksi. Jos rintapöytä on pystysuunnassa liian kaukana alahuulesta, iskukulma kasvaa, häiriöt vapaan suihkun aikana vahvistuvat ja massan hyppääminen lisääntyy. /20/

3.2 Formeriosa

Reuna-aalto

Varsinkin raskaita paperilajeja ajettaessa tasoviiran alkupäähän joudutaan asentamaan reunaviivaimet tai viiran reunoja on nostettava massan valumisen estämiseksi. Molempien keinojen seurauksena massakerrokseen syntyy heijastusten vuoksi reuna-aalto. Sen vaikutus neliömassaprofiilissa näkyy reunan lähellä olevina ohuempina kohdina, mikä tulee ottaa huomioon profiilinsäädön laskenta-algoritmeissa. /20/ Äänekosken PK2:n viiraosan alussa viiran reunoja on nostettu hieman, ja massan valumista estetään lisäksi viiran molemmin puolin sijaitsevilla suihkuilla.

Viiraosan vedenpoistoelimet

Viit rintapöydän listoissa ja muissa vedenpoistoelementeissä aiheuttavat herkästi neliömassa-, kosteus- ja formaatiovianoja paperiin. Vikojen vaikutukset ovat voimakkaimmillaan viiraosan alkuosassa. Vierekkäisten keramiikka-elementtien asennus eri

tasolle voidaan laskea vedenpoistoelementtien vikoihin. Neliömassaprofiilin hallintaan mahdollisesti käytettävien imulaatikoiden poikkisuuntainen lohkojako saattaa näkyä lopputuotteessa vanoina tai profiilivikana. Viiraosan alkupään vedenpoistoelinten viat ja likaantuminen aiheuttavat paikallisia retentiovaihteluita, jotka näkyvät lopputuotteessa kosteusvanoina. Imutelan vaurioituminen tai tukkeutuminen sekä vedenpoistoelementtien laatikoiden täyttyminen niin, että veden pinta koskettaa viiran alapintaa, aiheuttavat kosteusvanoja ja kosteusprofiilivirheitä. /20/

Viirat

Viiran ominaisuuksilla, etenkin poikkisuuntaisella jäykkyydellä ja kireysprofiililla, voidaan vaikuttaa vanojen syntyyn. Tasainen kireysprofiili on suurelta osin viiran ominaisuus. Viirasta johtuvia vanoja saattaa syntyä riittämättömän tuennan tai levityksen, pesusuihkujen tai vedenpoistoelementtien vikojen seurauksena. Tukkeutunut pesusuutin aiheuttaa viirakudokseen ympäristöstä eriävän läpäisykyvyn ja sitä kautta paperiin muodostuu neliömassa- ja/tai kosteusvana. /12; 20/

Viirujen vanoittumista aiheuttavat liian suuret tai riittämättömät konesuuntaiset kireyserot. Kireyserot taas syntyvät viiran vinoudesta käynnistyksessä, väärästä bombeerauksesta, massan kiertymisestä palautusteloille ja imulaatikoiden tai imutelan paikallisesta tukkeutumisesta. Bombeerauksella tarkoitetaan telan keskiosan ja päiden ulkohalkaisijoiden eroa. Viiran löystyessä imulaatikoiden jälkeen siihen saattaa muodostua konesuuntaista poimuilua. Ylittäessään palautustelan viiraan saattaa syntyä pysyvä vana. /11; 12; 16; 20/

3.3 Puristinosa

Puristintelat

Puristinosalla kosteusvanoja aiheuttavat telojen kulumat tai valmistusviat, telojen urien tai reikien tukkeutuminen ja elastisella materiaalilla pinnoitettujen telojen poikkisuuntainen paksuus- ja kovuusprofiili. Pinnoitteen paksuus- ja kovuusvaihtelu aiheuttaa

kuormituksen alaisena poikkisuuntaista lämpötilavaihtelua ja sitä kautta telahalkaisijan ja ominaisnippipaineen muuttumista. Tällöin lämpimämmässä kohdassa materiaali pehmenee, telanippi levenee ja ominaispintapaine alenee. Tällä on vaikutusta vedenpoistoon, ja ilmiö saattaa näkyä vanoina lopputuotteessa. Rainan poikkisuuntainen lämpötilavaihtelu johtaa samaan lopputulokseen. /20/

Puristinhuovat

Puristinosan huopien likaantuminen vaikeuttaa veden poistumista rainasta huopaan. Huovan kapea-alainen tukkeutuminen voi johtua korkeapainesuihkujen tukkeutumisesta. Tällöin huopa ei puhdistu pesuvaiheessa kunnolla. Muiden puristinosan suihkujen tukkeutuneisuus saattaa aiheuttaa huopien kulumista ja sitä kautta vanaisuutta. /20/

Kosteusprofiilin säätölaitteet

Kosteusprofiilin säätölaitteet (taipumasäätöiset telat, infrapunakuivattimet ja höyrylaatikot) eivät ole jatkuvasäätöisiä, vaan ne on jaettu poikkisuuntaisiin lohkoihin. Tämä lohkojako tai säätölaitteiden vajaatoiminta saattaa joissain olosuhteissa tulla näkyviin paperin kosteusprofiilissa. Parempi ratkaisu paperin kosteusprofiilin hallintaan ovat erilaiset kostutusjärjestelmät, joissa poikkisuuntainen kosteuden säädön tarkkuus on tiheän suutinjaon ansiosta paljon parempi kuin edellä mainituissa säätölaitteissa. /12; 20/ Tosin kostutusjärjestelmissäkin omat ongelmansa, joita on mainittu kappaleessa 3.4.

Rainan lämpötila

Viiraosan höyrylaatikko saattaa aiheuttaa niin voimakkaan poikkisuuntaisen lämpötilavaihtelun, että puristinosan vedenpoisto on häiriintynyt veden pintajännityksen ja viskositeetin muutosten seurauksena. Melko pienilläkin, suuruudeltaan 4-5 °C, lämpötilavaihteluilla ennen kuivatusosaa on merkitystä kuivatusosan jälkeisen kosteusprofiilin kannalta, vaikka kosteusprofiili ennen kuivatusosaa olisi hyvä. /20/

3.4 Kuivatusosa

Kuivatusviirat

Kuivatusviirojen avulla hallitaan rainan kutistumista kuivatuksen aikana koneen pituus- ja poikkisuunnassa ja tuetaan rainaa. Niiden tarkoituksena on myös parantaa lämmön siirtymistä puristamalla rainaa sylinteriä vasten ja muodostaa kanavia, joita pitkin höyry pääsee poistumaan. Kahden viimeksi mainitun seikan epätydyttävä toiminta saattaa johtaa kosteusvanoihin ja kosteusprofiilivikoihin. Viirojen valmistuksesta johtuvat poikkisuunnan vaihtelut, viiran poikkisuuntaiset kireysvaihtelut tai viirojen tukkeutuminen rainasta irronneen kuitu- ja täyteainemateriaalin takia saattavat aiheuttaa kosteusvanoja. /20/

Kuivatussylinterit

Lämmön siirtymiseen sylinterin pinnasta paperiin vaikuttavat lauhdekerroksen paksuus, sylinterin vaipan paksuus ja kontaktilämpövastus sylinterin pinnasta paperiin. Kuivatussylinterin aiheuttamat kosteusviat johtuvat lämmönsiirtokerroimen muuttumisesta ja sitä kautta paperiin siirtyvän kuivatusenergian muutoksista. Lämmönsiirtokerrotimeen vaikuttavat sylinterien ulkopinnan likaisuus, kaavarien aiheuttamat urat, sisäpinnan lika ja urat, lauhteenpoiston toteutus sekä mahdolliset lämpölistat. Sylinterin likainen pinta saattaa alentaa lämmönsiirtokerrointa jopa 8 %. /20/

Kostutuslaitteet

Kostutuslaitteilla pyritään saavuttamaan haluttu keskimääräinen kosteustaso sekä korjaamaan kosteusprofiilia. Kostutuslaitteet saattavat aiheuttaa kosteusvanoja, mikäli sumun pisarakoko ei ole riittävän pieni tai jos suuttimia ei ole riittävästi. Sumutuskohdassa vallitsevat ilmavirtaukset vaikuttavat siihen, kostuuko paperi tasaisesti. /20/

3.5 Päällystys

Päällystyksessä syntyvistä vanoista osa on todellisia päällystemäärävanoja, jotka voidaan todeta rullaimella yleensä lämpötila- tai kosteusvanoina ellei niitä poisteta korjauslaitteilla. Päällystemäärästä johtumattomat kosteus- ja lämpötilavanat tulevat yleensä näkyviin vasta jälkikäsittelyn yhteydessä. Kolmas päällystyksen vanatyypit ovat optiset vanat, jotka syntyvät esimerkiksi päällysteen sideaineen vaelluksesta, ja saattavat tulla esiin vasta painatuksessa vaihtelevana painovärin absorptiona. /20/

Pohjapaperin ominaisuuksista johtuvat vanat

Teräpäällystyksessä päällystettä siirtyy niihin kohtiin enemmän, joissa on pienempi neliömassa. Terä myötäilee leveää neliömassavanaa paremmin, joten ne eivät vaikuta merkittävästi päällystemäärän muodostumiseen. Myös pohjapaperin huokoisuus- ja siileysvaihtelut vaikuttavat päällystemäärän suuruuteen. /20/

Sively- ja vastatelasta johtuvat viat

Sivelytelajuovat ovat kapeita, yhdensuuntaisia juovia, jotka sijaitsevat lähellä toisiaan. Ne johtuvat pastan liian korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta tai viskositeetista, jolloin terä ei pysty tasoittamaan päällystettä. Myös vastatelan urat saattavat olla syynä juoviin. Vastatelan poikittainen kovuusvaihtelu aiheuttaa poikittaissuuntaista päällystemäärävaihtelua. Kovuusvaihtelu on seurausta huolimattomasta telan pinnoituksesta. /20/

Märkävanat

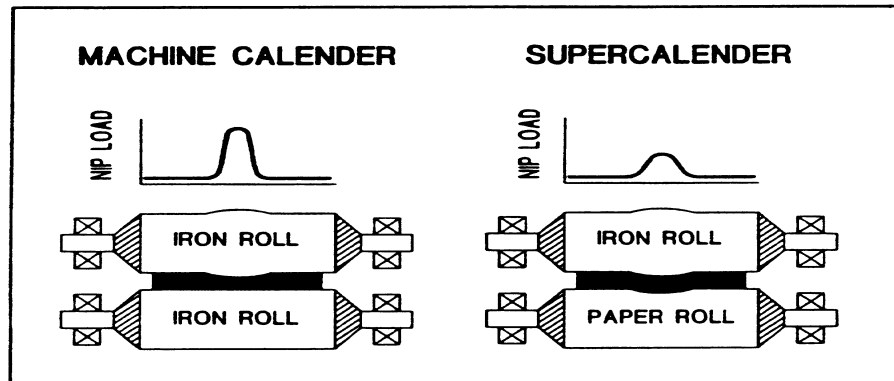
Märkävanat ovat yli 3 mm leveitä päällystejuovia, jotka näkyvät ympäröivää päällystettä opaakimpina, eli läpinäkymättömämpinä. Superkalanteroinnin jälkeen ne ovat kiiltävämpiä kuin muu päällyste ja absorboivat painoväriä huonommin. /20/

3.6 Kalanterit

Paksuusprofiilin säätö

Kalantereilla voidaan pienentää paksuusprofiilin virheitä ja paksuusvantoja. Lämmityksellä tai jäähdytyksellä tapahtuva paksuuden säätö on tehokkaampaa konekalanterilla kuin superkalanterilla. Tämä voidaan havaita kuvasta 3.4. Superkalanterissa ja softkalanterissa kovan telan halkaisijan kasvaessa pehmeä tela muotoutuu uudestaan kyseiseltä kohdalta. Konekalanterissa molemmat telat ovat kovia, eikä tätä ilmiötä esiinny.

/20/



Kuva 3.4 Paksuuden säätö kone- ja superkalanterilla. /20/

Rainan mukana tullut lämpö

Rainassa esiintyvä ympäristöstä eroavan lämpötilan omaava vanakohta aiheuttaa kalanteriteloihin halkaisijamuutoksen lämpölaajenemisen takia. Tämä lämpötilavana aiheuttaa siten vanan ilmenemiskohtaan paksuusvanan. Lämpötilavanat eivät välttämättä esiinny samoissa kohdissa kuin kosteusvanat. /20/

Elastisen pinnoitteen paksuusvaihtelu

Elastinen materiaali kehittää rasituksen alaisena runsaasti lämpöä sisäisen kitkan takia. Lämmönkehitykseen vaikuttavat materiaalin kimmokerroin ja häviökerroin, kerroksen paksuus, nipissä tapahtuvan muodonmuutoksen suuruus ja kuormitustaajuus. Rainan poikkisuunnassa paksuudeltaan vaihteleva elastinen pinnoite lämpiää ja siten laajenee rasituksen alaisena epätasaisesti aiheuttaen paksuusprofiilivikoja tai paksuusvantoja.

Paksuusvaihtelu voi syntyä telarungon viasta tai pinnoitekerroksen epätasaisuudesta. Myös pinnoitteen kovuuden vaihtelu telan poikkisuunnassa aiheuttaa samanlaisia seureauuksia kuin pinnoitteen paksuusvaihtelu. /20/

Vyöhykesäädetyt telat

Vyöhykesäädettyjen telojen ulko- ja sisälämpötilojen ero saattaa olla huomattava. Ulkopinta lämpiää rainan mukanaan tuoman lämmön ansiosta. Telan sisällä olevan öljyn lämpötila on usein selvästi alempi. Liukukenkien jäähtyysvaikutus on erilainen kengän keskikohdassa kuin vierekkäisten kenkien välissä. Näistä syistä telan vaipan muoto voi muuttua niin, että telan halkaisija on kengän kohdalla eri kuin kenkien välissä. Tämä voi näkyä poikkisuuntaisena jaksollisena paksuusvaihteluna. Yksittäisten kenkien viat ovat myös mahdollisia paksuusvian aiheuttajia. /20/

4 MITTAUSLAITTEISTON ESITTELY

4.1 Honeywell Measurex Da Vinci –laadunohjausjärjestelmä

Nykyaikaisessa paperinvalmistuksessa tuotteen laatua pyritään valvomaan ja säätämään koko prosessin aikana. Paperituotteen laatua on jo yli 20 vuoden ajan varmistettu paperikoneeseen asennetuilla, yleensä poikkiradan traversoivilla jatkuvatoimisilla online-mittareilla ja niitä välittömästi hyödyntävillä laadun säädöillä. Laboratorion valmistamia tarkistusnäytteitä käytetään silti edelleen hyväksi varmistamaan tuotteen laatua. Paperin ominaisuudet vaihtelevat kone- ja poikkisuunnassa sekä epäsäännöllisesti eri suunnissa. Tämän takia tuotteen ominaisuuksia on pystyttävä mittaamaan reaaliaikaisesti. Vaihtelut on kyettävä erottamaan toisistaan, jotta paperin tasainen laatu olisi mahdollista saavuttaa tehokkailla säädöillä. Nykyään poikkisuunnan vaihteluihin kiinnitetään entistä enemmän huomiota, koska asiakkaat haluavat yhä korkealaatuisempaa ja vähemmällä kustannuksella tuotettua paperia. Tehokkaalla poikkisuunnan säätöjärjestelmän avulla voidaan taata korkea laatu koko tuotettavan rainan leveydeltä. /5/

Äänekosken PK2:lle on asennettu Honeywell Measurexin Da Vinci –laadunohjausjärjestelmä, jonka tehtävänä on mitata ja kerätä tarkasti prosessitiedot, esittää ne selkeästi käyttäjille ja prosessi-insinööreille sekä mahdollistaa trendihistoria ja tilastanalyysi sekä tulostaa raportit prosessin hallinnan tehostamiseksi. Da Vinci –järjestelmää käytetään ainoastaan mittaamiseen. Honeywell Measurexin Total Plant Alcont –järjestelmä saa mittaustiedot Da Vinci –järjestelmästä ja toteuttaa niiden perusteella kone- ja poikkisuuntaiset säädöt. Järjestelmään kuuluu paperikoneen, päällystyskoneen sekä superkalantereiden Precision Platform -mittapalkit sekä niihin sijoitetut skannerit, tietokoneet tietojen käsittelyä ja hallintaa varten sekä itsenäinen lähiverkko. /3/

Paperikoneen ja päällystyskoneen mittapalkkien sijainnit on esitetty liitteissä 1 ja 2. Paperikoneella on kolme palkkia: kuivatusosan jälkeen, päällystysasemien välissä sekä ennen rullainta. Päällystyskoneella on viisi palkkia: aukirullauksen jälkeen, jokaisen päällystysaseman välissä sekä ennen kiinnirullainta. Superkalantereilla mittapalkki sijaitsee ennen kiinnirullainta. Softkalanterilla ei ole mittapalkkia. /3/

Skannerit ovat asennettuina mittapalkkeihin, jossa ne liikkuvat edestakaisin paperiradan yli eli traversoivat. Mittapalkit tarjoavat skannereille niiden tarvitseman sähkön, paineilman, jäähdytysveden sekä yhteydet laadunohjausjärjestelmään. Mittapalkkeja on tehtaalla seuraavasti: paperikoneella kolme kappaletta, päällystyskoneella viisi kappaletta ja superkalantereilla yksi kummallakin. Skannerissa olevilla antureilla voidaan mitata:

- neliöpainoa
- kosteutta
- tuhkaa
- paksuutta
- kiiltoa
- väriä
- formaatiota
- karheutta
- ilma-aukon lämpötilaa

Kaikki skannereiden anturimittaukset saadaan heijastusspektriä lukuun ottamatta profiilimuodossa, jolloin voidaan tarkastella paperin laatua kone- ja poikkisuunnassa. /3; 20/

Neliöpainoanturi

Neliöpainoanturi mittaa paperiradan neliöpainon (paino per pinta-ala, sisältää kosteuden) radioaktiivisen β -säteilyn avulla. Sen etuna on, että eri aineet absorboivat säteilyä lähes samalla tavalla. Näin saadaan luotettava neliöpainomittaus riippumatta mitattavan materiaalin laadusta. β -säteilyn lähde on yleensä promethium-147 (Pm-147), krypton-85 (Kr-85) tai strontium-90 (Sr-90). β -säteilyn maksimienergia ja sitä kautta läpäisykyky riippuvat säteilylähteestä. Edellä mainituista strontium tuottaa läpitunkevimman säteilyn. Äänekosken neliöpainoantureissa käytetään krypton-147. Sen sovellusalue on 0-760 g/m². Skannerin yläpäässä sijaitseva betasäteilijä lähettää elektronivirtauksen, jossa on suurella nopeudella liikkuvia elektroneja. Näitä kutsutaan beta-hiukkasiksi. Hiukkasten läpäistessä paperin rata absorboi osan niistä. Alapään vastaanotin kerää ja tunnistaa paperin läpäisseet hiukkaset, muuttaa ne sähkösignaaliksi ja edelleen jännitteeksi. Paperin paksuus ja tiheys määräävät siihen imeytyvien hiukkasten määrän. Paksuus kerrottuna tiheydellä on massa per yksikköalue, jota yleisesti kutsutaan neliöpainoksi. Mittauksessa on huomioitava anturin kalibrointi ja standardointi, ilmaisimen ikkunaan kertynyt lika, säteilylähteen heikentyminen ja mahdollinen mittauselektroniikan liukuminen. /3; 9; 20/

Kosteusanturi

Kosteutta voidaan mitata neljällä menetelmällä. Näitä ovat resistiivinen mittaus, kapasitiivinen menetelmä, mikroaaltomenetelmä ja infrapunamittausmenetelmä. Näistä viimeksi mainittu on ylivoimaisesti käytetyin kosteusmittaus paperituotteille. Infrapunamittaus perustuu siihen, että vesi absorboi 1,9 mikrometrin infrapuna-aallonpituutta paremmin kuin toisia. Honeywellin järjestelmässä suoritetaan kolme mittausta: 1,9 ja 1,8 mikrometrin aallonpituudella paperin kanssa sekä 1,8 mikrometrin aallonpituudella ilman paperia. 1,8 mikrometrin aallonpituudella tapahtuvien mittausten avulla poistetaan kosteusmittauksesta häiriötekijät, kuten paperin neliöpaino, lika

ja paperista aiheutuvat valon heijastumat. Kyseessä olevalla läpäisevällä mittauksella voidaan mitata tuotteita, joiden kosteus on alle 20 %. Infrapunavalon heijastukseen perustuvat mittaukset pystyvät mittaamaan korkeampia kosteuspitoisuuksia. Alapäässä oleva infrapunavalon lähde ohjaa valon paperin läpi. Yläpään tunnistimet sieppaavat paperin läpäisseen valon. Aallonpituudet, joihin paperilla on ollut vaikutus, analysoidaan ja saatuja tietoja käytetään kosteuden määrittämiseen. Infrapunamittausta voidaan käyttää neliömassa-alueella 5-300 g/m². /3; 7; 20/

Paksuusanturi

Paksuusanturi perustuu magneettiseen reluktanssiin ja antaa tasaista ja tarkkaa tietoa paperin paksuudesta. Ilmalla toimiva kalvo pakottaa oskillaattorikäänin paperin yläosaa vasten ja laittaa levyn paperin alaosaan vasten. Kyseessä on siis koskettava mittaus. Paperia koskettavat osat ovat safiiria, timanttia tai ferriittiä. Kun paperin paksuus vaihtelee, muuttuu myös levyn ja käänin välinen etäisyys, mikä muuttaa käänin induktanssia ja siten myös oskillaattorin taajuutta. Pulssit lasketaan mikropiirilaskureilla ja tietokone muuttaa lukemansa tulokset paksuuslukemiksi. /3; 20/

Värianturi

Värianturi mittaa liikkuvan paperin hajaheijastusta 81 pisteessä ultraviolettin ja näkyvän valon spektrialueella (350-750nm). Näin päästään 5 nanometrin tarkkuuteen. Värianturi tuottaa mittauksesta heijastusspektrin, Lab-värikoordinaatit, kirkkaus- ja fluoresenssiarvot. /3/

Formaatioanturi

Formaatiomittaus perustuu läpäisevän valon voimakkuuden vaihteluun, joka aiheutuu epätasaisesta paperiradasta. Paperirata ei ole tasalaatuinen, vaan siinä on paikallisia epätasaisia kohtia, jotka voi silmin erottaa ”flokkeiksi”. Nämä epäjatkuvuuskohdat aiheuttavat paperin opasiteettiin vaihtelua, joka voidaan havaita läpimenneen valon intensiteetin muuttumisena. Korkeamman opasiteetin omaavien alueiden kohdalta valoa tulee vähemmän läpi. Valon voimakkuuden vaihtelun avulla voidaan määrittää flokkien ilmenemistä kuvaava suure Flocc Intensity eli flokki-intensiteetti. Valon alueellisen

vaihtelun perusteella voidaan määrittää epätasaisten kohtien kokoa kuvaava Floc Size eli flokkikoko. Tällainen online-formaatiomittaus ei siis vastaa laboratorio-olosuhteissa tehtävää beta-formaatiomittausta, jossa mitataan pienimittakaavaista neliöpainon vaihtelua betasäteilyn avulla. /6; 11/

Kiiltoanturi

Paperin kiillolla tarkoitetaan paperin pinnasta heijastunutta valoa, jonka tulo- ja lähtökulmat ovat samat. Kiillon voimakkuus mitataan paperin pintaan tulleen valon ja siitä heijastuneen valon intensiteettien suhteena. Kyseessä on optinen mittaus, joten optiikan likaantuminen ja muut mittausta häiritsevät tekijät tulee ottaa huomioon lopullista tulosta laskettaessa. Yleisimmät mittauskulmat ovat DIN-standardin mukaiset 45° ja 75°. Korkeakiiltoisille pinnoille käytetään ensiksi mainittua. Lisäksi on olemassa TAPPI-standardi. DIN- ja TAPPI-standardit eroavat toisistaan pääasiassa valonsäteen geometrian perusteella. Honeywellin kiiltoanturi mittaa paperin kiillon jollakin kolmesta edellä mainituista standardeista. Äänekosken PK2:lla kiilto mitataan TAPPI75-standardin mukaisesti. Anturi huomioi mittauksissa häiriötekijöitä, joita voivat olla esimerkiksi optiikan likaisuus. Tämä on toteutettu siten, että kiillolle ja optiikan likaisuudelle on omat mittaukset. Molemmille mittauksille on mittauskanava ja referenssi-kanava. Referenssi- ja optiikan puhtausmittauksia käytetään lopullisen tuloksen korjaamiseen. Da Vinci –järjestelmän kiiltoanturi kykenee mittaamaan kiillon välillä 20–100 yksikköä. Mittapähän kuuluu ilman pyörteilyyn perustuva paperiradan stabiloija, joka pyrkii pitämään radan vakioetäisyydellä mittapäästä sekä estämään radan huojunnan ja heilumisen. /8/

Tuhka-anturi

TAPPI T4130M80 –standardi määrittelee tuhkan seuraavasti: ”Tuhka on se osa paperista, joka jää jäljelle, kun paperi on poltettu 900±25 °C:n lämpötilassa.”. Käytännössä tuhka tarkoittaa paperin sisältämää täyte- ja päällystysaineena käytettyä epäorgaanista ainetta, kuten kaoliinia, kalsiumkarbonaattia ja titaanidioksidia. Tuhkapitoisuutta mitataan röntgen- tai gammasäteilyn avulla. Äänekoskella on käytössä röntgensäteilyyn perustuva mittaus. Säteilylähde on sijoitettu alapäähän, ja vastaanotin yläpäähän. Ylä-

pään ionisaatiokammiossa paperin läpäissyt röntgensäde muutetaan jännitesignaaliksi. Signaalin vahvistuksen jälkeen jännite muutetaan taajuussignaaliksi. Tietokone muuttaa taajuuspulssit tuhkapitoisuuslukemiksi huomioiden pohjapainon, ilmavälin lämpötilan ja kosteuden vaihtelut. Tuhkapitoisuus ilmoitetaan prosentteina neliöpainosta. /10; 20/

Ilma-aukon lämpötila-anturi

Lämpötilamittauksen päätarkoitus on korjata ne painonmittausvirheet, jotka aiheutuvat päiden välisen ilmapatsaan tiheyden muutoksista. Siksi ilma-aukon anturit on asennettu neliöpainoanturin suuntaisiksi. Lämpötila mitataan avulla paperiradan molemmilta puolilta. Lukemat yhdistetään, ja niistä lasketaan ilma-aukon lämpötilan keskiarvo. Mittaus tapahtuu 100 kilo-ohmin termistorin avulla. Termistori on kytketty käyttövahvistimeen niin, että vahvistimen tuottama vahvistus muuttuu ilman lämpötilan vaihdeltaessa termistorin resistanssin mukaisesti. /3/

4.2 Tapio RQP –kovuusprofiilimittari

Työssä käytetty kovuusmittari on Tapio RQP (Roll Quality Profiler). Se on tarkoitettu nopeaan ja tarkkaan paperi- ja konerullien kovuusprofiilimittaukseen. Laitteisto käsittää keskusyksikön (kannettava tietokone) ja käsikäyttöisen mittauspään. Mittauspää sisältää kovuusmittarin ja etäisyysanturin. Etäisyysanturin avulla mittaus voidaan kohdistaa tiettyyn pisteeseen. /14; 26/

Kovuusmittaus perustuu jousivoimalla aiheutettuun törmäykseen testipintaa vasten. Kiihdytetty kappale kimpoaa takaisin törmättyään pintaan. Tästä lasketaan pinnan kovuus. Kovuusmittarin iskutaajuus on 10 kertaa sekunnissa. Mittausresoluutio on siten riippuvainen mittauspään etenemisnopeudesta. /14; 26/ Laitteen suurin tarkkuus on yksi tulos senttimetriä kohti.

Valmistaja ilmoittaa laitteen virhemarginaaliksi kolme arvoa, koska virheen suuruus on riippuvainen mittausalueesta. Arvot ovat saatu mittaamalla samaa pintaa 1000 kertaa siirtämättä mittapäätä. Virhemarginaali on laskettu jakamalla keskiarvo keskihajonnalla. Taulukossa 4.1 on esitetty mittausalue ja sitä vastaava virhemarginaali. /14/ Laitteen kehittäjä painotti sähköpostikeskustelussamme laitteen mittaavan vain suhteellista, ei absoluuttista kovuutta.

Taulukko 4.1 Tapio RQP –kovuusmittarin virhemarginaalit /14/

Keskiarvo	Keskihajonta	Minimiarvo	Maksimiarvo	Virhemarginaali
16,75	0,69	15,19	18,6	4 %
117,15	2,36	110,08	123,33	2 %
209,23	3,62	200,95	220,48	1,7 %

5 MITTAUKSET

Mittausaineistoa kerättiin 31.1.2005-3.4.2005 välisenä aikana sekä Honeywellin Da Vinci –järjestelmän mittapalkeilta että Tapio RQP –kovuusprofiilimittarilla. Mitattavia paperilajeja olivat mattalaadut ASA-170 ja ASA-300 sekä kiiltävät lajit AGA-115, AGA-170 ja AGA-300. Kiiltotasoa kuvaavan kirjainsarjan jälkeen oleva numero kertoo lopputuotteen neliöpainon [g/m²].

Tulosten luotettavuuden parantamiseksi tarkasteluun pyrittiin ottamaan kolme peräkkäistä paperikoneelta valmistunutta konerullaa yhtä paperilajia kohti. Katkoista tai muista häiriöistä johtuen tavoitteeseen ei aina päästy. Mitattuja konerullia kertyi yhteensä 15 kappaletta. Lukuisista yrityksistä huolimatta paperilajin ASA-115 mittaus ei onnistunut.

5.1 Mittapalkkien profiilien tallennus

Tarkastelun alaisia profiileja olivat paperikoneella tuhka, vaaleus, neliöpainot eri vaiheissa, kuivapainot eri vaiheissa, kosteus eri vaiheissa, päällystemäärät erikseen ja yhteen laskettuna, flokkikoko ja flokki-intensiteetti. Listassa mainitut 'eri vaiheet' tarkoittavat paperin ominaisuuksia ennen päällystystä, ensimmäisen päällystysten jälkeen sekä toisen päällystysten jälkeen. Kaikkiaan paperikoneelta tallennettiin 16 profiilia. Päällystyskoneen mittapalkeilta tallennettiin kuivapainot, neliöpainot, kosteudet ja päällystemäärät eri vaiheissa. Päällystyskoneelta tallennettiin kaikkiaan 19 profiilia. Superkalanterilla tallennettiin kiilto molemmin puolin, neliöpaino, kuivapaino ja kosteus. Softkalanterilla ei ole mittapalkkia.

Honeywellin mittapalkeilta saa tallennettua mittaustietoja joko 128 tai 1024 paperiradan poikkisuunnan pisteen tarkkuudella. Käyttäjä voi itse määrittää mittausrésoluution ja profiilit, jotka halutaan tallentaa. Jokainen valittu profiili tallentuu omaan tekstitiedostoonsa. Tekstitiedostojen muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan lokitiedostoksi.

Yhden lokitiedoston koko on rajattu neljään megatavuun. Käytetyllä 128 pisteen tarkkuudella lokitiedostoon saatiin mahtumaan koko konerullan tiedot. Tallennettujen profiilien suuresta lukumäärästä johtuen 1024 pisteen tarkkuus olisi riittänyt vain pieneen osaan konerullan pituudesta.

Mittapalkki mittaa aina 1024 pistettä, mutta keskiarvoistaa tulokset 128 pisteeksi. 1024 pisteen mittauksessa mittaussalkioiden välimatka on asetettu Da Vinci -järjestelmässä 4 mm:ksi. Näin ollen 128 pisteen tarkkuudella tapahtuvan mittauksen tulosten välimatka on 32 mm.

Työn alkaessa arvioin kovuusprofiilimittauksen ulottuvan noin 10 minuutin ajoaikaa vastaavan paksuuden syvyyteen konerullan pinnasta. Raskaammilla paperilajeilla paperin suurempaa paksuutta kompensoi hitaampi ajonopeus, joten 10 minuutin ajoaika tuottaa lähes yhtenevän mittauspaksuuden paperilajista riippumatta. Päällystyskoneen

mittapalkit poistuvat radalta kolme minuuttia ennen lentävää rullanvaihtoa. Superkalantereilla mittapalkki poistuu radalta koneen saavuttaessa järjestelmään asetetun miniminopeuden. Mittauksista käytettiin silti 10 minuutin keskiarvoja. Oletuksena on, että tallennettu 10 minuutin keskiarvo kuvaa kattavasti myös viimeisiä minuutteja.

5.2 Kovuusprofiilimittaus

Kovuusprofiilimittarin mittaustarkkuus riippuu mittapään etenemisnopeudesta. Mittapäättä riittävän hitaasti liikuttaessa mittari antaa tuloksen jokaiselle senttimetrille. Suurimman tarkkuuden saavuttamiseksi mittapäättä liikutettiin mahdollisimman hitaasti. Mittapään muotoilusta johtuen konerullasta jää mittaamatta mittaussuunnassa 35 mm oikeasta ja 55 mm vasemmasta laidasta. Mittaustuloksen luotettavuuden parantamiseksi sama konerulla tai muutto mitattiin samasta kohdasta neljä kertaa. Tarkkana kovuusprofiilina käytettiin näiden mittausten keskiarvoa.

Mittapalkkien tallentamien profiilien ja kovuusprofiilin vertailua varten kovuusprofiilista laskettiin 128 pisteen tarkkuuteen sopiva liukuva keskiarvo. Mittapalkkien profiilien 32 mm:n jaosta seuraa, että liukuva keskiarvo otettiin seuraavalla senttimetriajaksoituksella: 0, 3, 6, 10, 13, 16, 19, 22, 26 jne.

Esirullauksen ansiosta kovuusmittaus tapahtuu paperikoneen ja päällystyskoneen jälkeen rullan pinnasta. Superkalanteroitaessa päällystyskoneelta valmistuneen rullan pinta rullataan konerullan pohjalle, joten superkalanterilla mitattu kovuusprofiili ei ole suoraan verrattavissa aiempiin mittauksiin. Mitattua kovuusprofiilia voi verrata superkalanterin mittapalkilta tallennettuun dataan.

Myös mittaussuunta on otettava huomioon. Paperikoneen ja päällystyskoneen hoitopuolet ovat samat. Jälkikäsitelyssä konerullan käännökset tulee ottaa huomioon siten, että kaikki mittaukset käännetään samaan suuntaan (hoitopuolelta käyttöpuolelle), jotta kovuusprofiilin suunta vastaisi mittapalkkien mittauksia.

Ensimmäisten mittausten aikana mittasin myös konerullien leveyksiä. Näin yritettiin välttää paperin kuivatuskutistumasta aiheutuvaa virhettä. Paperin kutistuminen oli kuitenkin niin pientä (suuruusluokkaa 5 mm), että tässä mittaustarkkuudessa sen merkitys on olematon.

Pituusleikkurilla on huomioitava reunanauhojen vaikutus. Mittasin reunanauhojen leveydet mittanauhalla. Tulosten perusteella keskitin valmiin muuton kovuusprofiilin vastaamaan konerullasta mitattua kovuusprofiilia. Aiemmissä käsittelyvaiheissa (esirullaimella, päällystyskoneella ja kalanterilla) ei reunanauhoja leikata.

6 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

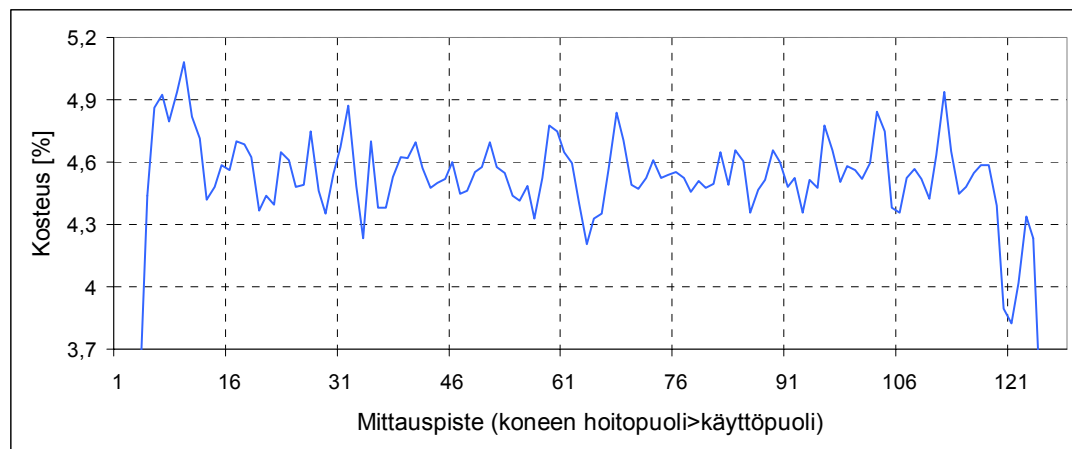
Tulokset käsiteltiin Microsoft Excel 2002 -ohjelmistolla. Yksittäisiä mittauspisteitä kertyi yhteensä noin 13 miljoonaa. Suuren datamäärän käsittelemiseksi käytin tilastollista tietojenkäsittelyä. Tutkimuksessa käytetty analyysimenetelmä oli korrelaatio. Korrelaation avulla tein karkeat johtopäätökset mittaustulosten riippuvuussuhteista. Tarkemman tarkastelun suoritin tutkimalla kaavioita visuaalisesti ja tuloksista luotuja trendejä vertailemalla.

Mittapalkeilta tallennetut mittaustulokset tallentuvat tekstitiedostoon, jokainen profiili omaansa. Tekstitiedostossa rivin ensimmäisenä on mittauksen tallennusaika. Tämän jälkeen ovat mittaustulokset siten, että ensimmäinen mittaustulos sijaitsee hoitopuolella tarkasteltavasta koneesta riippumatta. Tekstitiedostot syötettiin Exceliin niin, että kaikki yhdestä konerullasta mitatut profiilit olivat yhdessä Excel-työkirjassa kukin omissa laskentataulukossaan. Tallennetuista profiileista laskettiin viimeisen 10 minuutin keskiarvot. Kyseiset keskiarvot siirrettiin uuteen työkirjaan. Luotuun työkirjaan koottiin yhden konerullan kaikkien profiilien viimeisten 10 minuutin keskiarvot. Joissakin tapauksissa on käytetty joko yhden tai useamman kokonaisen konerullan keskiarvoa.

6.1 Paperikoneen mittaukset

Saaduista korrelaatiokertoimien arvoista voidaan havaita laadunhallintajärjestelmän vaikutus ja pyrkimykset tasalaatuisen paperiin. Kaikki mittapalkeilta tallennetut suu-reet, joihin voidaan vaikuttaa poikkisuunnan säädöillä, saavat suuren korrelaatioker- toimen kovuusprofiilin kanssa, vaikka todellisuudessa suureen vaikutus kovuuteen on pieni. Vaaleus ja tuhka saivat pienimmät arvot. Lisäksi tallennettujen suureiden keski- näiset korrelaatiokertoimet ovat huomattavan korkeita. Tämä tekee mittaustulosten tar- kastelusta vaikeaa, koska korrelaatiokertoimen perusteella oli tarkoitus tehdä alustavat valinnat tarkempien tarkastelujen kohteeksi otettavista profiileista.

Paperikoneen mittauksista suurinta huomiota herätti kuivatusosan jälkeinen kosteus- profiili. Kuvassa 6.1 on esitetty kuuden konerullan keskiarvoistettu kosteusprofiili. Ky- seessä on päällystämätön pohjapaperi, jonka neliöpaino lopputuotteena on 300 g/m². Kosteusprofiilin minimi- ja maksimiarvon erotus on 1,3 %-yksikköä. Lisäksi virhe on huomattavan pitkäkestoinen, koska se näkyy kuuden konerullan keskiarvossa.

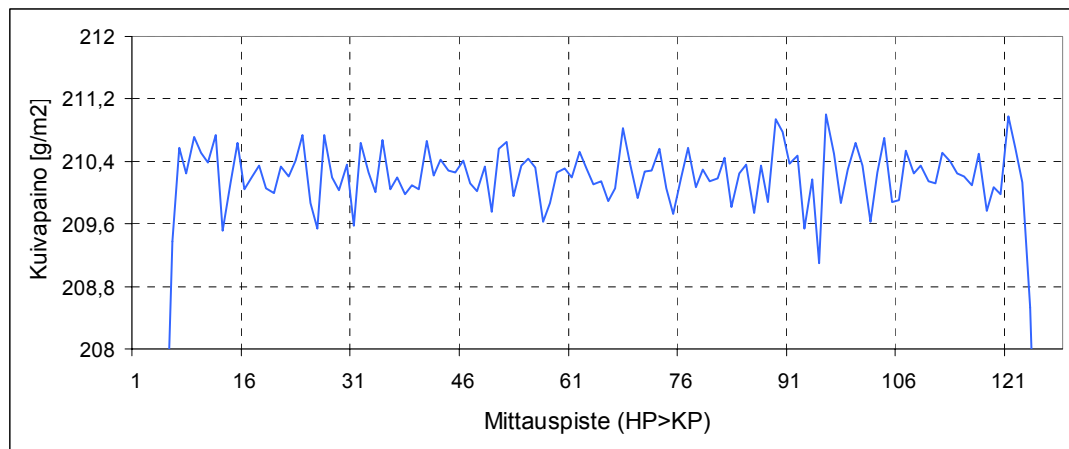


Kuva 6.1 Kuivatusosan jälkeinen keskiarvoistettu kosteusprofiili konerullista 05020740-05020745 (AGA-300 ja ASA-300)

Kuvissa esiintyvä x-akselin suuntainen 15 mittauspisteen jako vastaa 48 cm etäisyyttä. Mittauspisteitä on kokonaisuudessaan mittapalkin mukaisesti 128. Kuvaajan reunoissa

esiintyvät nolla-arvot aiheutuvat siitä, että mittapalkki mittaa 4,06 metrin leveyttä ja radan leveys on noin 3,8 metriä. Koko kuvaajan leveys on siis 4,06 metriä.

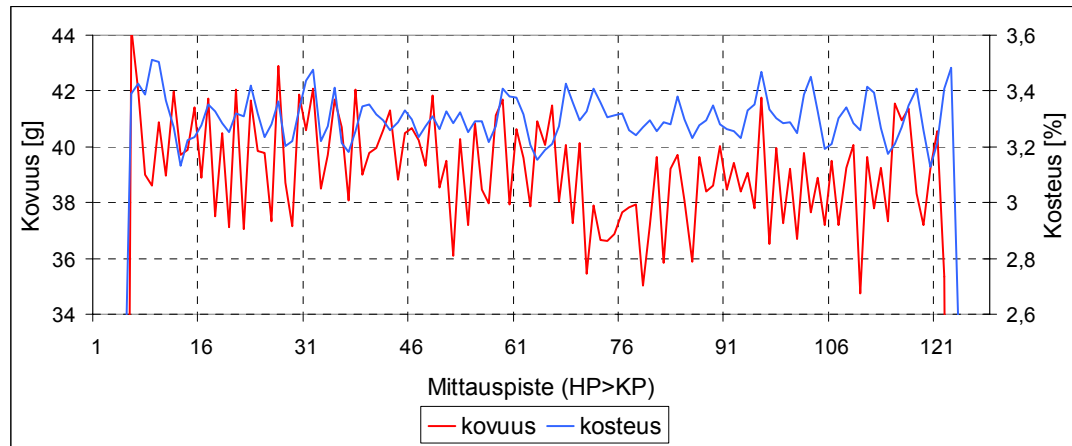
Vastaavasti paperin kuivapaino samassa kohdassa on erittäin tasainen. Kuvassa 6.2 esitetty keskiarvoistettu kuivapainoprofiili konerullista 740-745 osoittaa, että poikkeamat keskiarvosta ovat pahimmillaankin vain 1 g/m^2 eli noin 0,5 %.



Kuva 6.2 Kuivatusosan jälkeinen keskiarvoistettu kuivapainoprofiili konerullista 05020740-05020745 (AGA-300 ja ASA-300)

Paperikoneen rullaimella kosteusprofiilin virhe on lieventynyt päällystykseseen liittyvien kuivaimien profiilinsäädön ansiosta, mutta pohjapaperin kosteusprofiililla on silti vaikutus valmiin konerullan kovuusprofiiliin, kuten kuvasta 6.3 voidaan havaita.

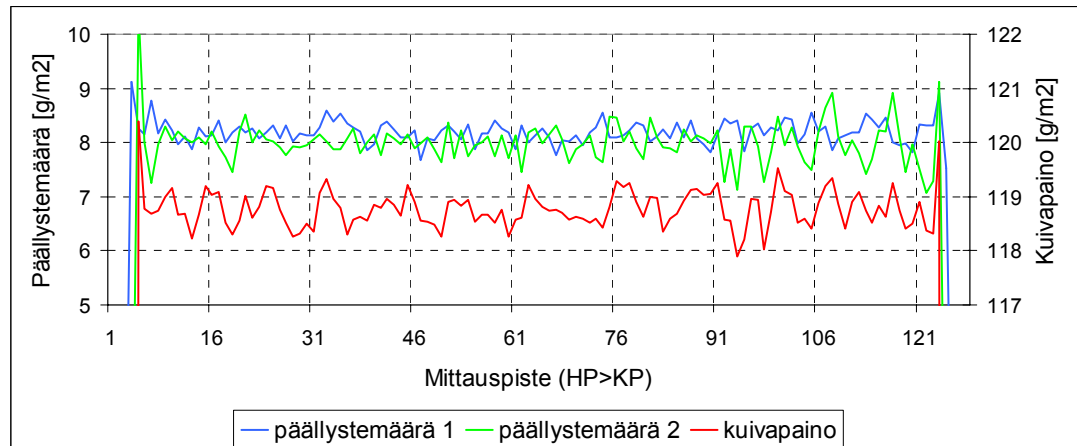
Kuivatusosan jälkeisen kosteusprofiilin virhe näkyy myös muiden paperilajien mittaus-tuloksissa yhtä selvästi. Esimerkiksi ASA-170-lajilla kolmen konerullan kosteusprofiilien keskiarvossa on minimiarvon ja maksimiarvon erotus 2 %-yksikköä.



Kuva 6.3 Konerullan 05020744 (ASA-170) viimeisen 10 minuutin keskiarvo kosteusprofiilista rullaimen mittapalkilta ja valmistuneesta konerullasta mitattu kovuusprofiili

Kaikissa tapauksissa rullaimen kosteusprofiili on tasaisempi, mutta suurimmat poikkeamat näkyvät siellä edelleen. Päällistyksen jälkeiset infrapunakuivaimet eivät pysty korjaamaan virhettä kokonaan joko sen suuruuden tai kapea-alaisuuden vuoksi. Jos profiilissa on aivan vierekkäin erittäin kuiva ja erittäin kostea kohta, säätölaitteet tulkitsevat keskiarvon olevan hyvä, eivätkä siksi puutu profiiliin.

Paperikoneella tapahtuvan online-päällistyksen päällistemääräprofiilit ovat hyvät. Teräviä, päällistemäärävirheitä aiheuttavia päällistemäärän virheitä ei juurikaan ole havaittavissa. Todella harvoin päällistemäärän virheet kohdistuvat täsmälleen samaan kohtaan. Tämä lieventää virheiden vakavuutta. Useamman gramman päällistemäärävirheet näkyvät rullaimen kuivapainoprofiilissa, kuten kuvasta 6.4 voidaan havaita. 2. aseman hoitopuolella oleva päällistemäärän virhe on $3,5 \text{ g/m}^2$ ja käyttöpuolella $1,5 \text{ g/m}^2$ verrattuna päällistemäärän keskiarvoon. Virheet sijaitsevat aivan konerullan reunassa, joten ne jäävät pituusleikkurin reunanauhoihin. Tässä tapauksessa virhe ei täten vaikuta lopputuotteen laatuun, mutta saattaa aiheuttaa ajettavuusvaikeuksia seuraavissa prosessivaiheissa.



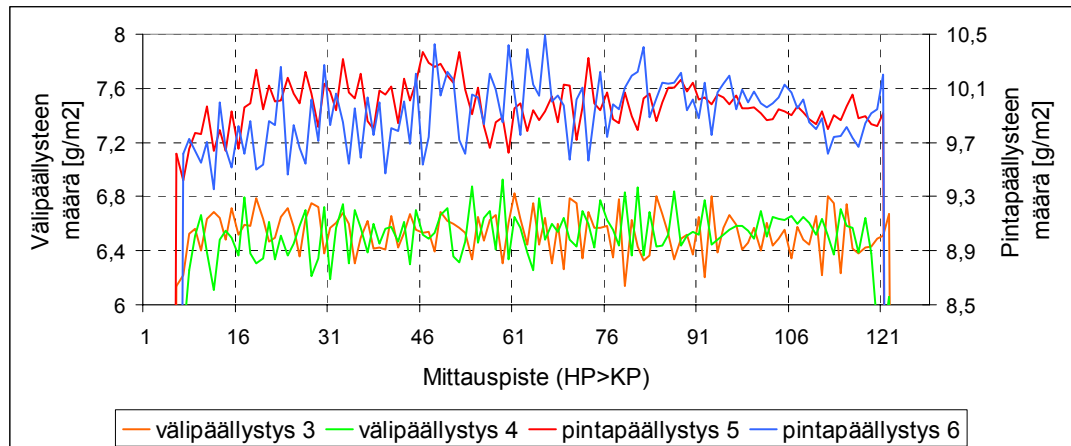
Kuva 6.4 Konerullan 05020541 (AGA-170) päälystemääräprofiilit asemilla 1 ja 2 sekä rullaimelta mitattu kuivapainoprofiili

Suureilla, joihin ei voida aktiivisesti vaikuttaa poikkisuunnan säädöillä, ei ollut vaikutusta valmiin konerullan kovuusprofiiliin. Tällaisia suureita ovat tuhka, vaaleus, flokkikoko ja flokki-intensiteetti. Tuhkan määrä sekä flokkisuus muotoutuvat perälaatikkovirtauksen perusteella.

6.2 Päälystyskoneen mittaukset

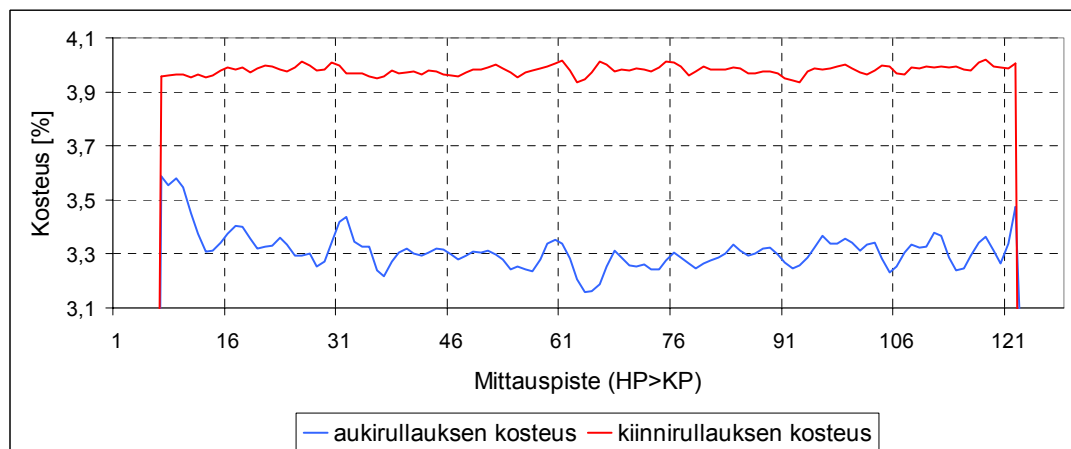
Päälystyskoneella välipäälystysasemat 3 ja 4 ovat automaattisäätöisiä, kun taas pinta-päälystysasemat 5 ja 6 ovat käsiasäätöisiä. Tämä näkyy myös mittauksissa, kuten kuvasta 6.5 voidaan havaita. Asemien 5 ja 6 päälystemäärän hajonta on huomattavasti suurempaa kuin asemien 3 ja 4. Tämä on havaittavissa myös muilla paperilajeilla. Vainaisuutta aiheuttavaa kapeaa päälystemäärän vaihtelua ei ole juurikaan havaittavissa millään paperilajilla.

Tässäkin tapauksessa olennaista on se, että päälystemäärän kapea-alaiset vaihtelut eivät kohdistu samaan kohtaan eri asemilla, joten niiden vaikutus rullaimen kuivapaino- ja kosteusprofiileihin on pieni.



Kuva 6.5 Konerullan 05040072 (AGA-115) päällystyskoneen eri asemien päällystemääräprofiilit

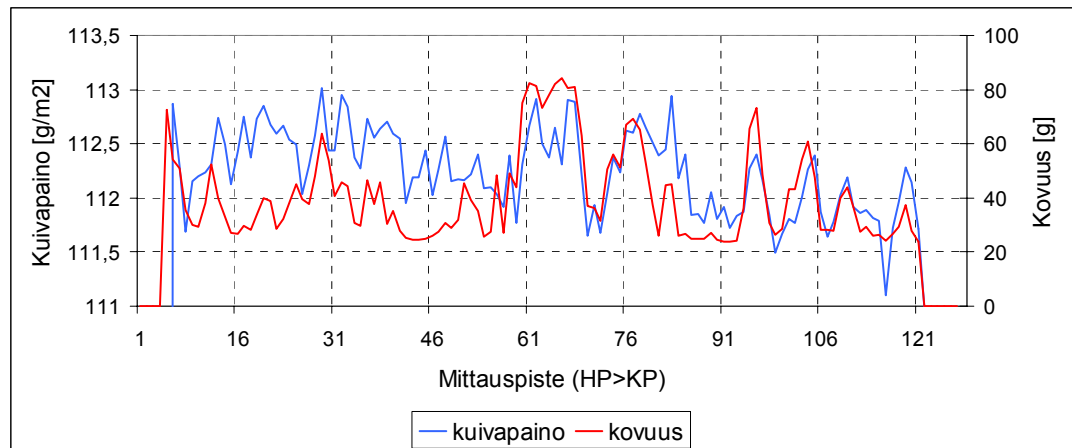
Päällystyskoneella on paljon kosteusprofiilin säätölaitteita. Paperikoneelta tulevia kosteusprofiilin virheitä voidaan lieventää päällystyskoneen toimilaitteilla. Näiden vaikutus näkyy selvästi kuvassa 6.6, jossa on esitetty päällystyskoneen aukirullauksen ja kiinnirullauksen kosteusprofiilit. Virhe lievenee päällystyskoneen aikana, joten lopputuotteessa se ei ilmene.



Kuva 6.6 Päällystyskoneen kosteusprofiilit auki- ja kiinnirullauksessa konerullasta 05020742 (AGA-300)

6.3 Superkalanterin mittaukset

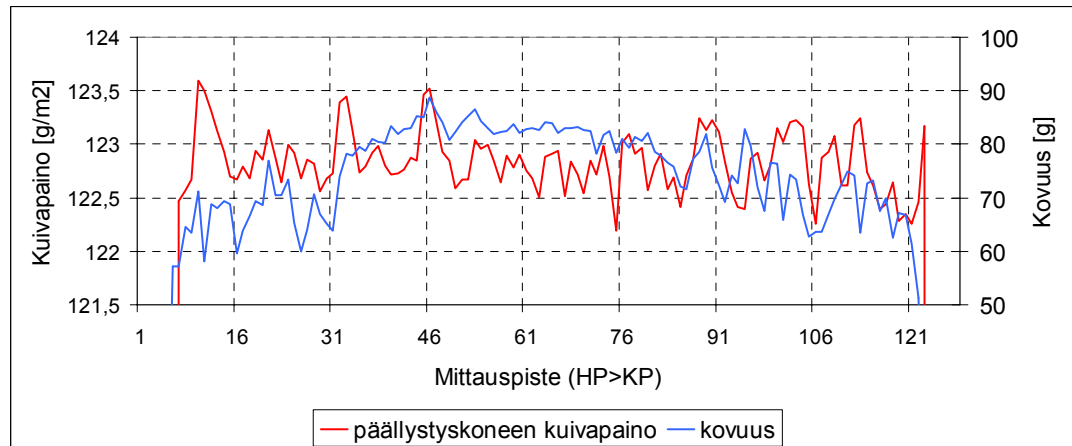
Superkalanterilla kalanteroitumistulos on voimakkaasti riippuvainen paperin paksuudesta. Paperin paksuus pyritään säätämään vakioksi kuivatusosan jälkeisellä konekalanterilla. Tämän jälkeen paksuuteen vaikuttaa lähinnä päällystemäärä. Kuvasta 6.7 voidaan havaita päällystemäärästä johtuvan kuivapainopiikin vaikutus konerullan kovuusprofiiliin. Kuvassa näkyvä kuivapainoprofiilin virhe tulee päällystyskoneen 6. asemalta. Kiiltoprofiilit seurailevat kovuus- ja kuivapainoprofiileja, mutta niiden poikkeamat keskiarvosta eivät ole yhtä dramaattisia kuin kovuusprofiilin. Muidenkin paperilajien mittaukset tukevat havaintoa, että pienilläkin kuivapainomuutoksilla on suuri vaikutus superkalanterilta valmistuvan konerullan kovuusprofiiliin.



Kuva 6.7 Konerullan 05040069 (AGA-115) kuivapaino ja kovuus SC5:llä

6.4 Mattakalanterin mittaukset

Mattakalanterilla ei ole mittapalkkia. Kovuusmittaus suoritetaan paperi- ja päällystyskoneeseen verrattuna paperiradan toisesta päästä. Näin ollen ainoa järkevä vertailukohta mattakalanterin kovuusprofiilille on päällystyskoneen rullaimelta mitattu koko konerullan keskiarvoistettu kuivapainoprofiili. Mattakalanterin jälkeinen kovuusprofiili muokkaa kuivapainoprofiilia, mutta ei yhtä jyrkästi kuin superkalanterilla.

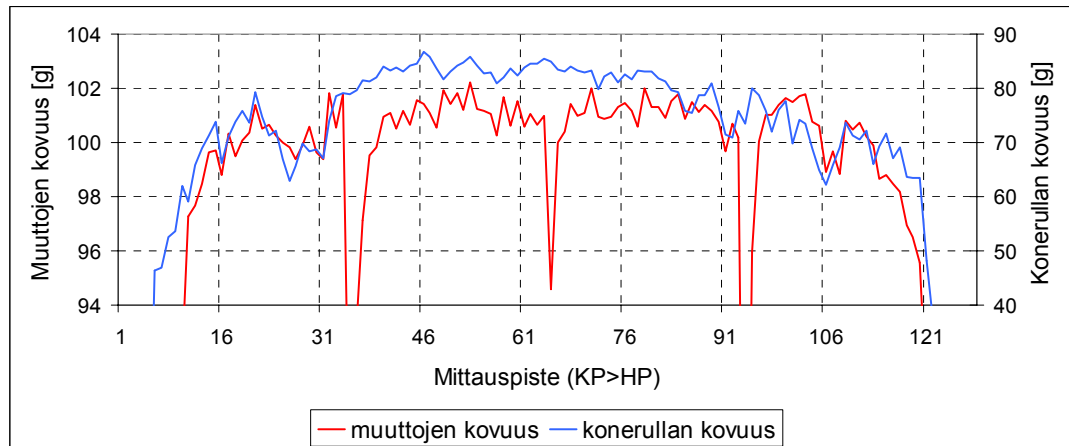


Kuva 6.8 Päälystyskoneen rullaimelta mitattu kuivapainoprofiili sekä mattakalanterin jälkeinen kovuusprofiili konerullasta 05011087 (ASA-170)

Huomion arvoista mattakalanterilta mitatuissa kovuusprofiileissa on niiden muoto, joka vaihtelee paperilajin mukaan, mutta on kullekin lajille tyypillinen. ASA-170-lajilla muoto on kaareva, reunoihin laskeva. ASA-300-laji taas on keskeltä pehmeä ja laidoilta kovempi.

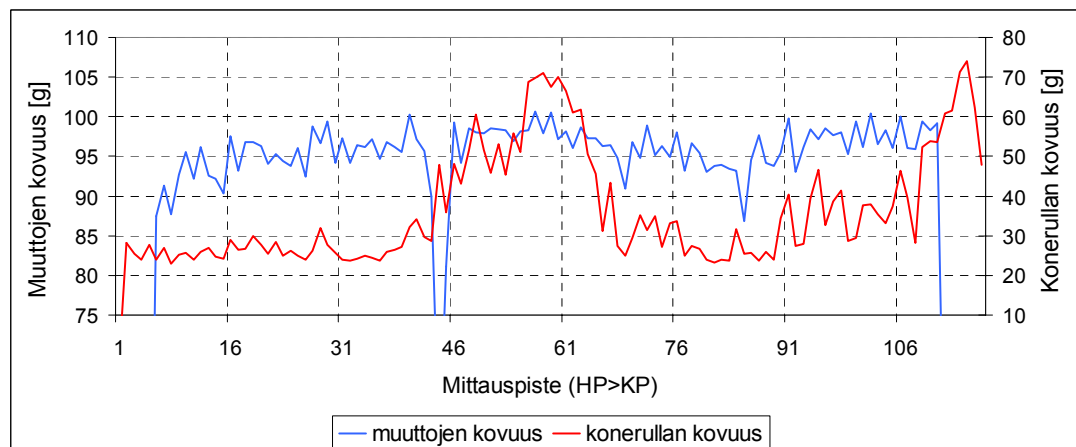
6.5 Pituusleikkurin mittaukset

Mattakalanterilta tulevien konerullien kovuusprofiili näkyy myös pituusleikkurilta valmistuvissa muutoissa. Kuvassa 6.9 on esitetty pituusleikkureilta valmistuneiden muuttojen kovuuksien keskiarvo ja mattakalanterin jälkeisten kovuuksien keskiarvo konerullista 05011086-05011088. Muuttojen kovuusprofiilissa näkyvät jyrkät kohdat johtuvat asiakasrullien väliin jäävästä tilasta. Reunarullat ovat kovuusprofiililtaan selvästi vinoja. Tämä ilmiö toistuu myös muilla mattalajeilla.



Kuva 6.9 Pituusleikkurilta valmistuneiden muuttojen kovuuksien keskiarvo ja mattakalenterilla mitattujen konerullien keskiarvo konerullista 05011086-05011088 (ASA-170)

Superkalanterin jälkeinen kovuusprofiili ei vaikuta suuresti asiakasrullan kovuusprofiiliin. Konerullasta 05020539 superkalanterin jälkeen mitattu kovuusprofiili ei juurikaan näy asiakasrullien kovuusprofiileissa, kuten kuvasta 6.10 voidaan havaita.



Kuva 6.10 Konerullan 05020539 kovuusprofiili SC5:llä ja konerullasta pituusleikattujen muuttojen kovuusprofiilien keskiarvo

Konerullan suurista kovuusprofiilin virheistä huolimatta asiakasrullat ovat kovuudeltaan tasaisia. Sama ilmiö on havaittavissa myös muilla kiiltävillä paperilajeilla.

7 OMAT PÄÄTELMÄT JA JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Vanaisuusongelmaan löytyy harvoin vain yksi ainoa syytekijä. Yleensä vana syntyy usean tekijän yhteisvaikutuksesta. Suorittamieni mittausten ja muiden esiin tulleiden tekijöiden perusteella huomio kohdistuu paperikoneen märkään päähän ja kuivatusosalle.

Työn kuluessa kävi ilmi, että perälaatikkoa ajetaan ylikapasiteetilla. Metson toimittamien dokumenttien mukaan perälaatikon turbulenssigenaattori on vaihdettu vuonna 1992. Kyseisen turbulenssigenaattorin mitoitusvirtaaman maksimiarvo on 937 l/s. Ajettaessa kevyimpiä paperilajeja perälaatikkovirtauksen ajoarvot ylittävät valmistajan maksimiarvon jopa yli 20 %:lla. Kaikkien paperilajien aina 200 g/m² lopputuotteen neliöpainoon asti ylittävät perälaatikkovirtauksen maksimiarvon. Tämän voi joissain tapauksissa nähdä lopputuotteessa, sillä eräissä visuaalisen tarkastelun kohteena olleista vanaisista konerullista oli havaittavissa selkeä jako vanojen välillä. Vanojen jako vastasi melko hyvin turbulenssigenaattorin jättöpuolen putkistojakoa.

Formeriosalla olevat foililistat likaantuvat nopeasti. Lika on yleensä sitkeää ja muodostaa foililistan pinnalle kohouman. Kohouma nostaa viiraa ja siten auraa etenevää märkää massavirtaa. Auraus saattaa aiheuttaa kosteus-, kuituorientaatio- ja neliömassavanoja. Toinen kohouman aiheuttama haitta on vedenpoiston häiriintyminen. Listan ollessa puhdas vesi poistuu sujuvasti listan mukana alaspäin. Likaisella kohdalla vesi kimpoaa listasta osittain tulosuuntaan. Voidaan siis olettaa, että vedenpoisto ja retentio eivät ole tasaisia koko radan leveydeltä.

Mittaukset suoritettiin pitkällä aikavälillä. Siitä huolimatta paperikoneen kuivatusosan jälkeinen kosteusprofiili oli jokaisella mittauskerralla huono jopa usean konerullan keskiarvona. Työn aikana suoritettiin puristin- ja kuivatusosalla lämpökamerakuvaus, joka paljasti huomattavia poikkeamia kuivatussylinderien lämpötilaprofiileissa. Myös viiraosalla sijaitsevan höyrylaatikon alitehoisuutta epäillään.

Kosteusprofiilin virheet aiheuttavat paperin eriaikaisen kuivumisen ja siitä johtuvat ongelmat kuivumiskutistuman suhteen. Pohjapaperin kosteusvirheet vaikuttavat päällystystä edeltävään konekalanterointiin aiheuttaen karheuseroja sekä päällystemäärän muodostumiseen, koska pohjapaperin ominaisuudet ovat erilaiset kosteusvanan kohdalla. Useaan kertaan päällystettäessä pohjapaperin kosteusvirhe korostuu entisestään päällystemäärän vaihtelun vuoksi, vaikka kosteusprofiili tasoittuukin päällystyskoneen aikana. Aiempien päällystysasemien applikoima päällystemäärä vaikuttaa seuraavan päällystyksen onnistumiseen paksuus-, karheus- tai neliömassaominaisuuksien takia.

Pienetkin päällystemäärävirheet aiheuttavat superkalanterilla ongelmia ajettavuuden ja konerullan kovuuden suhteen. Neliömassavanat aiheuttavat myös hajontaa kiiltoprofiileissa. Asiakasrullissa näkyvään vanaisuuteen en päällystyksen osalta löytänyt viitteitä.

Jatkotoimenpide-ehdotukset

Vanaisuuden järjestelmällinen tutkiminen voidaan katsoa alkaneeksi Äänekoskella jo vuonna 1999. Tämän jälkeen on suoritettu lukuisia koeajoja ja tehty koeluontoisia muutoksia prosessiin. Merkittävin kokeilu oli prismalistan asennus perälaatikon huulikanavaan vuonna 2000. Verkasalon tekemän selvityksen /22/ mukaan viikon kestäneen prismalistakoeajon aikana kapea orientaatiovanaisuus hävisi ja lopputuotteen visuaalinen vanaisuus oli vähäisempää. Prismalistan aiheuttamat haittavaikutukset olivat kuitenkin niin merkittävät, että koeajo ei aiheuttanut jatkotoimenpiteitä. Muita kokeiltuja keinoja vanaisuuden vähentämiseksi ovat olleet märän pään ajo-olosuhteiden muutokset, kuivatuksen ja päällystyksen osaprosessien muutokset yksittäin ja yhdessä, perälaatikon huuliaukon korkeus, pohjapaperin kosteus ja viirojen oskillointi.

Tämän työn tulosten perusteella pohjapaperin kosteusprofiilin muodostumisesta välillä perälaatikko-kuivatusosan loppu olisi hyvä tehdä perusteellinen tutkimus. Tällä alueella on kokemusteni mukaan paljon epäselvyyksiä ja mahdollisia vanaisuuden aiheutta-

ja. Kosteusprofiilin virheet kaikilla valmistetuilla paperilajeilla ovat merkitseviä paperin jatkokäsittelyn kannalta.

Perälaatikon virtausarvojen perusteella on syytä ryhtyä toimenpiteisiin. Kappaleessa 3.1.2 mainitaan, että ajettaessa mitoituksen ylärajoilla turbulenssigenaattori aiheuttaa vanaisen paperiradan. Havaittu turbulenssigenaattorin mitoituksen ylitys on huomattava, eikä sen vaikutusta vanaisuuteen voi väheksyä.

Laitetoimittajien kanssa käymämme keskustelut toivat esiin uusia ideoita vanaisuuden vähentämiseksi. Metson suosittelema ratkaisu on myötökärkilista. Myötökärkilistan kärki on viistetty vinoksi niin, että viiste on kohti huulikanavaa, eikä kohti formeriosaa kuten normaalisti. Myötökärkilistakoeajo on tätä kirjoitettaessa jo tilattu.

Foililistojen likaantumiseen on vaikeaa vaikuttaa merkittävästi, mutta likaantumisesta aiheutuvia haittoja saattaisi pystyä lieventämään esimerkiksi listojen oskilloinnilla. Paperiradan kerrostuessa rullalle vika ei korostuisi niin paljon, koska vikakohta ei pysy samassa kohdassa.

Työn aikana oli meneillään päällystyksen teräkaavareiden koeajoja. Eri kaavarimateriaaleja kokeilemalla pyrittiin vähentämään päällystyksestä aiheutuvaa vanaisuutta. Perinteisiin peltikaavareihin verrattuna kestävyydeltään ylivoimaisten wolframi-karbidipinnoitettujen terien todettiin aiheuttavan vanaisuutta välipäällystyksessä, minkä takia niiden käytöstä luovuttiin.

Tutkimuksen aikana oli esillä pintapäällystysasemien profiilinsäädön automatisointiin liittyvä investointi. Asia on ollut esillä aiemminkin, mutta päätöksiä asiasta ei olla tehty. Mittausten perusteella automaattinen päällystemäärän säätö tuottaa tasaisemman profiilin kuin käsisäätö. Näin ollen päällystemäärästä johtuvia ajettavuus- ja laatuongelmia voitaisiin ehkä vähentää nykyaikaistamalla pintapäällystysasemat. Automaattisäätöisen pintapäällystyksen vaikutusta vanaisuuteen on vaikea arvioida etukäteen.

Vanaisuusongelman vähentämiseksi on syytä panostaa tutkimustyöhön vielä entistä enemmän. Toivottavasti tämä työ vie vanaisuustutkimusta taas yhden askeleen eteenpäin ja antaa ideoita seuraaville aiheen tutkijoille.

Lähteet

Kirjalliset

- 1 Arjas, Antti. Paperin valmistus. Suomen Paperi-insinööriyhdistyksen oppi- ja käsikirja III osa 1. Toinen täysin uudistettu painos. Suomen Paperi-insinöörien yhdistys ry. 1983. 724 s.
- 2 Hienopaperin valmistus. Puusta paperiin –opetusmateriaali, osa M-504. Metlas Ky. 146 s.
- 3 Honeywell Measurex. Da Vinci –käyttöopas. 1999. 91 s.
- 4 Honeywell Measurex. Da Vinci –laatu-järjestelmä. Äänekosken Taidepaperitehdas. Päällystyskone. Loppudokumentit. 2000. 56 s.
- 5 Honeywell Measurex. Koulutusmateriaali. 35 s.
- 6 Honeywell Measurex. Precision Formation Sensor. User’s Manual. 2002. 49 s.
- 7 Honeywell Measurex. Precision Infrared (IR) Moisture Measurement. User’s manual. 1999. 116 s.
- 8 Honeywell Measurex. PrecisionPLUS Advanced Gloss Sensor 4208. User’s Manual. 1998. 75 s.
- 9 Honeywell Measurex. PrecisionPLUS Basis Weight Sensor. User’s Manual. 1995. 59 s.
- 10 Honeywell Measurex. X-Ray (Ash) Sensor. User’s Manual. 1989. 24 s.
- 11 Häggblom-Ahnger, Ulla; Komulainen Pekka. Paperin ja kartongin valmistus, 3. tarkistettu painos. Kemiallinen metsäteollisuus –kirjasarja. Opetushallitus. 2003. 290 s.
- 12 Kiviranta, Ari; Pakarinen Pekka. A new sight into fiber orientation streaks. Conference publication. 2001. 17s.
- 13 Paulapuro, Hannu. Paperimaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Fapet-kirjasarja. Fapet. Gummerus Jyväskylä. 2000. 461 s.
- 14 Tapio RQP Roll Hardness Profiler. Operating manual ver 1.3. 2004. 12 s.
- 15 Valmet Paper Machinery. SymFlo -perälaatikko. Äänekoski PK2. 1987. 43 s.

- 16 Valmet Oyj. Metsä-Serla Äänekosken tehtaat. Koulutusaineisto. Perälaatikko, alahuulipalkki, viiraosan uusinta, rullaimen uusinta. 2000. 108 s.
- 17 Valmet Oyj. Koulutusmateriaali. Rainanmuodostuksen teoriaa. 1997. 19 s.
- 18 Valmet Oyj. Metsä-Serla Oyj Äänekoski Art Paper Mill. Äänekoski PK2. Formerikirja. Huolto- ja käyttöohjeet. 2000. 95 s.
- 19 Valmet Oyj. Metsä-Serla Äänekosken tehtaat. Perälaatikon huolto- ja käyttöopas. Valmet. 1987. 78 s.
- 20 Valtonen, Erkkä. Hienopaperin kapean vanaisuuden mittaaminen ja ehkäiseminen. KCL seloste 1966. Keskuslaboratorio Oy. 1990. 63 s.
- 21 Vehmas, Sakari. Opintomateriaali. Paperiteollisuuden automaatio. 2004. 109 s.
- 22 Verkasalo, Lauri. Äänekosken paperitehtaan vanaisuuskoeajojen tilanneanalyysi. 1999. 26 s.

Sähköiset

- 23 KnowPap 5.0 -oppimisympäristö. VTT.
- 24 M-real Äänekosken paperitehtaan esittelykalvot.
- 25 M-real Äänekosken paperitehtaan laatujärjestelmäkäsikirja.
- 26 M-real Äänekosken paperitehtaat. Viiraosan vedenpoistomittaus 10.8.2004
- 27 TAPIO Technologies Oy. Kotisivut. www.tapiotechnologies.fi. Luettu 14.2.2005.

