PAPERIKONEEN ONLINE-PÖLYMITTAUKSEN TUOTEKEHITYS

Janne Jänichen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Paperi-, tekstiili- ja kemian-
tekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikka

JANNE JÄNICHEN
Paperikoneen online-pölymittauksen tuotekehitys.

Opinnäytetyö 66 sivua, joista liitteitä 13 sivua
Toukokuu 2013

Tämän opinnäytetyön on teettänyt ACA Systems Oy. Työn kokeellinen osuus suoritettiin Stora Enso Oyj:n Varkauden tehtaalla, jossa mittauksia ja prosessin seurantaa toteutettiin kuukauden ajan. Työn tavoitteena oli tutkia ACA Systemsin kehittämän paperikoneen online-pölymittauslaitteen DPA:n mittauskorrelaatiota todelliseen pölytasoon, reagointia erilaisiin prosessimuuttujiin ja tuotekehitysmahdollisuuksia. Tähän työkaluina käytettiin R.A. Emerson & Companyn mustakangasmenetelmää, paperikoneen prosessien mittausdataa, visuaalista seurantaa ja kokemusperäistä tietoa. Työn teoriaosiossa käsitellään päällystämättömän hienopaperin pölyävyyteen vaikuttavia tekijöitä Varkauden paperiprosessin näkökulmasta.

Paperikoneelle soveltuvasta online-pölymittauslaitteesta ei ole vielä DPA:n kaltaista kaupallista sovellusta. Paperin pölyävyys on hankala suure mitata, mutta koska pöly aiheuttaa paljon ongelmia ja lisäkustannuksia painokoneilla, niin kysyntää toimivalle sovellukselle, ja tarve tuotekehitykselle on olemassa.

Seurannan aikana DPA reagoi selvästi teoriassakin pölytasoa nostaviin prosessimuutoksiin. DPA- ja Emerson-pölymittausmenetelmien välillä havaittiin selkeä tilastollinen korrelaatio. Pienillä ja kohtuullisilla pölytasoilla DPA:n ja Emersonin väliset mittausarvojen erot olivat pieniä ja niiden kasvu oli lineaarista. Suureen pölymäärään DPA reagoi voimakkaasti, ja sen antama pölyarvo nousi moninkertaisesti Emersonin asteikkoon verrattuna. Tämä johtunee siitä, että kun DPA:n suodattimeen kertyy suuremmilla pölytasoilla tietty pölymäärä, niin se tukkii toimielimen suodattimen aiheuttaen nopeasti kasvavan voimakkaan paine-eron, joka on puolestaan verrannollinen DPA:n antamaan pölyarvoon.

Kehittämällä DPA:n mittausaluetta ja toimintavarmuutta, siitä on mahdollista saada hyvä apuväline paperikoneen pölytason seurantaan. Laitetta voitaisiin hyödyntää erityisesti koeajoissa, jolloin päästäisiin kiinni prosessimuuttujien aiheuttamiin pölytasojen muutoksiin. Paperilaji- ja päiväkohtaisesta pölytason seurannasta on apua paperin pölyämättömyyden laadunhallinnassa. Myös reklamaatioiden todellisuutta liiallisesta pölyävyydestä voidaan arvioida tallennetun mittaustiedon perusteella. Työn kokeellisia tuloksia ja havaintoja tullaan hyödyntämään laitteen tuotekehityksessä. Työ sisältää luottamuksellista tausta-aineistoa.

Asiasanat: pöly, pölymittaus, paperikoneen online-mittaus.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Paper Technology

JANNE JÄNICHEN
Development of online device for linting and dusting measurement of the paper machine

Bachelor's thesis 66 pages, appendices 13 pages
May 2013

Al This final thesis has been commissioned by ACA Systems Oy. The experimental part was carried out at Stora Enso Oyj`s mill where the measurements and process monitoring were performed during one month. The aim was to inspected measurement correlation between a paper dust measuring device DPA developed by ACA Systems and actual dust levels. Other objectives were to find out how the device responds to process variables and what are the product development opportunities. In the investigation R. A. Emerson & Company`s black cloth method, processes measurement data of the paper machine, visual observation and empirical data were used. The theoretical section deals with causes of dusting in uncoated fine paper from the perspective of Varkaus mill.

AS yet, here are no online measuring devices like DPA for paper machines. Dusting is a difficult quantity to measure and it caused a lot of problems and additional costs by printing machines. So there is need for a functioning application and product development.

DPA reacts clearly to the same process changes that rise dust level even in theory during follow-up. A clear statistical correlation between DPA and Emerson dust measurement methods was found. The differences between DPA and Emerson were small at low and moderate levels of dust and their growth was linear. DPA reacted strongly to large amounts of dust and the dust value rose manifold compared with the scale of Emerson. This is probably due to the fact that DPA`s filter clogged up with dust at certain amount of dust. This caused a strong pressure difference, which is proportional to the DPA`s value of the dust.

With the development of DPA`s measurement range and reliability it is possible to obtain a good tool for paper dust level monitoring. The device could be used specifically by test runs to got hands on the process variables what caused dust level changes. Paper Type and daily dust level monitoring will help by the quality control of dusting. Also the reality of excessive dusting reclamations can be estimated whit the help of basis measurement data. The experimental results and findings will be used in the device product development. This final thesis contains some confidential information.

Key words: dusting, linting, dust measuring, online measurement of the paper machine.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 6
2 ACA SYSTEMS OY ... 7
3 SELLUPOHJAISET PÄÄLLYSTÄMÄTTÖMÄT HIENOPAPERIT ... 8
4 VARKAUDEN TEHDAS ... 9
4.1 PK3 ... 9
4.2 Sellutehdas ... 9
5 TUOTANTOPROSESSIEN VAIKUTUS PAPERIN PÖLYÄVYYTEEN ... 10
5.1 Massat ... 10
5.1.1 Hylky ... 10
5.1.2 Jauhatus ... 10
5.1.3 Lajittelu ... 11
5.1.4 Massaliimaus ... 12
5.2 Täyteaineet ... 13
5.2.1 Varkauden tehtaan täyteaineet ... 14
5.2.2 Kalsiumkarbonaatti ... 14
5.2.3 PCC ... 15
5.2.4 Nano PCC ... 15
5.3 Paperikone ... 16
5.3.1 Perälaatikko ja viiraosa ... 16
5.3.2 Puristinosa ... 17
5.3.3 Kuivatusosa ... 19
5.3.4 Pintaliimaus ... 21
5.3.5 Kalanterointi ... 24
6 PAPERIN PÖLYÄMISESTÄ AIHEUTUVAT ONGELMAT ... 27
6.1 Pölyongelmat paperikoneella ... 27
6.2 Pölyongelmat painokoneella ... 28
7 KOKEELLISEN OSUUDEN TAUSTAT JA TAVOITE ... 30
8 PÖLYMITTAUSMENETELMÄT ... 31
8.1 R.A. Emerson & Companyn mustakangasmenetelmä ... 31
8.2 ACA Systems Oy:n DPA-online-pölymittaus ... 33
8.2.1 Toimintaperiaate ... 33
8.2.2 Puhdistus ... 34
8.3 Mittausmenetelmien erot ... 34
8.4 Ongelmat ja häiriötilanteet ... 34
9 Pölymittaukset ... 36
9.1 Päiväkohtaiset pölymittaustrendit ... 36

9.1.1 Pieni ja kohtuullinen pölytaso ... 36
9.1.2 Suuri pölytaso ... 38
9.1.3 DPA:n aloituspaineen vaikutus mittaustuloksiin ... 39
9.1.4 Mittaustulokset säätimien vaihdon jälkeen ... 40
9.2 DPA- ja Emerson-pölymittausten korrelaatio ... 42
9.3 Mittausten virhearvio ... 43
9.3.1 Emerson-pölymittausten virhearvio ... 43
9.3.2 DPA- ja Emerson-pölymittausten korrelaation virhearvio ... 43
10 DPA:N REAGOINTI PROSESSIMUUTTUJIIN ... 45
10.1 Koeajo 8.4.2013 ... 45
10.2 Koeajo 11.4.2013 ... 46
11 KEHITYSEHDOTUKSET DPA-PÖLYMITTAUSLAITTEESEEN ... 47
11.1 Mittausaika ... 47
11.2 Mittausalue ... 47
11.3 Aloituspaine ... 47
11.4 Ajonopeuden vaikutus ... 48
11.5 Puhdistus ... 48
11.6 Kehitystyön haasteet ... 48
12 PÖLYNÄYTTEIDEN MIKROSKOPOINTI ... 49
12.1 WFU:n pölynäyte ... 49
12.2 Sanomalehtipaperin pölynäyte ... 50
13 JOHTOPÄÄTÖKSET ... 51
LÄHTEET ... 52
LIITTEET ... 54
Liite 1. Luottamuksellinen ... 54
Liite 2. Luottamuksellinen ... 55
Liite 3. Luottamuksellinen ... 56
Liite 4. Luottamuksellinen ... 57
Liite 5. Luottamuksellinen ... 58
Liite 6. Kaikki mittaustulokset 20.3-16.4.2013 ... 59
Liite 7. Luottamuksellinen ... 61
Liite 8. Luottamuksellinen ... 62
Liite 9. Luottamuksellinen ... 63

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö kuuluu Tampereen ammattikorkeakoulussa suoritettavaan paperiinsinööritutkintoon. Työn tavoitteena on selvittää ACA Systemsin kehittämän paperikoneen online-pölymittauslaitteen DPA:n ja Emersonin mustakangasmenetelmän välistä mittauskorrelaatiota, reagointia erilaisiin prosessimuuttujiin ja tuotekehitysmahdollisuuksia. Työn kokeellinen osuus suoritettiin Stora Enso Oyj:n Varkauden tehtaalla, jossa mittauksia ja prosessin seurantaa toteutettiin kuukauden ajan. Työn teoriaosiossa käsitellään päällystämättömän hienopaperin pölyävyyteen vaikuttavia tekijöitä Varkauden paperiprosessin näkökulmasta.

Paperikoneelle soveltuvasta online-pölymittauslaitteesta ei ole vielä DPA:n kaltaista kaupallista sovellusta. Paperin pölyävyys on hankala suure mitata, mutta koska pöly aiheuttaa paljon ongelmia ja lisäkustannuksia painokoneilla, niin kysyntää toimivalle sovellukselle, ja tarve tuotekehitykselle on olemassa.

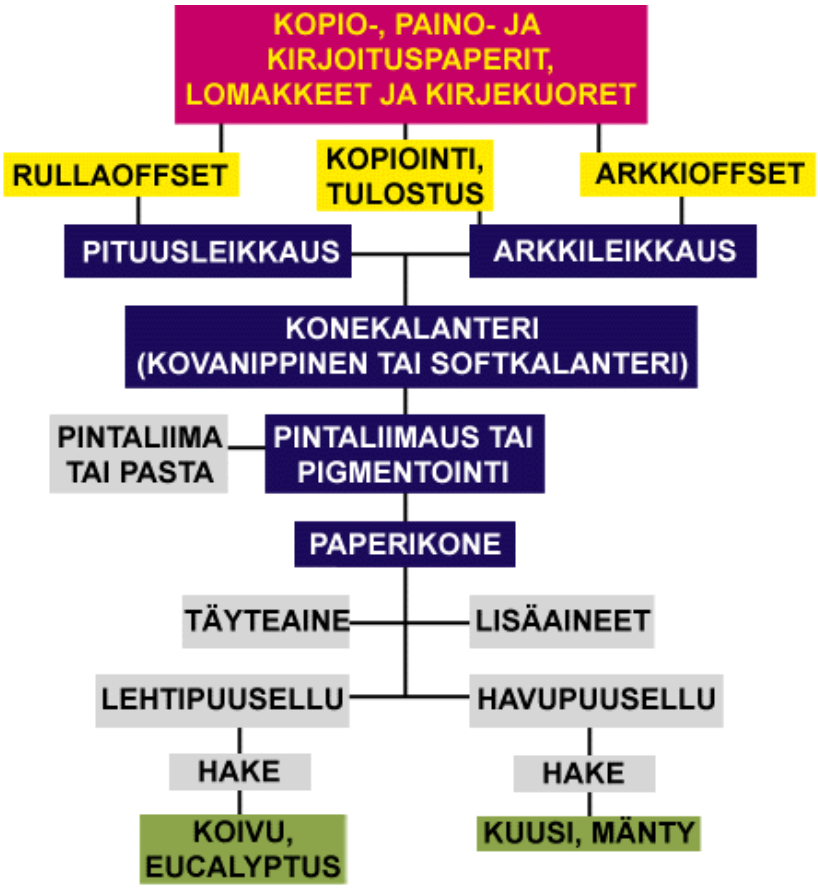
2 ACA SYSTEMS OY

ACA Systems Oy on johtava päällystyspastan viskosimetrien ja huokoisuusanalysaattoreiden valmistaja. Sen tuotteet ovat tunnettuja ympäri maailmaa paperi- ja kemianteollisuudessa. Yritys on perustettu vuonna 1986 ja sijaitsee Polvijärvellä Itä-Suomessa. Yrityksellä on pitkäaikainen kokemus uusista ratkaisuista koneiden ajettavuuden ja laadun parantamisesta, sekä tuotannon tehostamisesta ja kustannusten optimoimisesta. (ACA Systems Oy 2013)

3 SELLUPOHJAISET PÄÄLLYSTÄMÄTTÖMÄT HIENOPAPERIT

Sellupohjaisiin päällystämättömiin hienopapereihin (WFU) kuuluvat mm. kopio-, kirjoitus-, jatkolomake-, piirustus- ja kirjekuoripaperit. Niiden raaka-aineina käytetään 20-80 % valkaistua havupuusellua, 20-80 % valkaistua lehtipuusellua ja ne sisältävät 5-25 % täyteainetta. (KnowPap 12.0 2010)

Päällystämättömille hienopapereille on tavallista pintaliimaus ja kalanterointi kone- tai softkalanterilla. Jatkojalostuskohde on lajista riippuen rulla- tai arkkioffset, tulostin tai kopiokone. Kohteesta riippuen paperit leikataan arkeiksi tai halutun levyisiksi asiakasrulliksi. (KnowPap 12.0 2010)



Kuvio 1. Sellupohjaisten päällystämättömien hienopapereiden raaka-aineet, tuotantoprosessit, jatkojalostuskohteet ja lopputuotteet (KnowPap 12.0 2010).

4 VARKAUDEN TEHDAS

4.1 PK3

Stora Enso varkauden tehtaalla on yksi päällystämätöntä hienopaperia valmistama paperikone PK3. Vaikka kone on käynnistynyt jo vuonna 1961, niin se edustaa varsin nykyaikaista konekantaa monien uudistusten jälkeen.

Taulukko 1. Stora Enson PK3:n perustiedot (Stora Enso 2013; Hulkkonen 2013).

Stora Enso Varkaus, PK3	
Käynnistysvuosi	Voith 1961. Valmet ja Metso uusineet 1985, 1987, 1992, 2005 ja 2007.
Leveys	7 700 *mm*
Nopeus	1 200 *m/min*
Neliömassa-alue	40 - 120 g/m^2
Vuosituotanto	285 000 *t/a*
Paperilaji	WFU
Perälaatikko	Laimennusvesisäädettävä
Viiraosa	Hybridiformeri **(ValFormer)**
Puristinosa	Kenkäpuristin ja höyrylaatikko. **(SymPress)**
Kuivatusosa	Alkupään ryhmät yksiviiravientejä. Loppupään kaksiviiravientejä.
Pintaliimausyksikkö	Kaksipuolinen filminsiirtoapplikointi. **(SymSizer)** Jälkikuivatusosa.
Kalanteri	Yksinippinen soft-kalanteri, jossa ylempi tela kova ja alempi pehmeä.**(OptiSoft)**
Kiinnirullain	Poperullain hanhenkaulavaihdolla.

4.2 Sellutehdas

Tehtaan yhteydessä toimii integroitu sellutehdas, josta toimitetaan putkea pitkin pitkäkuituista mäntysellua ja lyhytkuituista koivusellua. Sellu tuotetaan ECF-menetelmällä, jonka valkaisussa ei käytetä alkuaineklooria. Mäntysellun osuus on suurempi alhaisilla neliömassoilla, jolloin ohueen paperiin saadaan enemmän lujuutta. Neliömassan kasvaessa voidaan painatusominaisuuksia parantavan koivusellun osuutta nostaa. Paperi on kokonaisuudessaan puuvapaata, eikä kierrätyskuitua tai mekaanista massaa käytetä lainkaan.

5 TUOTANTOPROSESSIEN VAIKUTUS PAPERIN PÖLYÄVYYTEEN

5.1 Massat

5.1.1 Hylky

Kemiallisella massalla tapahtuu kuituaineksen sarveistumista kuivatuksen vaikutuksesta. Siihen vaikuttavat myös märkäpuristuksen ja kuivatuksen rajuus. Tämä hornifikaatioksi kutsuttava ilmiö ilmenee kuitujen kyllästyspisteen laskuna. Se aiheuttaa kuidun jäykistymisen ja sitoutumiskyvyn alenemisen. Merkittävin muutos tapahtuu ensimmäisen kierrätyssyklin aikana. (KnowPap 12.0 2010)

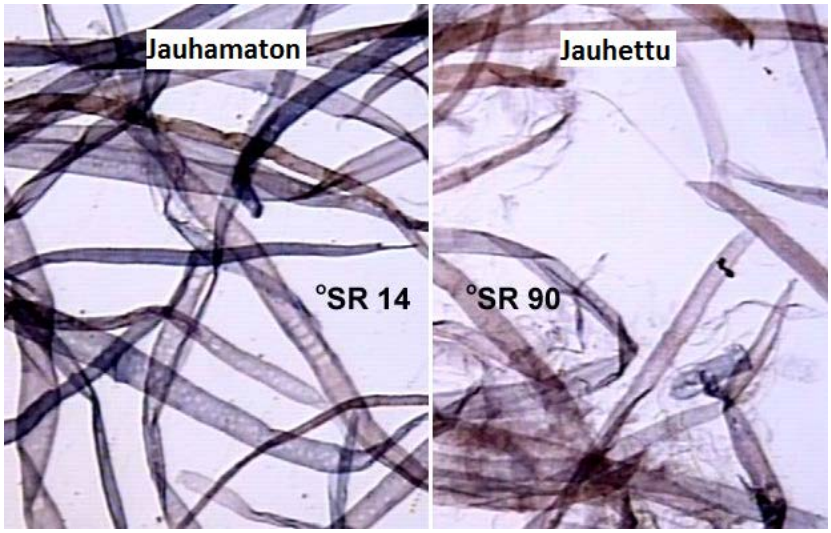
Näin ollen uudelleen käytettävän hylyn kuidut ovat siis huonommin sitoutuvia. Tämä yhdistettynä runsaan hylynsyötön mukana tulevaan täyteaineeseen, voi aiheuttaa paperin suurempaa pölyämistä.

5.1.2 Jauhatus

Varsinkin kemiallisesti puusta erotetut kuidut ovat jäykkiä ja sileäpintaisia. Sellaisinaan ne sitoutuvat huonosti toisiinsa, eivätkä muodosta lujaa kuituverkostoa. Kuitujen sitoutumiskykyä parannetaan jauhatuksella, jossa niitä käsitellään mekaanisesti pyörivien jauhinterien välissä. Kuituihin kohdistuvan rasituksen seurauksena ne notkistuvat, fibrilloituvat ja turpoavat. Koska massan jauhatus vaikuttaa lukuisiin valmiin paperin ominaisuuksiin, se on erittäin tärkeä osaprosessi paperin valmistuksessa. Jauhatuksessa osa näistä ominaisuuksista paranee ja osa huononee. Jauhatusaste on siten valittava kullekin paperilajille haluttujen ominaisuuksien mukaan. (KnowPap 12.0 2010)

Kuiduista jauhatuksessa irronneen hienoaineen merkitys sitoutumisessa on merkittävä. Hienoaineen vaikutus perustuu sen kykyyn lisätä kuitujen välisiä sidoksia. Hienoaineen ominaispinta-ala on moninkertainen kuituainekseen verrattuna. Hienoaineen sitoutumiseen vaikuttavat sen kemiallisen koostumus, koko ja muoto.

Mitä hienojakoisempaa hienoaines on, sitä tehokkaammin se sitoutuu. Kemiallisen massan 10 %:n hienoainepitoisuus lisää kuituverkoston vetolujuutta saman verran kuin noin 1,2 %:n tärkkelyslisäys. (KnowPap 12.0 2010)



KUVA 1. Jauhamaton ja jauhettu mäntysellu (KnowPap 12.0 2010).

Olennaisin paperin pölyämiseen vaikuttava muuttuja on jauhatukseen käytetty kokonaisenergia. Mitä enemmän energiaa jauhatukseen käytetään, sitä vähemmän paperi pölyää kuituverkoston lisääntyneen sitoutumiskyvyn ansiosta. Jauhatusasteen kasvattaminen ei kuitenkaan vähennä pölyämistä kuin tiettyyn pisteeseen asti, jolloin myös muut jauhatuksen tuomat edut ominaisuuksissa alkavat heiketä. (Wood & Karnis 1992, 21) Kuivatuksella on kemiallisen massan hienoaineeseen samanlainen vaikutus kuin kuituihinkin. Niiden vedenpidätyskyky ja samalla sitoutumiskyky alenevat. (KnowPap 12.0 2010) Tämä sitoutumiskyvyn huononeminen voi lisätä pölyävyyttä.

5.1.3 Lajittelu

Paperimassa lajitellaan jauhatuksen jälkeen. Sen tavoitteena on erottaa paperin ominaisuuksia heikentäviä epäpuhtauksia hyvän massan joukosta. Näin lajiteltua massaa kutsutaan paperinvalmistukseen kelpaavaksi akseptiksi ja uudelleen käsittelyyn meneväksi rejektiksi. (KnowPap 12.0 2010)

Massaa voidaan lajitella pyörrepuhdistimilla tai painelajittimella. Pyörrepuhdistus perustuu pyörivässä liikkeessä olevaan massaan, joka jakautuu puhdistimen kehälle tai keskustaan partikkeleiden koon, muodon ja tiheyden perusteella. (KnowPap 12.0 2010)

Pyörrepuhdistin erottaa hyvin pieniominaispinta-alaisia kuituja, joilla on suuri pölyämistaipumus. Painelajittimessa akseptin ja rejektin erotus tapahtuu sihtisylinterin avulla. Se ei ole menetelmältään yhtä hyvä erottamaan suuren pölyämistaipumuksen omaavia kuituja. Pyörrepuhdistuksen huono puoli on sen korkea energian kulutus, koska siinä lajittelu on mahdollista vain alhaisilla sakeuksilla. (Wood & Karnis 1992, 21)

5.1.4 Massaliimaus

Massan tärkkelysliimaus parantaa paperin lujuuksia samoin kuin massan jauhatus. Tähän perustuen massaliimausta käytettäessä voidaan usein alentaa jauhatusastetta ja säästää energiaa. Tärkkelysliimauksen pitäisi lisätä sidoksia ja vähentää pölyämistä. (KnowPap 12.0 20010; Komulainen 2013)

Hydrofobiliimaus hidastaa veden tunkeutumista paperiin. Hydrofobiliimana käytettiin ennen hartsiliimaa, mutta se on korvattu nykyään neutraaliliimoilla. Niitä voidaan käyttää paperikoneen ollessa neutraalilla tai lievästi emäksisellä pH-alueella. Neutraaliliimoja ovat ASA ja AKD. ASA on tehoainepitoisuudeltaan täysin öljymäinen veteen liukenematon neste. (KnowPap 12.0 20010; Komulainen 2013) Hydrofobiliimaus ei periaatteessa tee sidoksia, vaan saattaa jopa estää niitä. ASA-emulsion valmistuksessa käytetään kuitenkin noin 10 % tärkkelystä, joka voi kompensoida ASA:n lujuuksia huonontavan vaikutuksen. Painatuksessa ASA voi pienentää pölyämistä siksi, että se hidastaa veden tunkeutumista paperiin, estäen kuitujen välisten sidosten aukeamisen ja kuitujen irtoamisen. Paperikonepölyyn ei ASA kuitenkaan vaikuttane. (Komulainen 2013)

Massan jauhatus ja hienot täyteaineet lisäävät liimattavaa pinta-alaa. Pitkälle jauhettu massa täyteainelisäyksellä vaatii näin ollen suuremman liima-annostelun. Eri massalajien välillä on suuria eroja niiden liimautuvuudessa. Valkaisematon massa liimautuu helpommin siinä luonnostaan olevien karboksyyliryhmien takia. (KnowPap 12.0 20010)

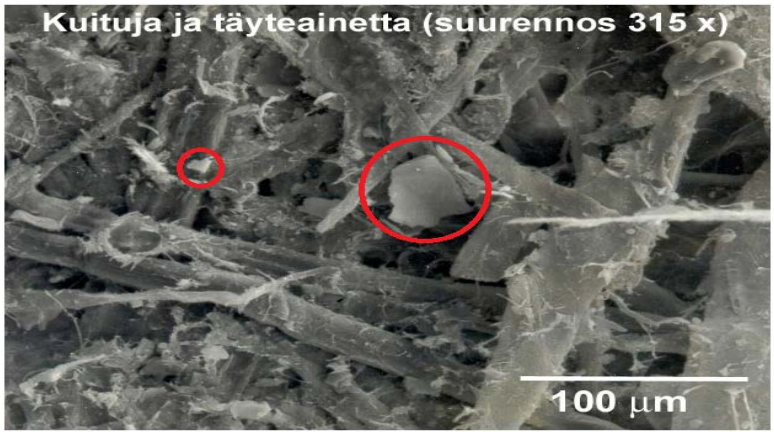
Paperin liimaantuminen alkaa kuiva-ainepitoisuuden ollessa noin 60 %. Mikäli kuivatusosan ensimmäiset sylinterit ovat liian kuumat, niin paperirainasta voimakkaasti poistuva vesihöyry voi häiritä liiman kiinnittymistä kuitujen pinnalle. ASAn ja kuidun reaktio tapahtuu kuivausosalla, ja liimaus kypsyy yleensä jo paperikoneella. Kypsymistä

edesauttavat korkea massan pH ja korkeat kuivauslämpötilat. ASA ei vaadi yhtä kovaa kuivatusta kypsyäkseen kuin AKD. (KnowPap 12.0 20010)
Massaliimaus sitoo itsessään sitoutumiskyvytöntä täyteainetta kuituverkostoon. Liimausasteen tulee olla oikea prosessin muuttuessa, koska liian heikko liimaus voi aiheuttaa paperin pölyämistä.

5.2 Täyteaineet

Painopapereissa täyteaineita käytetään pääasiallisesti parantamaan paperin painatusominaisuuksia. Täyteaineiden käyttöä rajoittavat niiden vaikutus paperin mekaanisten lujuuksien laskuun. Täyteainepartikkelit eivät muodosta sidoksia, näin ollen lujuusominaisuudet kärsivät täyteaineiden lisäämisen myötä. Täyteaineet sitoutuvat kuituihin vain heikoilla van der Waalsin voimilla. Tästä johtuen myös paperin pintalujuus laskee, mikä voi aiheuttaa pölyämistä paperikoneen kuivassa päässä sekä jälkikäsittelykoneilla. Raekooltaan karkea täyteaine lisää pölyämisriskiä enemmän kuin hienojakoinen täyteaine. (KnowPap 12.0 20010) Yleisesti voidaan sanoa, että täyteaineen lisäys lisää paperin pölyävyyttä partikkelien huonon sitoutumisen vuoksi.

Toinen käytön syy on kuitua halvempi hinta. Täyteaineiden hinta selluun verrattuna voi vaihdella alle viidesosasta yli kymmenkertaiseksi. Vaikka täyteaineita käyttämällä on mahdollista saada kustannussäästöjä, niin täyteainelisäyksen edut ja haittavaikutukset paperissa on otettava kokonaisuudessaan huomioon oikeaa suhdetta määriteltäessä. (Häggblom & Komulainen 2006, 37–38; KnowPap 12.0, 2010)



KUVA 2. Mikroskooppikuva paperin pinnasta, jossa näkyy täyteainepartikkeleja kuituverkostossa (KnowPap 12.0 2010).

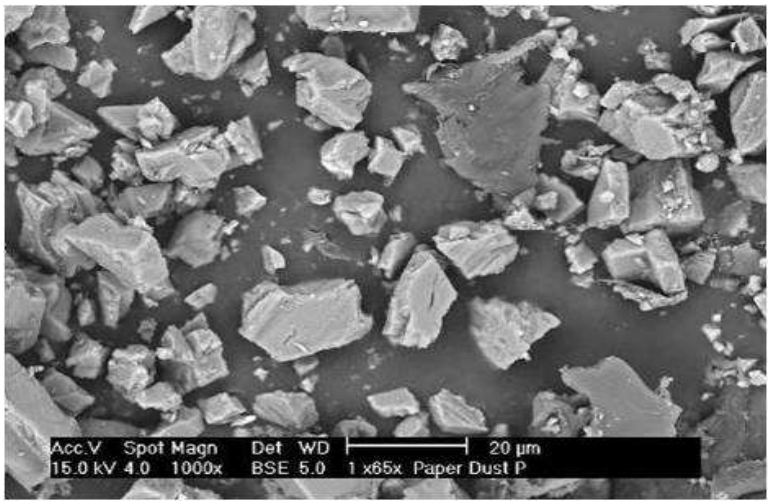
5.2.1 Varkauden tehtaan täyteaineet

Stora Enson Varkauden tehtaalla käytetään täyteaineina liitua ja PCC:tä (Precipitated Calsium Carbonate) eri suhteissa kullekin paperilajille haluttavien ominaisuuksien mukaan.

TAULUKKO 2. Stora Enso Varkauden tehtaan paperilajien täyteainesuhteet (Stora Enso Intranet 2013). Luottamuksellinen

5.2.2 Kalsiumkarbonaatti

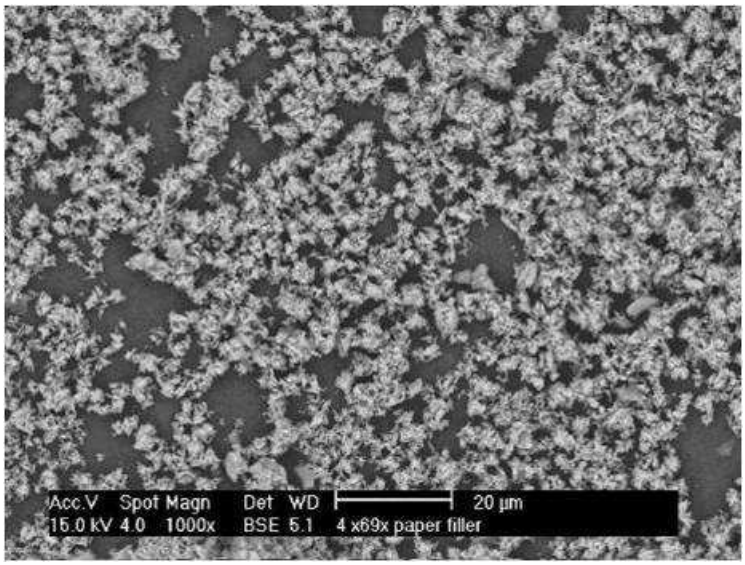
Kalsiumkarbonaateilla ($CaCO_3$) tarkoitetaan ryhmää mineraaleja, joilla on samanlainen kemiallinen koostumus, mutta erilaiset fysikaaliset ominaisuudet. Kalsiumkarbonaatit esiintyvät luonnossa liituna, kalkkikivenä ja marmorina. (Hentunen 1998, 6.)



KUVA 3. Mikroskooppikuva jauhetusta kalsiumkarbonaatista (GCC) (Hewlett-Packard Development Company 2010).

5.2.3 PCC

PCC on saostettua kalsiumkarbonaattia, jota saadaan polttamalla ja saostamalla kalkkikiveä sopivalla savukaasun hiilidioksidilla. Saostetun kalsiumkarbonaatin vaaleus on 94-97 %. Liitu yltää ainoastaan 80-85 % vaaleuteen, mutta se on hinnaltaan PCC:tä halvempaa. Muita täysin synteettisen PCC:n teknisiä etuja liituun verrattuna ovat räätälöitävä hiukkasmuoto ja kapea hiukkaskokojakauma. PCC:n käytöllä voidaan nostaa jopa bulkkia, kun kristallimaiset kiteet erottelevat kuituja toisistaan. Tämä hiukkasmuoto kuitenkin huonontaa täyteaineille tyypillisesti huonoja lujuusominaisuuksia entisestään. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 40.)



KUVA 4. Mikroskooppikuva saostetusta kalsiumkarbonaatista (PCC) (Hewlett-Packard Development Company 2010).

5.2.4 Nano PCC

Nano PCC on erittäin hienojakoiseen muotoon jalostettua PCC:tä. Sen partikkelit ovat kooltaan alle 100 nm. Havainnollistamiseksi voidaan todeta, että nano PCC partikkeleita tarvitaan noin 400 kappaletta rinnakkain, jotta ne saavuttavat hiuksen leveyden. Tälle hienopartikkeliselle PCC:lle ei ole paperiteollisuudessa vielä suoraa käyttöä. Vähäinen käyttö paperiteollisuudessa johtuu pienen partikkelikoon tuomista hankaluuksista prosessiin. Myös korkea jalostusaste nostaa sen hintaa. (Specialty Minerals 2012)

Nano PCC:n käyttömahdollisuuksia paperin ominaisuuksien parantajana kuitenkin tutkitaan koeajoluontoisesti, ja sen tuomia haasteita pyritään ratkaisemaan.

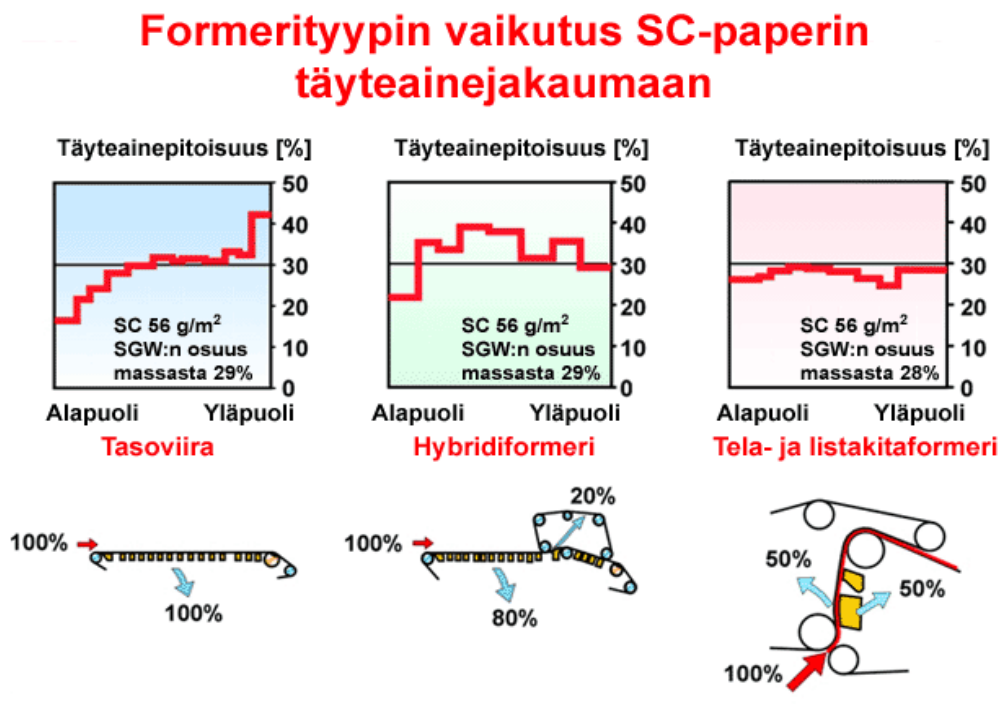
5.3 Paperikone

Paperikone koostuu neljästä perusosasta, joita ovat perälaatikko, viira-, puristin- ja kuivatusosa. Paperikone voidaan myös jakaa kuiva- ja märkäpäähän. Koneen osia on montaa eri tyyppiä ja ne yhdessä säätöjen kanssa vaikuttavat paperin pölyävyyteen. Lisäksi pölyävyyteen voidaan vaikuttaa suoraan konelinjan pintaliimauksella ja kalanteroinnilla.

5.3.1 Perälaatikko ja viiraosa

Perälaatikon tehtävänä on levittää massasuspensio tasaisesti viiralle, hajottaa massaflokkeja sopivalla turbulenssilla ja tasoittaa syöttövirtauksen painevaihteluita. Viiraosalla rainasta poistuu suurin osa vedestä ja raina alkaa muodostua. Vesi suotautuu sihdin tapaan toimivan viirakudoksen läpi. Monet paperin tärkeät ominaisuudet määräytyvät tällä alueella. Paperin pölyämisen kannalta merkittävään täyteainejakaumaan ja täyteaineiden retentoitumiseen vaikuttavat viiraosan tyyppi ja vedenpoistoelimien säädöt. Yleisimmät viiraosatyypit ovat rakenteensa mukaisesti tasoviira, hybridi- ja kitaformeri. Tasoviirassa vesi poistuu vain yhdeltä puolelta, kun hybridi- ja kitaformerissa vedenpoisto tapahtuu sekä ala- että yläpinnalta. (KnowPap 12.0 2010)

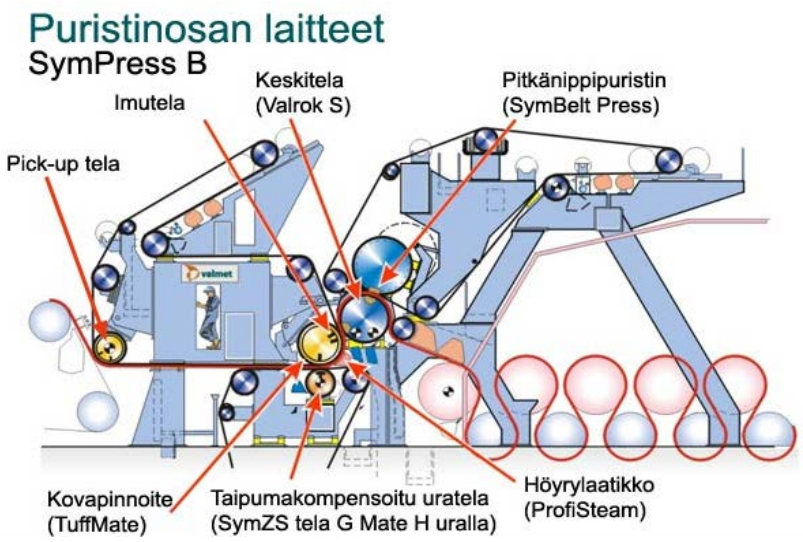
Kaksoisviirarakenne pienentää merkittävästi paperin pölyämistä verrattuna tasoviiraan. Tasoviirakoneella valmistetussa paperissa sen yläpinta pölyää offsetpainatuksessa 20–60 % enemmän kuin viiraa vasten ollut puoli. Imulaatikot imevät nollavettä ja foilit aiheuttavat pulseerausta, jolloin viiraa vasten olleelta pinnalta huuhtoutuu pois herkästi pölyäviä täyteaineita ja heikosti sitoutuneita kuitua. Kaksoisviirarakenteessa vedenpoisto ja huuhtoutuminen tapahtuvat molempiin suuntiin. Tämän seurauksena pintojen välinen pölyämistaipumus tasoittuu. Kaksoisviirarakenteella saavutetaan myös muiden ominaisuuksien suhteen tasaisempi profiili paperin paksuus- eli z-suunnassa.(Ionides 1984, 302-304)



KUVA 5. Formerityypin vaikutus z-suuntaiseen täyteainejakaumaan ja vedenpoistoon (KnowPap 12.0 2010).

5.3.2 Puristinosa

Puristinosalla paperiraina kulkee puristintelojen välisistä nipeistä. Puristuksen ja imutelojen vaikutuksesta vettä siirtyy rainasta puristinhuopaan. Tavoitteena on puristaa paperista mahdollisimman kuivaa heikentämättä liikaa kriittisiä ominaisuuksia, kuten paksuutta ja bulkkia. (KnowPap 12.0 2010)



KUVA 6. SymPress -puristinosan laitteet (KnowPap 12.0 2010).

Märkäpuristus vaikuttaa paperin laatuominaisuuksista

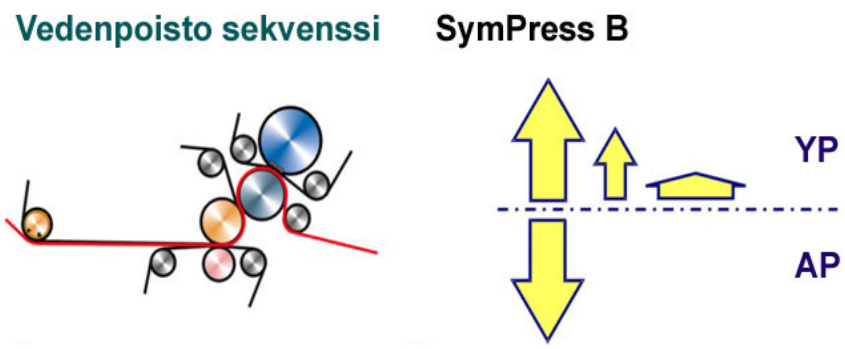
- sileyteen
- pölyävyyteen
- kosteusprofiiliin
- huokoisuuteen
- bulkkiin
- hieno- ja täyteainejakaumaan. (KnowPap 12.0 2010)

Puristinosan asetelmalla ja viivakuormalla on erittäin suuri merkitys paperin pölyävyyden kannalta. Puristuksen vaikutuksesta paperirata tiivistyy. Siksi puristinosalla onkin paperin lujittumisessa paperikoneen tärkein rooli. (Ionides 1984, 304)

Pääsääntöisesti suuremmalla viivakuormalla ajettaessa paperin pölyämistaipumus alenee. Bulkin, paksuuden ja markkeeraamattomuuden menetys liiallisessa puristuksessa asettaa kuitenkin ylärajan viivakuormalle. (Ionides 1984, 304)

Puristinosalla poistuvan veden seassa on myös heikosti paperiin sitoutunutta kuitumaista materiaalia. Jos tätä ainesta ei saada sitoutumaan, niin sen poistaminen jo tässä vaiheessa prosessia on tärkeää. Muuten se todennäköisesti aiheuttaisi pölyongelmia viimeistään painokoneella.

Puristinosan tela-asetelman tulisi olla sellainen, että vesi pääsisi poistumaan rainan molemmilta puolilta. Tällöin myös heikosti paperin pintaan sitoutunut aines poistuisi molemmilta puolilta. Myös paperin muiden ominaisuuksien toispuoleisuus pienenee tällaisessa tela-asetelmassa. (Ionides 1984, 304)
SymPress -puristinosatyypin vedenpoistosuunnista aiheutuva karheuden toispuoleisuus voidaan kompensoida niin, että käytetään softkalanterissa kovaa ylätelaa ja pehmeää alatelaa. (Hulkkonen 2013)



KUVA 7. SymPress -puristinosan vedenpoistosuunnat (KnowPap 12.0 2010).

Höyrylaatikko

Puristinosan vedenpoistoa voidaan tehostaa höyrylaatikolla. Sillä voidaan myös säätää kosteusprofiilia, joka on tärkeä tekijä tasaisen pintaliimauksen aikaansaamiseksi. Höyryä puhalletaan rataan ennen puristinnippiä, jolloin rainassa olevan veden viskositeetti laskee ja se virtaa helpommin huopaan. Tämä nostaa puristinosalla saavutettavaa kuiva-ainepitoisuutta 1-3 prosenttiyksikköä. (KnowPap 12.0 2010) Höyrylaatikon käytöllä voidaan olettaa olevan positiivinen vaikutus paperin pölyämättömyyteen, koska se edesauttaa vedenpoistoa, jonka mukana poistuu myös huonosti sitoutuneita pintapartikkeleja.

5.3.3 Kuivatusosa

Kuivatusosan tehtävänä on kuivattaa paperi haihduttamalla siitä vettä mahdollisimman taloudellisesti. Yleisin kuivatusmenetelmä on sylinterikuivatus. (KnowPap 12.0 2010) Suurilla konenopeuksilla voidaan lisäksi käyttää leijukuivaimia. Kuivatusosalla määräytyvä paperin loppukosteus on erittäin tärkeä ominaisuus. Jo yhden prosenttiyksikön ylikuivaus nostaa huomattavasti energiankulutusta ja sitä kautta kustannuksia. Jalostuksen kannalta myös kosteuden CD-profiilin tulisi olla mahdollisimman tasainen.

Sylinterikuivatuksessa paperin pinta voi osittain tarttua kiinni kuivatussylinteriin. Kun paperi irtoaa sylinterin pinnasta siirtyäkseen seuraavalle, sen pinnan rakenne saattaa kärsiä ja kuitujen kiinnittyminen heikentyä. Nämä heikentyneet sidokset voivat ilmetä paperin pölyämisenä. (McDonald & Tchepel 2008, 19–20)

Paperin pinnan koskettaessa kuivatussylinteriä siihen vaikuttaa kahdenlaisia voimia. Sidosvoimat pitävät paperin pinnan kiinni muussa kuituverkostossa. Adheesio puolestaan aiheuttaa sen, että paperi kiinnittyy sylinterin pintaan. Paperissa vaikuttavien z-suuntaisten sidosvoimien on oltava suurempia kuin paperin ja sylinterin välisen adheesion. Muuten paperin pinnan rakenteen kärsiessä kuidut saattavat repeytyä irti kokonaan tai osittain. (McDonald & Tchepel 2008, 19–20) Osittainen kuitujen irtoaminen ja paperin pinnan heikkeneminen voi ilmetä myöhemmin pölyämisenä.

Paperin edetessä kuivatusosalla sen kosteuspitoisuus pienenee ja kuitujen väliset sidosvoimat suurenevat. Adheesion voimakkuuteen vaikuttavat paperin kosteuspitoisuuden lisäksi paperiradan nopeus, paperin- ja kuivatussylinterin lämpötilat, massakoostumus sekä kuivatussylinterin pintamateriaali. (McDonald & Tchepel 2008, 19–20)

Puupitoisissa papereissa käytetään mekaanista massaa, minkä vuoksi ne sisältävät myös ligniiniä ja hemiselluloosaa. Märässä paperissa ligniini pehmenee 100 celsiusasteessa ja hemiselluloosa jo alle sen. Pehmennyttyään hemiselluloosa ja ligniini tarttuvat herkästi kuivatussylinterin pintaan. Kuivan paperin pehmenemislämpötilat ovat huomattavasti suuremmat, noin kaksinkertaiset. Sylinteripinnan lämpötilan tulisi olla paperin irtoamiskohdassa aina pienempi, kuin ligniinin ja hemiselluloosan pehmenemislämpötilan. Kuivatussylinterin lämpötilojen tulee olla matalia ensimmäisillä kuivatusryhmillä ja nousta tasaisesti kohti kuivatusosan loppua, koska pehmenemislämpötilat riippuvat paperin kosteuspitoisuudesta. (McDonald & Tchepel 2008, 20)

Riski paperin kiinnitarttumiselle siis pienenee paperin kosteuspitoisuuden laskiessa kohti kuivatusosan loppua. Puuvapaiden papereiden, kuten WFU:n hallinta kuivatusosalla, on myös näin ollen helpompaa, koska niissä suurin osa ligniinistä ja hemiselluloosasta on poistunut jo kemiallisen massanvalmistuksen aikana.

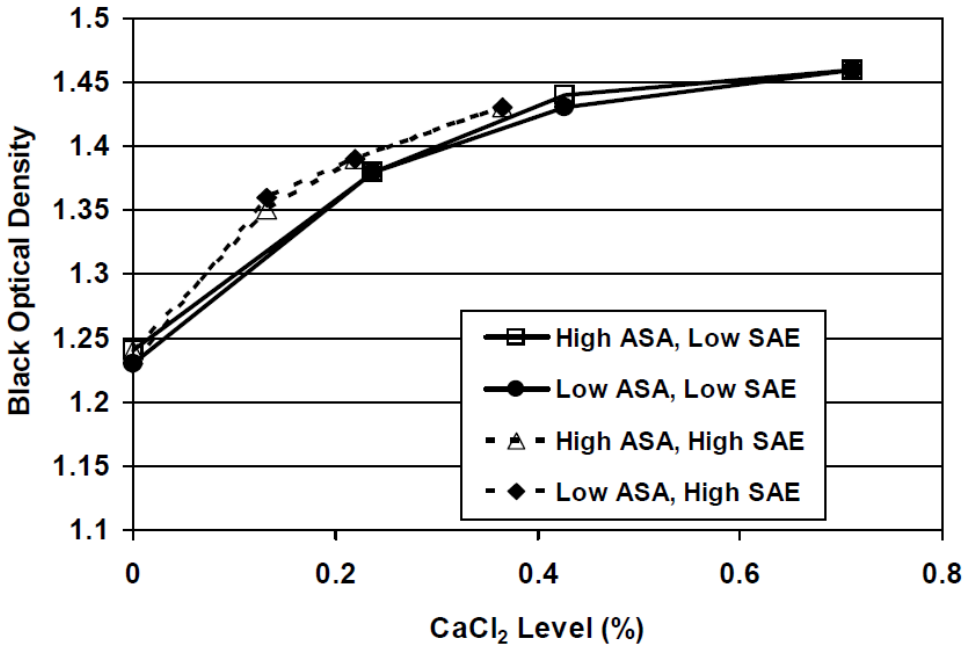
Mikäli kuivatusosan kuivatuskapasiteetti on suurempi kuin kuivaukseen tarvittava energia, ja osa kuivatussylintereistä pidetään kylmänä, niin nämä sylinterit tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle paperikoneen kuivapäätä. Jos kylminä pidettäviä sylintereitä on kuumien sylintereiden välissä, saattaa paperin pintaan noussut kosteus aiheuttaa paperin kiinnitarttumisen kylmään sylinteriin. (McDonald & Tchepel 2008, 20–21)

Kuivatusosan toimivuuden kannalta on tärkeää, että kaikkien sylintereiden lämpötilat ovat ja pysyvät asetusarvoissaan. Lämpötiloja voivat alentaa vialliset sifonit, tukkeutuneet venttiilit, vuodot höyrylinjassa sekä liian pieni paine-ero lauhteenpoistossa. Paperin ja kuivatussylinterin välistä adheesiota voidaan pienentää oikealla sylinterin pinnoituksella. (McDonald & Tchepel 2008, 19-22)

5.3.4 Pintaliimaus

Pintaliimauksen tavoitteena on parantaa valmiin paperin jatkojalostusominaisuuksia. Pintaliimauksessa lisätään kuitujen välisiä sidoksia vesiliukoisilla polymeereillä. Ylivoimaisesti eniten käytetty liiman pääraaka-aine on tärkkelys. Muita pintaliimauksessa käytettäviä kemikaaleja ovat esimerkiksi CMC ja PVA. (KnowPap 12.0 2010)

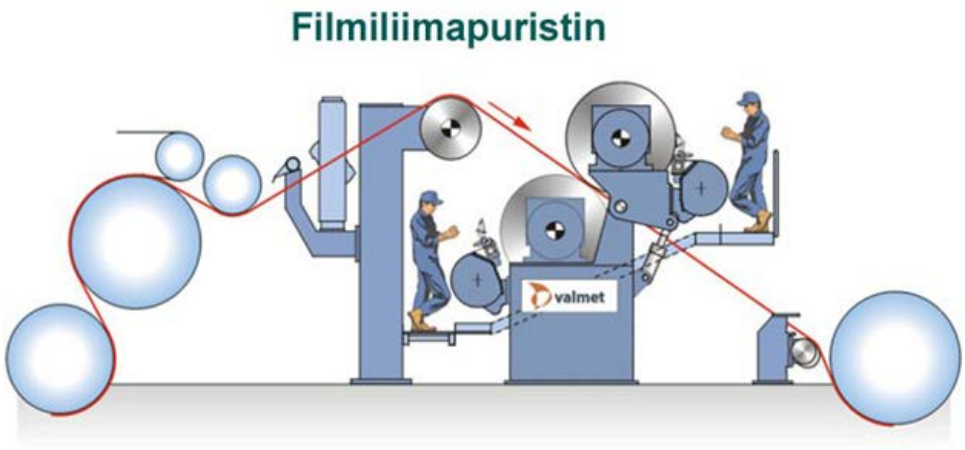
Suolana tunnettua kalsiumkloridia voidaan myös annostella pintaliiman joukkoon. Sen tarkoituksena on nostaa paperin sähkönjohtokykyä. Arkitetussa toimistopaperissa on usein liian alhainen sähkönjohtokyky, jolloin staattinen sähkö lisää arkkien tarttumista toisiinsa. Tämä puolestaan aiheuttaa syöttöhäiriöitä kopiokoneissa ja tulostimissa. (KnowPap 12.0 2010) Nykyään sillä on myös tärkeä tehtävä inkjet-tulostusjäljen parantamisessa. (Komulainen 2013)



KUVIO 2. Suolalisäyksen vaikutus mustan värin densiteettiin kopiopaperissa (Varnell 2009).

Pintaliimaus suoritetaan tavallisesti paperikoneella filmiliimapuristimella. Filmiliimapuristuksessa liimafilmi applikoidaan urasauvalla liimansiirtotelalle, josta se siirtyy paperiin kahden telan välisessä nipissä. (KnowPap 12.0 2010)

Pintaliimausyksikkö on sijoitettu niin lähelle kuivapäätä, että paperi on riittävän kuivaa kestämään liimauksen. Liimauksen jälkeen on tyypillisesti infrakuivaimet ja jälkikuivatusosa. Filmiliimapuristimella jälkikuivatuksen tarve on pienempi kuin lammikkoliimauksessa. Pintaliimauksen yhteydessä voidaan suorittaa myös pigmentointi, jolloin lisätään täyteaineita pintaliiman joukkoon. (KnowPap 12.0 2010)



KUVA 8. Filmiliimapuristin (KnowPap 12.0 2010).

Pintaliiman määrää paperissa suurennetaan lisäämällä liimaa applikointitelan pinnalle. Liimamäärään vaikuttaa lähinnä urasauvan ja telapinnan avoin poikkipinta. Siihen vaikuttaa eniten sauvan uraprofiili, telanpinnoitteen kovuus sekä sauvan kuormitus. Liiman korkealla kuiva-ainepitoisuudella ja karkealla sauvalla saadaan pintaliimaa enemmän rainan sisään. Alhaisella kuiva-aineella ajettaessa liiman määrää rajoittaa kuitenkin paperin kyky vastaanottaa nestettä. Korkea kuiva-aine ja suuri liimamäärä saattaa myös aiheuttaa tilanteen, jossa paperin pinnalle jää paksu tärkkelysfaasi. Tämä voi johtaa kuituihin sitoutumattoman tärkkelyksen hilseilyyn ja pölyämiseen. (KnowPap 12.0 2010)

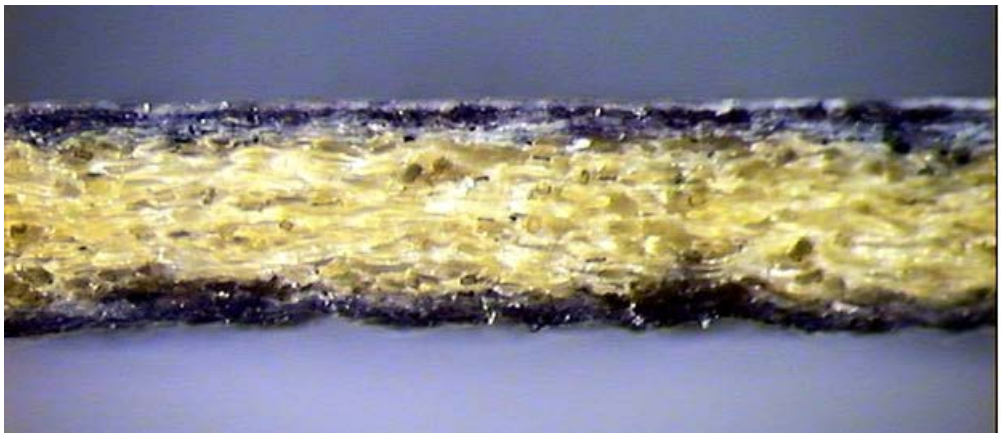
Päällystämättömän hienopaperin yksi tärkeimmistä pintaliimauksella parannettava laatuominaisuus on pinnan pölyämättömyys. Sillä parannetaan myös hienopaperin mittapysyvyyttä, jäykkyyttä ja pintalujuutta. Lisäksi pintaliimauksella muutetaan muitakin paperin ominaisuuksia haluttuun suuntaan, kuten parannetaan sileyttä ja kiillottuvuutta, pienennetään huokoisuutta ja muutetaan absorptiota. (KnowPap 12.0 2010)

Pohjapaperin laatu vaikuttaa lähinnä liiman tunkeutumiseen paperin sisälle. Mitä huokoisempi ja karheampi paperi on, sitä enemmän liima tunkeutuu paperin sisään. (KnowPap 12.0 2010)

Pintaliimaukseen vaikuttavat seuraavat pohjapaperin ominaisuudet:

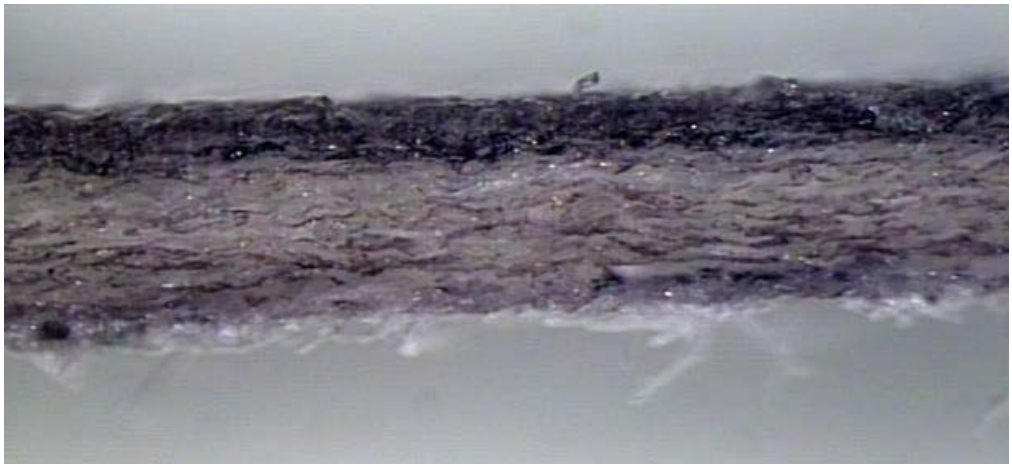
- Massaliimauksen aiheuttama pohjapaperin hydrofobisuus vähentää pintaliiman siirtymistä paperiin.
- Pintaliimamäärä paperissa lisääntyy paperin neliömassan kasvaessa 100 g/m^2 asti, jonka jälkeen neliömassan kasvu ei enää vaikuta.
- Kosteampi paperi ottaa vastaan enemmän pintaliimaa.
- Jauhatuksen lisääminen pienentää huokoisuutta ja pintaliiman tunkeutuminen paperiin vähenee.
- Toispuoleisen paperin viirapuoli imee yläpuolta enemmän pintaliimaa. (KnowPap 12.0 2010)

Oikeilla säätöparametreilla ja hallintasuureilla saadaan halutunlainen tasainen, pintalujuutta ja pölyämättömyyttä parantava pintaliimakerros.



KUVA 9. Tasainen pintaliimakerros paperissa (KnowPap 12.0 2010).

Voimakas paperin toispuoleisuus, vääränlainen liiman annostelu ja kuiva-aine aiheuttavat epätasaisen pintaliimakerroksen. Paperin pinnalla näkyy heikosti sitoutuneita kuitu-ja, jotka voivat aiheuttaa pölyämistä.

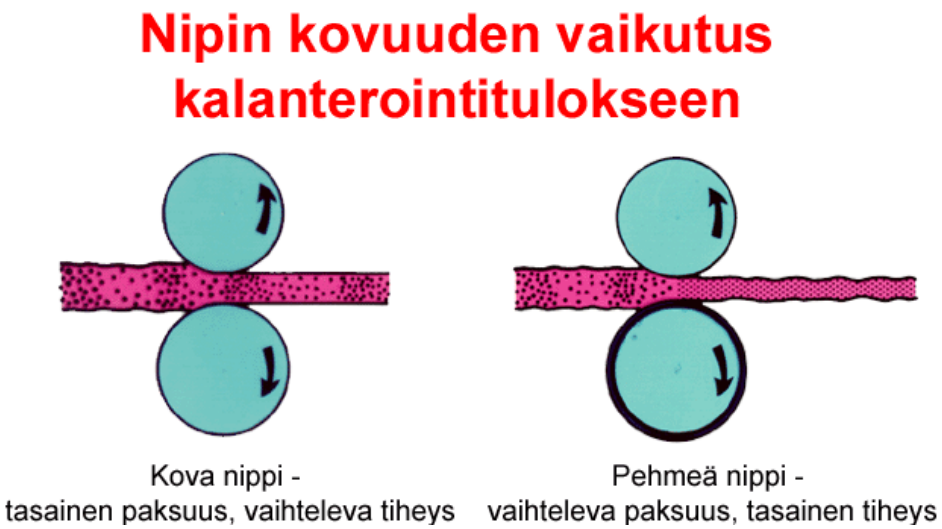


KUVA 10. Epätasainen ja heikko pintaliimaus paperissa (KnowPap 12.0 2010).

5.3.5 Kalanterointi

Kalanteroinnissa paperi kulkee kahden telan muodostaman nipin läpi. Nippejä voi olla yksi tai useampia ja telat voivat olla kovia, pehmeitä, kylmiä tai lämmitettyjä. Kalanteroinnin tavoitteena on parantaa paperin pinta- ja painatusominaisuuksia. Sillä myös säädetään paperin paksuutta ja tasataan poikkisuuntaista paksuusprofiilia. (KnowPap 12.0 2010)

Päällystämättömillä hienopapereilla käytetään usein softkalanteria, joka sijaitsee paperikoneella kuivatusosan ja kiinnirullaimen välissä. Nykyiset online-softkalanterit ovat lähes kaikki 1- tai 2-nippisiä. Ensimmäisessä nipissä paperille tapahtuu suurin muodonmuutos, jolloin seuraavan nipin vaikutus voi joissain olosuhteissa jäädä hyvin pieneksi tai olemattomaksi. Tähän syynä voi olla paperin liiallinen kuivuminen ensimmäisessä nipissä. Softkalanterin nippi muodostuu vähintään yhdestä pehmeäpinnoitteisesta taipumakompensoidusta telasta ja lämmitettävästä kokillitelasta. Pehmeänippisessä kalanterissa nippi on pidempi, paine pienempi ja tela myötäilee paremmin paperin pinnanmuotoja. Sen ei päätavoitteena ole saada paperiin korkeaa kiiltoa, vaan poistaa karheutta, säästää bulkkia ja tasoittaa pintaa painatukseen sopivaksi. (KnowPap 12.0 2010)



KUVA 11. Kovan- ja softkalanteroinnin erilaiset vaikutukset kalanterointitulokseen paperissa (KnowPap 12.0 2010).

Kalanteroinnissa pinnan tasoittumista tapahtuu aineen siirtymisenä harjanteilta pintahuokosiin. Tämä siirtyminen voi olla plastista muodonmuutosta tai hioutumista. Plastisessa muodonmuutoksessa aine siirtyy virtaamalla ja hioutumisessa pintapartikkeli irtoaa kokonaan. Pölyongelmien välttämiseksi, pitäisi partikkelin siirtymisen tapahtua mie-

luummin virtaamalla kuin irtoamalla. Pölyttömään partikkelien siirtymiseen voidaan vaikuttaa termoplastisen sideaineen ja kuumien metallitelojen avulla. (KnowPap 12.0 2010)

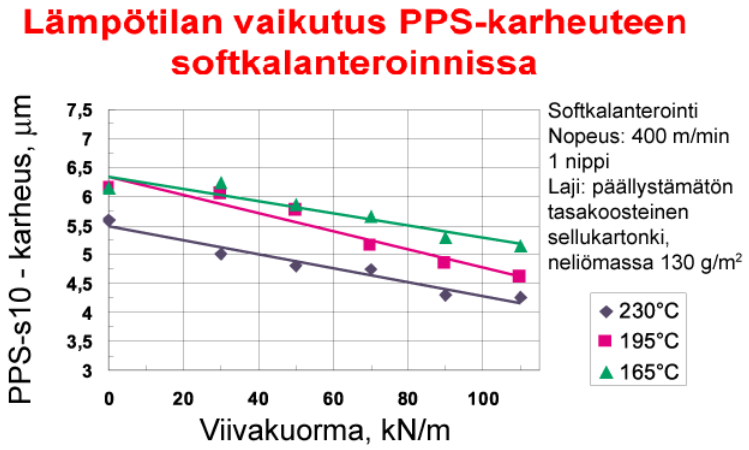
KUVA 12. Aineen siirtyminen ja hioutuminen kalanteroinnissa (KnowPap 12.0 2010).

Sopiva kalanteroinnin viivakuorma tiivistää paperin pintaa ja siinä mahdollisesti olevaa irtoainesta, jolloin sen pölyämisen voidaan olettaa vähentyvän. Myös kalanteroinnin lämpötilan nostaminen korkeammaksi, voi joissain olosuhteissa vähentää paperin pölyävyyttä.

Softkalanterilla pyritään kompensoimaan lämpötilalla alentunutta puristuspainetta konekalanteria korvattaessa. Softkalanteroinnissa paperin kalanteroituminen tapahtuu erittäin voimakkaasti nykyisin vain kovan telan puolella. (KnowPap 12.0 2010)

Ajonopeus ei ole softkalanteroinnissa hallintasuure, vaan se määräytyy paperikoneen ajonopeuden mukaan. Nopeudella on laatuun selvä vaikutus. Vaikutuksen suuruus riippuu paperilaadusta, mutta nopeuden nostaminen heikentää aina kalanterointitulosta. (KnowPap 12.0 2010)

Kalanterille tulevan paperin kosteuspitoisuutta nostamalla paperin plastisuutta voidaan selvästi parantaa. Korkeiden softkalanterointilämpötilojen ansioista kosteuspitoisuuden nostaminen on mahdollista ilman loppukosteuden suurta muutosta. (KnowPap 12.0 2010)



KUVIO 3. Lämpötilan vaikutus PPS-karheuteen softkalanteroinnissa (KnowPap 12.0 2010).

Vaikka lämpötilaa nostettaessa paperin pintaominaisuudet paranevat, niin jossakin lämpötilassa negatiiviseen suuntaan kehittyvät ominaisuudet määräävät kalanterointilämpötilan. Kuivaa paperia liian kovalla viivakuormalla kalanteroitaessa kuituja ja kuitujen välisiä sidoksia hajoaa, jolloin myös paperi pölyää herkemmin. (KnowPap 12.0 2010)

6 PAPERIN PÖLYÄMISESTÄ AIHEUTUVAT ONGELMAT

Paperin pölyäminen aiheuttaa todellisia ongelmia painokoneella, mutta myös paperikoneella pölyämisestä voi olla haittaa. Englanninkielisissä aineistoissa paperin pölyämisestä käytetään nimityksiä linting ja dusting. Linting tarkoittaa kuitumaisen, heikosti sitoutuneen materiaalin irtoamista paperin pinnasta. Dusting puolestaan heikosti sitoutuneen täyteaineen tai päällystepartikkelin irtoamista paperin pinnasta. (Haaramo 2010, 11)

Tässä työssä pölyämisellä tarkoitetaan kaikkea paperista irtoavaa materiaalia, koska paperikoneella tehtävistä mittauksissa pölyainesta ei pystytä erottelemaan. Myöskin painokoneella aiheutuvat ongelmat ovat usein riippumattomia pölyn laadusta (Haaramo 2010, 11).

6.1 Pölyongelmat paperikoneella

Pienet pölyhiukkaset kulkeutuvat ja kertyvät helposti paperikoneen avonaisiin rakenteisiin. Varsinkin kovista, kivi- ja savimaisista täyteaine- ja päällystyspartikkeleista koostuva pöly voi aiheuttaa kulumista joutuessaan esimerkiksi laakereihin. Kuivatusviirojen kulumista voi ilmetä pölyn tarttuessa kuivatussylinterin pintaan, joka on liikkuvassa kosketuksessa viiran kanssa. Paperin pölyävyys voi aiheuttaa myös paperin laatuongelmia. Teräpäällystyksessä pölyä voi kertyä ylimääräisen päällysteen paperin pinnalta kaapivaan terään, jolloin kertynyt aines viiruttaa paperin pintaa. (Kurra 2008, 7–8) Painatuksen onnistumiseksi paperin pinnan tasaisuus on erittäin tärkeää, jolloin pienikin viiru johtaa suuren paperimäärän hylkäämiseen.

Pölyn kulkeutuminen herkkiin mittalaitteisiin voi myös aiheuttaa häiriöitä. Mittalaitteiden antureihin kertynyt pöly saattaa vääristää mittausta, jolloin mittalaitteen puhdistustarve saattaa johtaa paperikoneen pysäyttämiseen ja tuotannon menetyksiin. Pöly haittaa myös sähköisten valosilmien ja -verhojen sekä muiden optisten laitteiden toimintaa. Tämän seurauksena voi aiheutua turhia hälytyksiä, josta saattaa seurata jopa tuotantokatkoja. (Kurra 2008, 7–8)

Paloturvallisuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeää estää pölyn syntyminen ja kertyminen paperikoneen ympäristöön. Varsinkin kuiva puukuitupitoinen pöly on herkästi syttyvää, ja leimahdusriski on olemassa. Paperikoneella on korkeita lämpötila esimerkiksi infra- ja leijukuivaimien läheisyydessä. (Kurra 2008, 7–8) Pöly voi kerääntyä ilmastointiputkien sisään ja päälle. Palon syttyessä se voi edetä näitä reittejä ja aiheuttaa mittavia vahinkoja. Suurien pölymäärien puhdistus edellä mainituista paikoista lisää myös kunnossapitokustannuksia. Kuivatusilman lämmön talteenotossa lämmönvaihtimien pinnalle kertyvä pöly huonontaa niiden tehoa ja vaikuttaa negatiivisesti lämmöntalteenoton hyötysuhteisiin (Komulainen 2013).

6.2 Pölyongelmat painokoneella

Yleisin päällystämättömille hienopapereille käytettävä painomenetelmä on offsetpainatus. Tahmean painovärinsä ja värinsiirtomekanisminsa vuoksi se on erityisen herkkä paperin pölyämiselle. Muita paljon kyseiselle paperille käytettyjä ovat digitaaliset tulostusmenetelmät inkjet ja elektrofotografia. Esimerkkinä toimistotulostimet ja suuret rullalle painavat digipainokoneet.

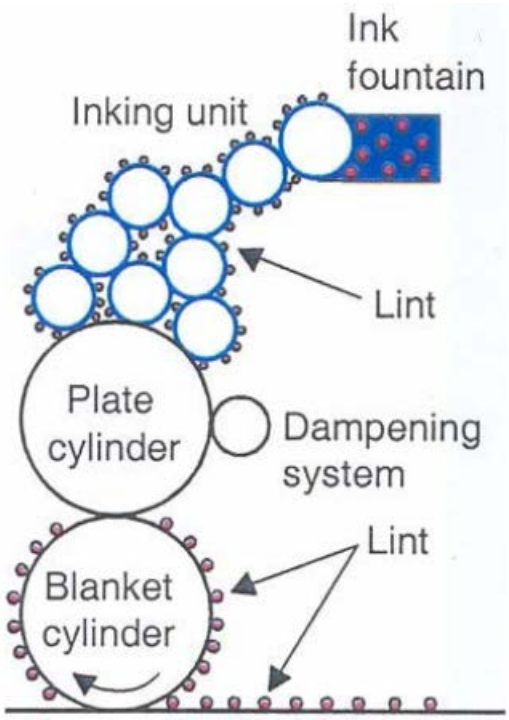
KUVA 13. Toimistotulostimeen kertynyt paperipöly (Hewlett-Packard Development Company 2010).

Paperin pinnassa oleva irtonainen pöly, joka koostuu useimmiten täyteaineesta ja päällysteestä, tarttuu usein painokoneen painokumille. Myös heikosti paperin pintaan sitoutuneet kuidut tarttuvat herkästi offsetin tahmeaan painoväriin, jolloin ne repeytyvät irti

paperista siirtyen värin mukana painokumille. Nämä ongelmat ovat yleisimpiä painokoneen ensimmäisessä painoyksikössä. (Levlin & Söderhjelm 1999, 198)

Kuidun ja täyteaineen kertyminen painokumeille on kumulatiivinen ongelma. Mitä enemmän materiaalia painoväriin tarttuu, sitä tahmeammaksi se muuttuu, jolloin kertymistä tapahtuu yhä vain enemmän. Materiaalin kertyminen painokumeille haittaa värinsiirtoa ja heikentää siten painojälkeä. Kun paperipölyn määrä painokumeilla, -levyillä, ja kostutusvesijärjestelmässä on tarpeeksi suuri, alkaa ilmetä ongelmia tuotannossa. Painojäljen huonontuessa liikaa, on ainoa vaihtoehto pysäyttää painokone, jotta painokumit ja -levyt voidaan pestä. Tällainen pysäytys aiheuttaa aina kustannuksia menetetystä tuotantoajasta. Huonoimmassa tapauksessa pöly saattaa kulkeutua painokumeilta värinsiirtolaitteistoa pitkin jopa värinlevitysyksikköön asti.

(Kurra 2008, 9-10; Levlin & Söderhjelm 1999, 198)



KUVA 14. Paperin pinnalta irtoavan materiaalin kulkeutuminen värinlevitysyksikköön (Aittamaa 2007, 10).

7 KOKEELLISEN OSUUDEN TAUSTAT JA TAVOITE

Paperikoneelle soveltuvasta online-pölymittauksesta ei ole vielä DPA:n kaltaista kaupallista sovellusta. Paperin pölyävyys on hankala suure mitata, mutta koska pöly aiheuttaa paljon ongelmia ja lisäkustannuksia painokoneilla, niin kysyntää toimivalle sovellukselle ja tarve tuotekehitykselle ovat olemassa.

ACA Systems on teettänyt kaksi saman aiheen ympärille rakentunutta opinnäytetyötä. Anssi Haaramon vuonna 2009 valmistunut opinnäytetyö käsitteli LPA-pölymittauslaitetta ja sanomalehtiparin pölyävyyttä. Tämä opinnäytetyö on jatkoa Tuomas Tatin keväällä 2013 valmistuneelle opinnäytetyölle, jonka pohjalta DPA-pölymittauslaitteen antama mittaustulos kalibroitiin samalle suuruusasteikolle Emerson-pölymittauksen kanssa.

Työn kokeellinen osuus tehtiin Stora Enson Varkauden tehtaalla, jossa mittauksia ja prosessin seurantaa toteutettiin kuukauden ajan. Työn tavoitteena oli selvittää ACA Systems Oy:n kehittämän online-pölymittauslaitteen toiminta ja luotettavuus erilaisissa prosessiolosuhteissa laitteen tuotekehitystä varten. Tähän työkaluina käytettiin laboratorion käsivaraista pölymittausta, paperikoneen prosessien mittausdataa ja kokemusperäistä tietoa.

8 PÖLYMITTAUSMENETELMÄT

Tässä työssä käytettiin kahta pölymittausmenetelmää, joiden tuloksia vertailtiin keskenään. R.A. Emerson & Companyn mustakangasmenetelmää ja ACA Systems Oy:n DPA-online-pölymittausta.

8.1 R.A. Emerson & Companyn mustakangasmenetelmä

R.A. Emerson & Companyn mustakangasmenetelmä on käsivarainen pölymittausmenetelmä, jossa painetaan mustaa kangasta vakiovoimalla pyörivää konerullaa vasten. Mittausaika suhteutetaan konenopeuteen, jolloin kankaaseen kerääntynyt pöly on vakiomatkalta.

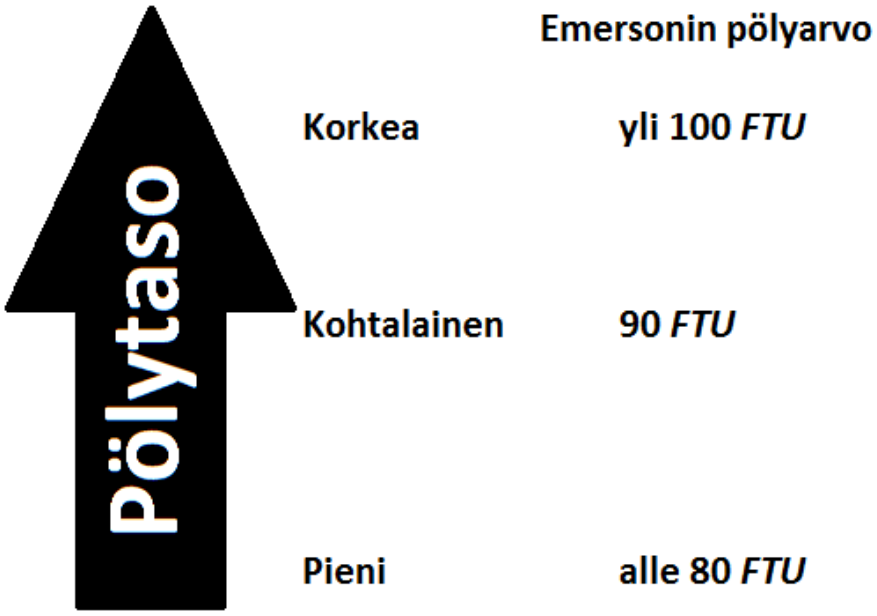
Tässä työssä otettiin yhden mittausarvon määrittämiseksi viisi mittaustoistoa konerullan keskeltä. Mittaukset tehtiin liitteessä 1 esitetyn Stora Enson ohjeen mukaisesti.

KUVA 15. Pölymittaus liikkuvasta konerullasta R.A. Emerson & Companyn mustakangasmenetelmällä.

Mustakangas upotetaan tislattuun veteen likoamaan, jolloin siihen kertynyt pöly irtoaa. Vedestä mitataan sameus, joka on verrannollinen paperin pölypitoisuuteen. Sameus määritettiin liitteessä 2 esitetyn Stora Enson ohjeen mukaisesti.

KUVA 16. Sameusmäärityksen mittausjärjestely.

Emersonin pölyarvon noustessa yli 100 FTU:n, voidaan puhua pölytasosta, joka saattaa aiheuttaa ongelmia painokoneilla. Pölytasojen suuruudet on esitetty Stora Enson laboratoriokokemuksen perusteella kuviossa 4.



KUVIO 4. Pölytason suuruus Emerson-mittauksen sameutena määritettynä.

8.2 ACA Systems Oy:n DPA-online-pölymittaus

DPA (Dust Amount Analyzer) on ACA Systems Oy:n kehittämä paperipölyn on-linemittari. Se sijaitsee poikkisuuntaisesti keskellä paperikonetta, paperiradan alapuolella kalanterin ja kiinnirullaimen välissä. Mittaustieto välitetään paperikoneen ja tehtaan tietokonejärjestelmään, josta sitä voi seurata reaaliajassa.

KUVA 17. ACA Systems Oy:n DPA-pölymittauslaite (Mustalahti 2013)

8.2.1 Toimintaperiaate

DPA kerää alipaineella paperiradan pinnasta irtopölyä suodattimeen ennalta asetetun mittausajan. Pölyn kerääntyessä suodattimeen, syntyy paine-ero suodattimen eri puolille. Mittausajan edetessä suodattimeen kertynyt pölymäärä kasvaa, jolloin myös paine-ero puolien välillä kasvaa. Vallitseva paine-ero mittauksen lopussa on verrannollinen paperin pölymäärään. Mittausajan päättyessä laite puhaltaa suodattimeen kertyneen pölyn pois ja aloittaa uuden mittauksen. Kaikki työssä kirjatut tulokset ovat tunnin mittausajalta.

8.2.2 Puhdistus

Ajan mittaan suodattimeen kertyy pölyä, joka ei välttämättä irtoa mittausten välissä olevassa automaattisessa puhdistuksessa. Laite tulisi puhdistaa säännöllisin väliajoin lisäämällä kolme kertaa pieni määrä vettä suodattimeen. Lisäysten välillä käytetään laitetta poistopuhallutuksella kaksi kertaa, ja viimeisen lisäyksen jälkeen vähintään seitsemän kertaa. Mahdollisimman tarkkojen mittaustulosten saamiseksi laite puhdistettiin jokaisen mittausviikon alussa.

8.3 Mittausmenetelmien erot

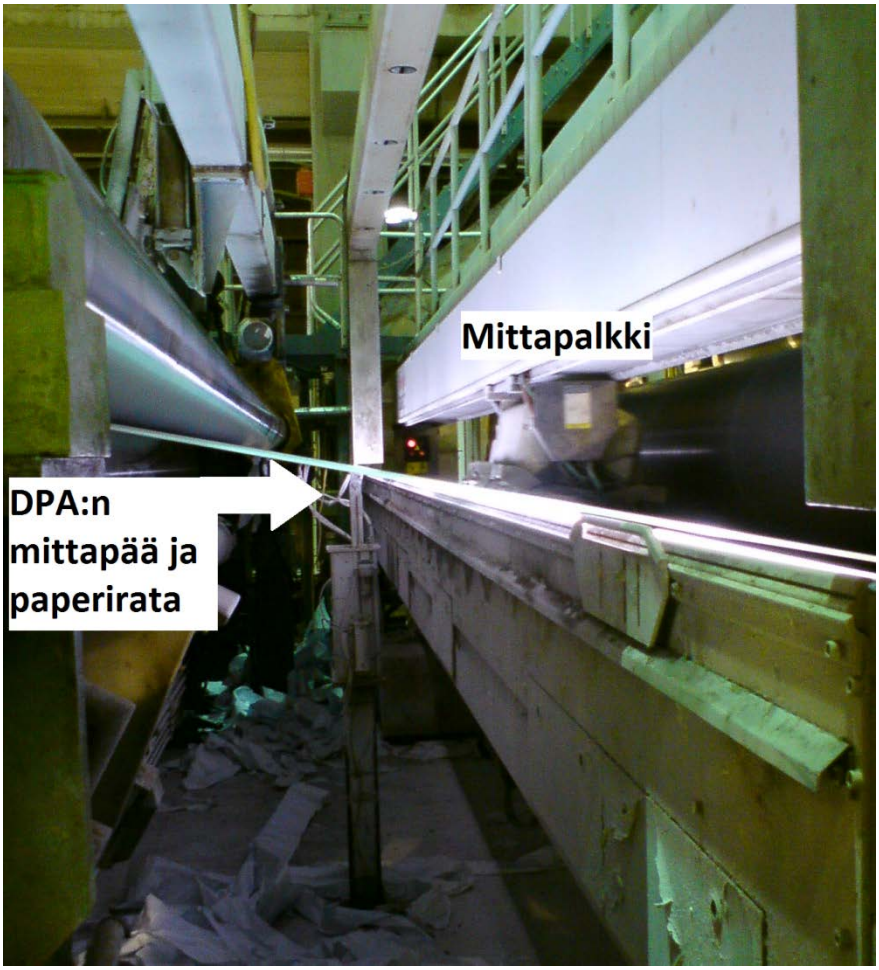
Menetelmät ovat mittausperiaatteeltaan hyvin erilaisia. Emersonin laboratoriomittauksessa pöly irtoaa paperiradasta kitkan vaikutuksesta, kun taas DPA:n mittaus perustuu alipaineen ja kitkan irrottamaan pölyyn. Toinen suuri eroavaisuus on mittausaika. Emersonin menetelmässä yksittäinen mittaus kestää vain kymmeniä sekunteja. DPA puolestaan antaa yhden mittausarvon, joka kuvaa kuluneen mittausajan pölypitoisuuden keskiarvoa. Mittaustunnin aikana paperin pölypitoisuus voi vaihdella lyhyellä aikavälillä poiketen keskimääräisestä pölypitoisuudesta. Mikäli tämän poikkeama sattuu samalle ajanhetkelle kuin Emersonin mittaus, niin menetelmien tulokset poikkeavat luonnollisesti toisistaan. Myös lajinvaihto kesken mittaustunnin voi aiheuttaa poikkeaman. Emersonin toistomittauksissa hajontaa saattaa aiheuttaa se, että viiden toiston mittaussarjassa koneen nopeuden ollessa 1000 m/min ensimmäisen ja viimeisen toiston välillä paperia on valmistunut jo viisi kilometriä. Nämä erot menetelmien välillä tulee huomioida tuloksia tarkasteltaessa.

8.4 Ongelmat ja häiriötilanteet

Ongelmia aiheutti DPA:n mittauksen aloituspaineen suuri vaihtelu asetusarvosta, jolloin laite ei antanut mittaustulosta lainkaan, se jäi liian pieneksi tai suureksi. Aloituspaineen tulisi olla 2,40 kPa alipainetta. Jos painevaihtelua on mittauksen alussa enemmän kuin +/- 0,2 kPa, tulisi sen syy tutkia. Tällöin vika voi olla manuaalisessa paineensäädössä tai sähköisessä säätimessä. Häiriö laitteen toiminnassa huomattiin, kun DPA ei antanut mittaustulosta poikkeuksellisen pitkään aikaan, eikä reagoinut suhteellisen suuriin pöly-

tasoihin lainkaan. Tämän seurauksena molemmat säätimet vaihdettiin ennen kahta viimeistä mittauspäivää, ja aloituspaine pysyi taas asetusarvossaan. Myös tehtaan paineilmajärjestelmän käyttövaihteluista aiheutuvan paineen mahdollisen riittämättömyyden, epäiltiin vaikuttavan satunnaisiin painevaihteluihin mittalaitteessa ja virheisiin tuloksissa.

DPA:n pölyä paperin pinnasta keräävä mittapää on kosketuksissa paperirataan heti traversoivan mittapalkin jälkeen. Kahteen otteeseen epäiltiin DPA:n mittapään pullistavan hieman paperirataa ylöspäin ja vääristävän paksuusprofiilimittausta. Tarkastelut kuitenkin osoittivat, että DPA:n mittapää ei vaikuttanut häiritsevästi mittapalkkiin, vaan vika oli siinä itsessään.



KUVA 18. DPA-pölymittauslaitteen mittapää, paperirata ja mittapalkki.

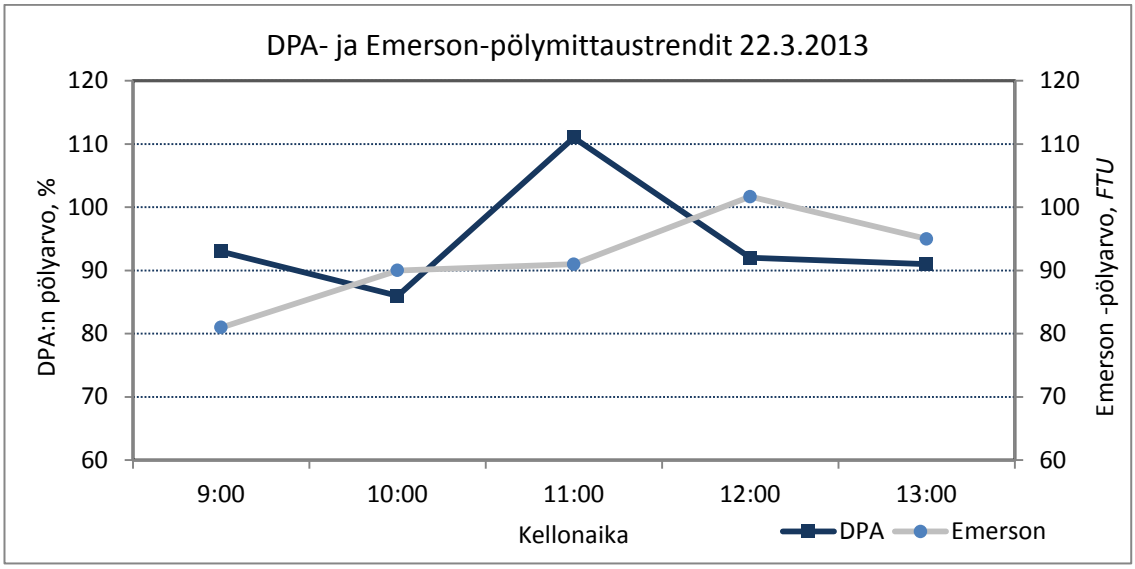
9 Pölymittaukset

9.1 Päiväkohtaiset pölymittaustrendit

Mittauksissa pyrittiin pitkiin ja yhtenäisiin mittaussarjoihin, joissa todennettaisiin selkeitä pölytason vaihtelua. Tämä oli kuitenkin harvoin mahdollista pitkien paperilajien, ratakatkojen, DPA:n häiriöiden ja muiden mittausesteiden vuoksi.

9.1.1 Pieni ja kohtuullinen pölytaso

Kohtuullisen pienellä ja kohtuullisella pölytasolla 22.3 DPA:n ja Emersonin tulokset ovat yhtä suurempaa poikkeusta lukuun ottamatta samalla suuruustasolla. Koko mittauspäivän ajan ajettiin samaa paperilajia, ilman suuria pölytasoon vaikuttaneita prosessimuutoksia.

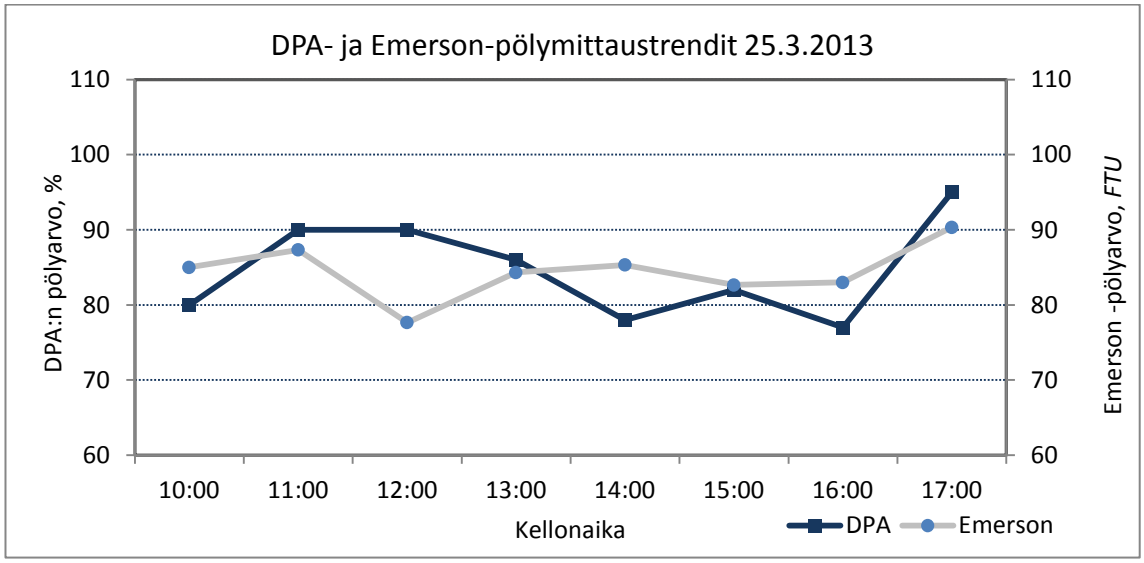


KUVIO 5. DPA- ja Emerson-pölymittaustrendit 22.3.2013.

TAULUKKO 3. Emerson-pölymittaukset 22.3.2013.

Emerson-pölymittaukset 22.3.2013					Toistomittaukset, *FTU*						
Paperilaji	**Neliöm. *g/m²***	**Konenop. *m/min***	**Rullanro.**	**Aika**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ka.**	**DPA:n pölyarvo, %**
	80	1019	14098	8:25	73	77	79	87	91	**81**	82
	80	1019	14099	9:25	76	86	90	94	105	**90**	93
	80	1019	14100	10:25	86	87	89	97	112	**91**	86
	80	1019	14101	11:25	99	99	103	103	106	**102**	111
	80	1019	14102	12:25	94	95	95	95	96	**95**	92

Pölytaso oli 25.3 kohtuullisen pieni ja sen vaihtelu erittäin pientä. Koko mittauspäivän ajan ajettiin samaa paperilajia, ilman suuria pölytasoon vaikuttaneita prosessimuutoksia. DPA:n ja Emersonin tulokset ovat erittäin lähellä toisiaan. Vaikka niiden muutos onkin ajoittain eri suuntainen, niin sillä ei ole ratkaisevaa merkitystä näin pienellä vaihteluvälillä, jossa sen kasvun tai laskun saattaa aiheuttaa jo pelkästään mittausvirhe.



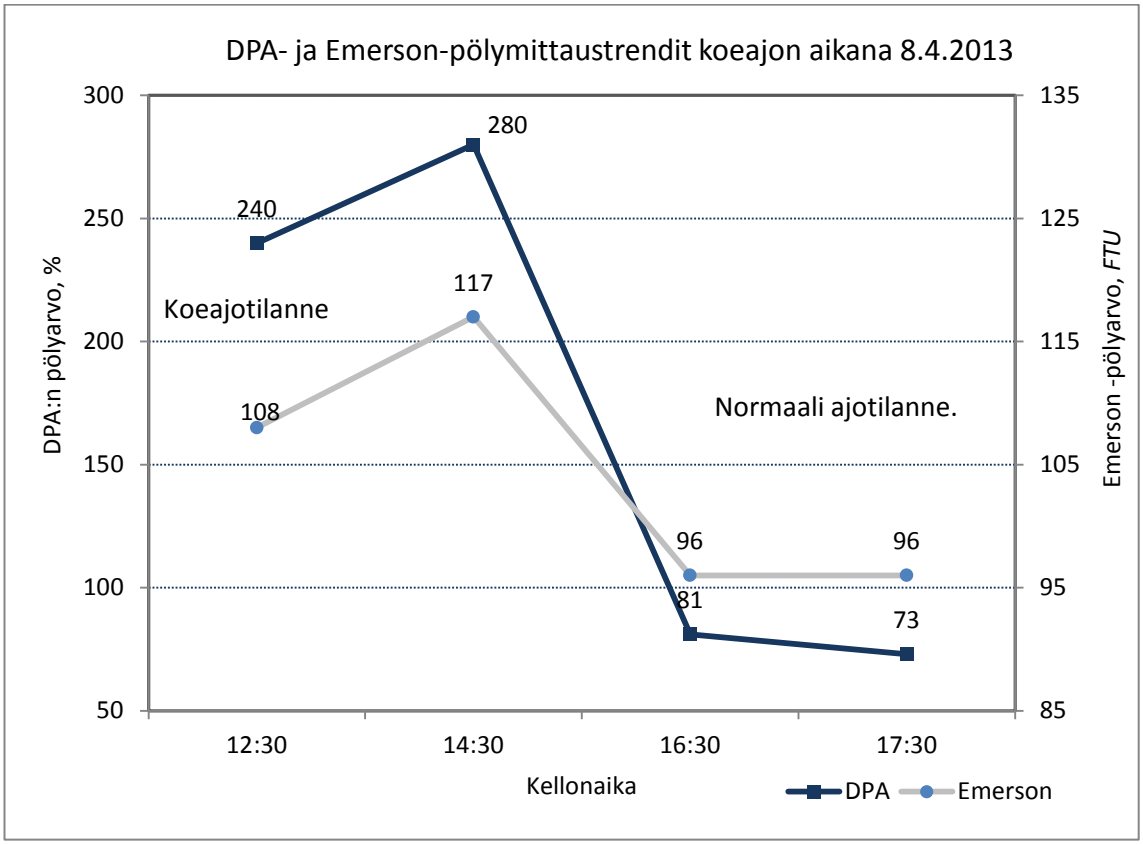
KUVIO 6. DPA- ja Emerson-pölymittaustrendit 25.3.2013.

TAULUKKO 4. Emerson-pölymittaukset 25.3.2013.

Emerson-pölymittaukset 25.3.2013					Toistomittaukset, *FTU*						
Paperilaji	**Neliöm. *g/m²***	**Konenop. *m/min***	**Rullanro.**	**Aika**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ka.**	**DPA:n pölyarvo, %**
	60	1100	14175	9:35	79	83	85	87	88	**85**	80
	60	1100	14175	10:35	84	85	86	91	94	**87**	90
	60	1100	14176	11:20	74	75	76	82	96	**78**	90
	60	1100	14177	12:40	81	83	85	85	87	**84**	86
	60	1100	14178	13:35	81	81	82	93	94	**85**	78
	60	1100	14179	14:35	69	77	79	92	95	**83**	82
	60	1100	14180	15:45	79	80	84	85	89	**83**	77
	60	1100	14180	16:35	81	89	91	91	91	**90**	95

9.1.2 Suuri pölytaso

Pölytaso oli erittäin korkealla 8.4 ajetuissa koeajoissa. DPA reagoi suureen pölymäärään voimakkaasti, ja sen antama pölyarvo nousee moninkertaisesti Emersonin asteikkoon verrattuna. Emersonin pölyarvot olivat poikkeuksellisen suuria, josta voidaan todeta, että DPA:n mittaama taso oli todellinen. Tämä todennettiin myös videokuvalla, jossa DPA mittauksen loputtua puhdistusvaiheessa puhaltaa suodattimesta valtavan pölypilven. Koeajon päätyttyä pölytaso laski hiljalleen normaaliksi koeajossa kokeiltujen aineiden poistuessa prosessista. Koeajo-ohje, DPA:n mittaustrendi ja rullatiedot on esitetty liitteessä 3 ja arvioitu luvussa 10.1.



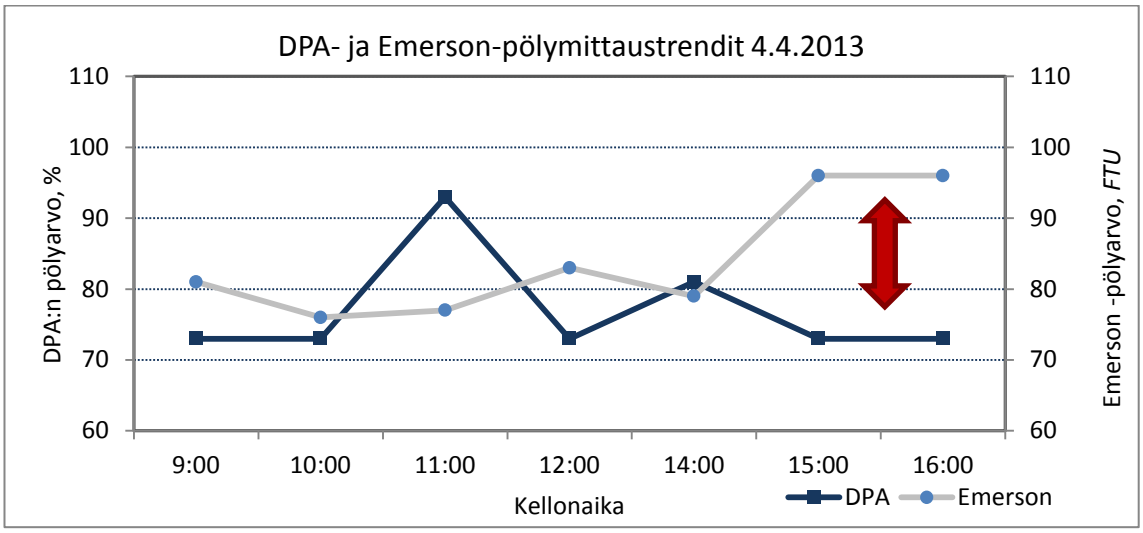
KUVIO 7. DPA- ja Emerson-pölymittaustrendit 25.3.2013.

TAULUKKO 5. Emerson-pölymittaukset 8.4.2013.

Emerson-pölymittaukset 8.4.2013					Toistomittaukset, *FTU*						
Paperilaji	**Neliöm. *g/m²***	**Konenop. *m/min***	**Rullanro.**	**Aika**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ka.**	**DPA:n pölyarvo, %**
	90	962	14510	13:50	105	109	119	122	137	**117**	280
	90	962	14513	15:55	90	94	95	99	112	**96**	81
	90	962	14514	16:55	86	92	97	100	104	**96**	73

9.1.3 DPA:n aloituspaineen vaikutus mittaustuloksiin

Epäilyksiä DPA:n toimintahäiriöstä herättivät 4.4 tehdyt mittaukset ja seurannat. Mittauspäivän aikana DPA pääsi mittausalueelle vain kahdesti, jääden muuten pienimpään mahdolliseen arvoon. Punaisella nuolella kuviossa 8 on osoitettu tilanne, jossa DPA ei ole reagoinut todelliseen, kohtuullisen suureen pölytasoon. Sama ilmiö DPA:n mittaustrendissä on esitetty liitteessä 4. Edellisenä päivänä tehdyt useat kokeilut mittausajan lyhentämisestä ja aloituspaineen muuttamisesta, olivat saattaneet vaurioittaa painesäätimiä, jolloin aloituspaine ei pysynyt asetusarvossaan. Tästä johtuen aloituspainetta nostettiin manuaalisesti 8.4 asetusarvon saavuttamiseksi. Tämän jälkeen mittaus toimi seurannan alaisena kaksi päivää, jonka jälkeen sama ongelma palasi ja laitteeseen vaihdettiin uusi sähköinen paineensäädin. Ongelma näytti ratkenneen, kunnes 12.4 aloituspaine vaihteli jälleen. Laitteeseen vaihdettiin vielä manuaalinen paineensäädin 15.4, ja DPA toimi kaksi viimeistä mittauspäivää ainakin aloituspaineen asettumisen osalta.



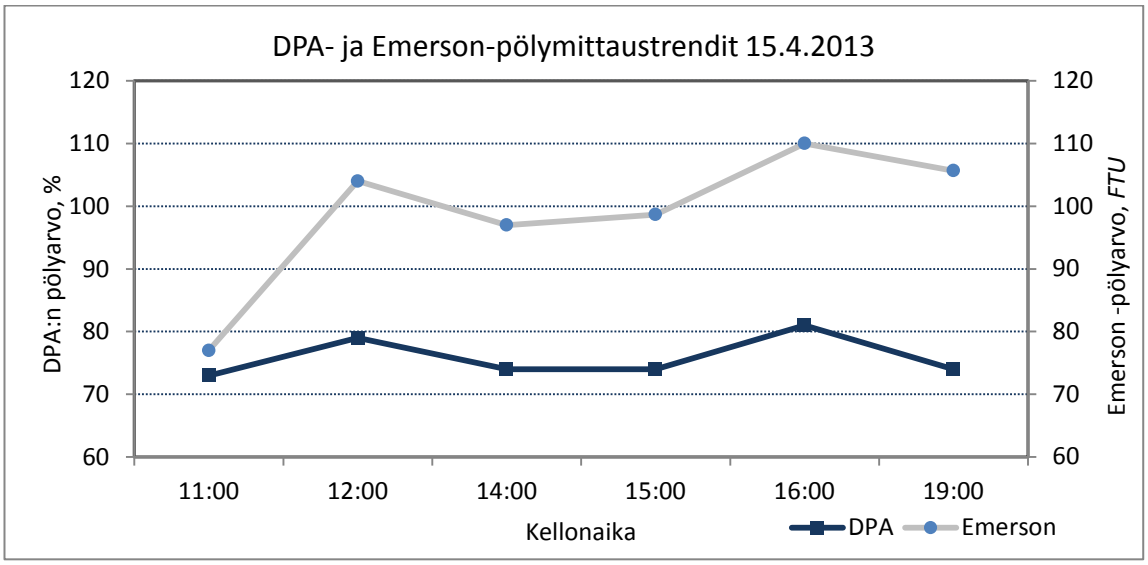
KUVIO 8. DPA- ja Emerson-pölymittaustrendit 4.4.2013.

TAULUKKO 6. Emerson-pölymittaukset 4.4.2013.

Emerson-pölymittaukset 4.4.2013					Toistomittaukset, *FTU*						
Paperilaji	**Neliöm. *g/m²***	**Konenop. *m/min***	**Rullanro.**	**Aika**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ka.**	**DPA:n pölyarvo, %**
	80	1066	14391	8:35	76	77	83	84	86	**81**	73
	80	1066	14392	9:35	72	72	75	82	91	**76**	73
	80	1066	14393	10:25	66	75	78	79	83	**77**	93
	80	1066	14394	11:25	76	78	84	87	87	**83**	73
	90	1012	14398	13:40	72	78	80	80	82	**79**	81
	90	1012	14399	14:40	80	95	95	98	98	**96**	73
	90	1012	14400	15:35	86	88	99	101	103	**96**	73

9.1.4 Mittaustulokset säätimien vaihdon jälkeen

Säätimien vaihdon jälkeen aloituspaine asettui hyvin. PK3:lla oli suunniteltu seisokkipäivä 17.4. Ennen seisokkia 15.4 ajettiin noin vuorokauden ajan samaa paperilajia, jonka neliömassa oli 80 g/m^2. Erittäin pitkästä lajista johtuen, konenopeutta nostettiin tavanomaista korkeammaksi. Tyypillinen ajonopeus lajille on 1020 m/min, ja nyt sitä ajettiin 1100 m/min. Emersonilla mitattu pölytaso oli kyseiselle lajille huomattavasti normaalia korkeampi. Ensin epäiltiin konenopeuden noston lisänneen Emersonin käsivaraisessa mittauksessa tuntunutta paperin karheutta ja kitkaa, jonka seurauksena mustakankaaseen olisi tarttunut enemmän pinta-ainesta vääristäen sameusmääritystä. Emersonin pölytaso kuitenkin säilyi korkeana samassa lajissa 16.4. Ainoat muutokset olivat pieni neliömassan nousu ja nopeuden lasku. Tästä voidaan päätellä, että korkeampi nopeus ei vaikuttanut Emersonin tuloksiin. DPA:n ja Emersonin mittaustulosten välillä on suuri ero, mutta trendien suunnat ovat hyvin samanlaiset.

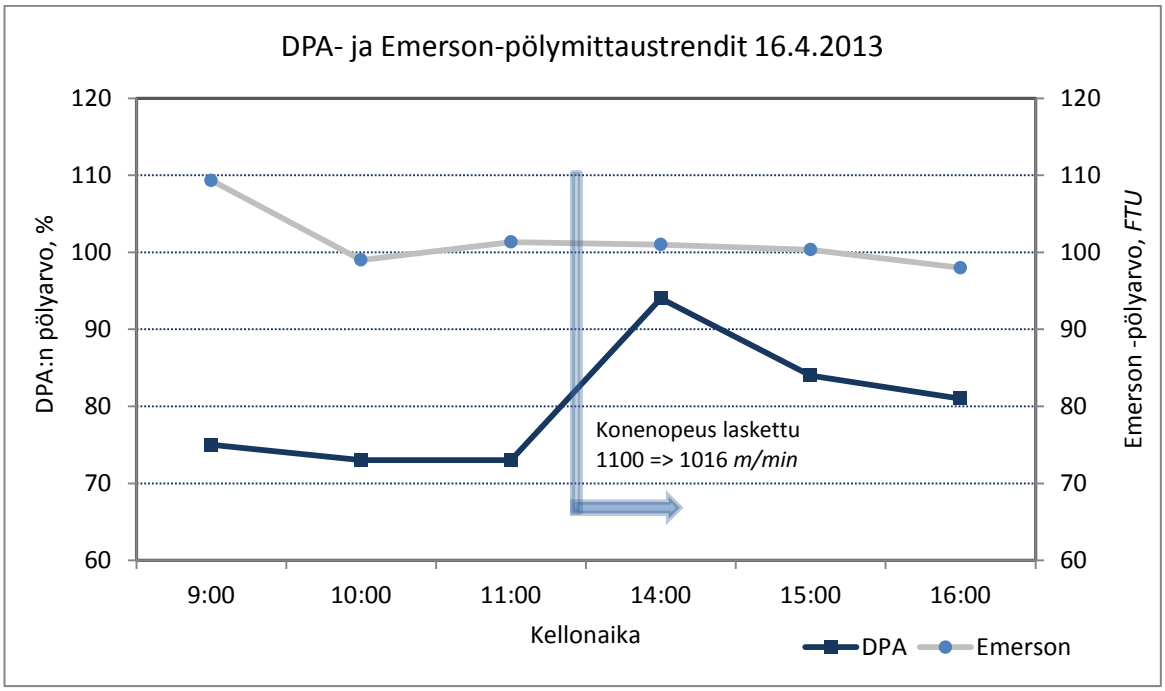


KUVIO 9. DPA- ja Emerson-pölymittaustrendit 15.4.2013.

TAULUKKO 7. Emerson-pölymittaukset 15.4.2013.

Emerson-pölymittaukset 15.4.2013					Toistomittaukset, *FTU*						
Paperilaji	**Neliöm. *g/m²***	**Konenop. *m/min***	**Rullanro.**	**Aika**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ka.**	**DPA:n pölyarvo, %**
	80	1100	14679	10:40	70	72	75	84	85	**77**	73
	80	1100	14680	11:30	94	98	105	109	114	**104**	79
	80	1100	14682	13:30	87	89	99	103	109	**97**	74
	80	1100	14683	14:30	84	87	101	108	110	**99**	74
	80	1100	14684	15:30	102	107	110	113	119	**110**	81
	80	1100	14687	18:25	94	95	106	116	118	**106**	74

Nopeuden laskiessa DPA:n mittaustulos lähenee huomattavasti Emersonin tuloksia. Sama ilmiö on havaittavissa erittäin selkeästi nopeuden ja DPA:n pölytason trendissä liitteessä 5. Säätimien vaihdon jälkeen DPA:n tulokset jäivät selkeästi pienemmiksi kuin Emersonin. Tätä ei kuitenkaan ehditty testata kuin kahden päivän ajan yhdellä paperilajilla, jossa ainoat muuttujat olivat neliömassa ja konenopeus. Havainnoista voitaneen todeta, että tietyillä paperilajeilla suuremmalla nopeudella ajettaessa DPA ei ehdi imeä paperin pinnasta samaa pölymäärää, joka tarttuu Emersonin mustakankaaseen. Yksi vaikuttava tekijä saattaa olla myös nopeuden neliönä nouseva ilmanvastus, joka voi vaikuttaa teknisesti mittapään toimintaan.



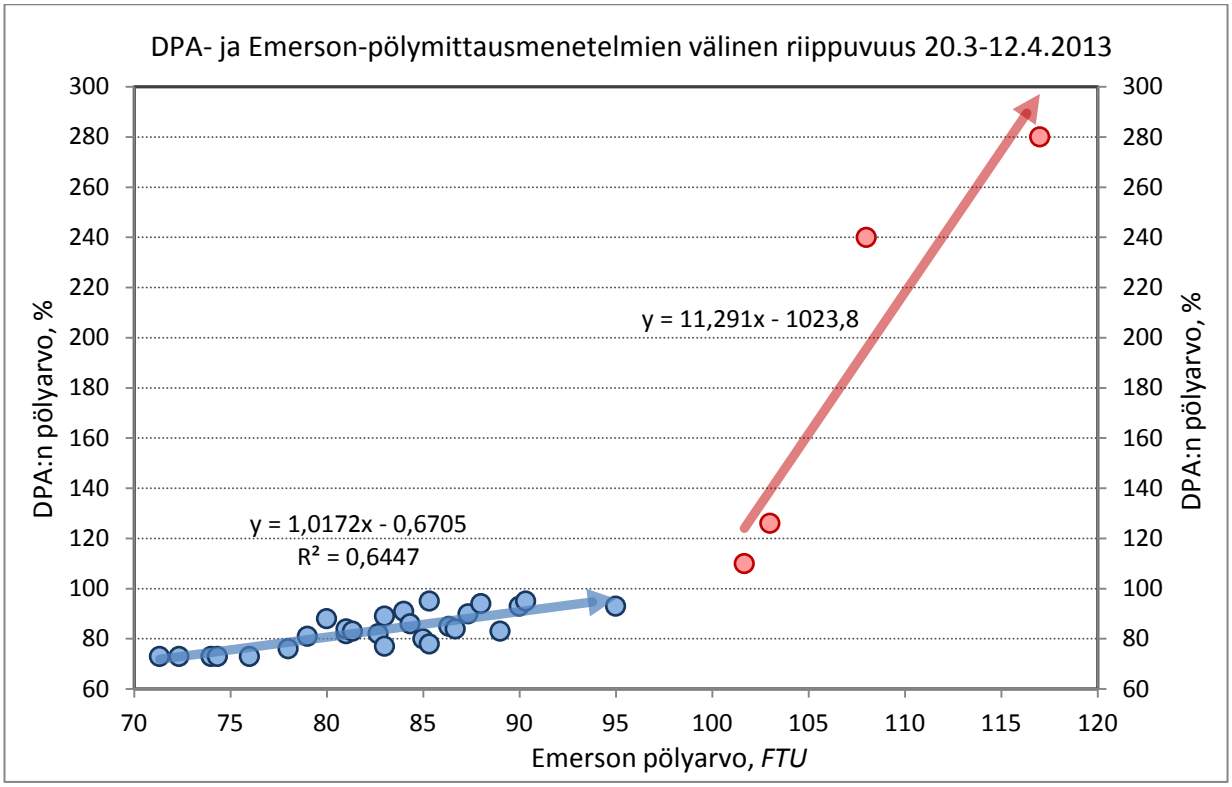
KUVIO 10. DPA- ja Emerson-pölymittaustrendit 16.4.2013.

TAULUKKO 8. Emerson-pölymittaukset 16.4.2013.

Emerson-pölymittaukset 16.4.2013					Toistomittaukset, *FTU*						
Paperilaji	**Neliöm. *g/m²***	**Konenop. *m/min***	**Rullanro.**	**Aika**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ka.**	**DPA:n pölyarvo, %**
	80	1100	14703	8:20	103	108	109	111	116	**109**	75
	80	1100	14704	9:40	93	97	98	102	102	**99**	73
	80	1100	14706	10:40	90	95	103	106	114	**101**	73
	90	1016	14710	13:55	87	94	96	113	114	**101**	94
	90	1016	14711	14:50	87	96	102	103	107	**100**	84
	90	1016	14712	15:50	96	96	97	101	109	**98**	81

9.2 DPA- ja Emerson-pölymittausten korrelaatio

DPA ja Emerson -pölymittausten välillä voidaan todeta selkeä tilastollinen riippuvuus. Pienellä ja kohtuullisella pölytasolla mittaukset korreloivat melko hyvällä tasolla. Pölytason noustessa suureksi, DPA:n pölyarvo nousee moninkertaiseksi Emersonin arvoon nähden. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että kun DPA:n suodattimeen kertyy suuremmilla pölytasoilla tietty pölymäärä, se tukkii suodattimen aiheuttaen nopeasti kasvavan voimakkaan paine-eron, joka puolestaan on verrannollinen DPA:n ilmoittamaan pölyarvoon. Sovittamalla kohtuulliselle ja suurelle pölytasolle omat regressiosuorat, voidaan niiden avulla kasvavasta paine-erosta aiheutuva DPA:n pölyarvon virhe korjata teoriassa laskemalla sille Emersonia vastaava arvo. Samoja yhtälöitä voidaan hyödyntää myös toisinpäin DPA:n kalibroinnissa. Käytännön toteutuksessa tämä kuitenkin vaatisi enemmän mittauksia vakiomittausolosuhteissa.



KUVIO 11. DPA- ja Emerson-pölymittausmenetelmien välinen riippuvuus 20.3-12.4.2013.

TAULUKKO 9. DPA- ja Emerson-pölymittausmenetelmien välisen riippuvuuden regressiotunnusluvut 20.3-12.4.2013.

Regressiotunnusluvut	
Kerroin R	0,80
Korrelaatiokerroin	0,64
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,63
Keskivirhe	4,49
Kulmakerroin	1,02
Kulmakertoimen keskivirhe	0,15
Havainnot	27

9.3 Mittausten virhearvio

Mittausvirhe tarkoittaa mitattavan suureen todellisen arvon ja mitatun arvon eroa. Kun kokeellisessa tutkimuksessa samasta suureesta voidaan tehdä useampia toistomittauksia, niin mittausvirheen suuruudelle on mahdollista antaa arvio. (John R. Taylor, 1997)

Mittauksille tulee tehdä virhearvio, jotta tutkimuksen luotettavuustasoa voidaan määrittää.

9.3.1 Emerson-pölymittausten virhearvio

Yhden Emerson -pölyarvon määrittämiseksi otettiin viisi toistomittausta. Luvuissa 8.3 mainittujen mittausmenetelmien erojen vuoksi päädyttiin poistamaan viiden toistomittauksen suurin ja pienin arvo, jonka jälkeen tulos muodostettiin laskemalla kolmen jäljelle jääneen arvon keskiarvo. Viiden toistomittauksen keskihajontojen keskiarvo oli 6 % ja keskiarvon muodostaneitten 3 %. Keskiarvojen keskivirheiden keskiarvoksi saatiin 1 FTU. Mittaussarjakohtaiset keskihajonnat näkyvät liitteessä 6.

9.3.2 DPA- ja Emerson-pölymittausten korrelaation virhearvio

DPA:n ja Emersonin välinen korrelaatio muodostettiin 20.3-12.4 välisenä aikana mitatuista arvoista, koska säätimien vaihdon jälkeen tuloksien erotus kasvoi merkitsevästi. Pieneltä ja kohtuulliselta pölyalueelta saatiin kyseiseltä aikaväliltä 44 Emersonin ja DPA:n mittaustulosta. Näistä tuloksista poistettiin heti neljä karkeaa virhettä. Mittausaineiston tilastollisen merkitsevyyden toteamiseksi sille laskettiin P-arvo 40 mittauksesta. P-arvoksi saatu tulos 0,0083 tarkoittaa, että aineisto on tilastollisesti merkittävä. Luvus-

sa 8.3 ja 8.4 mainittujen menetelmien erojen ja häiriöiden vuoksi päädyttiin sovittamaan suora ja korrelaatiokerroin pienelle ja kohtuulliselle pölytasolle 27 mittauspisteestä. Suurelle pölytasolle ei tilastollisesti luotettavaa virhearviota tehty mittauspisteiden vähyyden vuoksi. Kaikki mittaustulokset on esitetty liitteessä 6.

TAULUKKO 10. P-arvon merkitsevyystasot (Kaatiala 2011).

P-arvon merkitsevyystasot	
P-arvo	**Merkitsevyystaso**
≤ 0,001	Riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkittävä.
≤ 0,01	Riippuvuus on tilastollisesti merkittävä.
≤ 0,05	Riippuvuus on tilastollisesti melkein merkitsevä
≤ 0,10	Riippuvuus on suuntaa antava

10 DPA:N REAGOINTI PROSESSIMUUTTUJIIN

10.1 Koeajo 8.4.2013

Luottamuksellinen

10.2 Koeajo 11.4.2013

Luottamuksellinen

11 KEHITYSEHDOTUKSET DPA-PÖLYMITTAUSLAITTEESEEN

11.1 Mittausaika

DPA:lle asetettava lyhin mahdollinen mittausaika on hyvin riippuvainen paperikoneen yleisestä pölytasosta. Stora Enso Varkauden tehtaalla ajettava WFU pölyää esimerkiksi sanomalehtipaperiin verrattuna erittäin vähän. Kun pölyäminen on keskimääräisesti pientä, tarvitsee DPA pidemmän mittausajan, jotta suodattimeen kertyy tarpeeksi pölyä tuloksen ilmoittamiseksi. Varkauden tehtaalla lyhin ja parhaiten toimiva mittausaika on 60 min. Tavanomaisella ajo-ohjelmalla pölymittaustulos tunnin välein on riittävä. Mutta lyhyiden, harvinaisten ja etenkin koeajettavien lajien kohdalla lyhyemmästä mittausajasta olisi hyötyä. Puolen tunnin mittausvälillä päästäisiin jo paljon varmemmin kiinni lyhytkestoisten prosessimuuttujien aiheuttamiin pölytasojen muutoksiin.

11.2 Mittausalue

DPA:n lineaarinen mittausväli on melko pieni, eikä tulos ole suurilla pölytasoilla enää oikeassa suhteessa pienen ja kohtuullisen tason pölymäärään. Suodattimen koon ja erilaisen muotoilun vaikutuksia sen tukkeutumiseen suurilla pölymäärillä kannattaisi tutkia, jolloin mittausväliä voitaisiin saada kasvatettua myös rakenteellisesti ilman korjauskerrointa. Laajalla mittausalueella on mahdollista saada tietoa prosessimuutosten vaikutuksesta pölyävyyden kasvuun tai laskuun, sekä pienillä että suurilla pölytasoilla.

11.3 Aloituspaine

DPA:n mittauksen aloituspaineen asettuminen asetusarvoonsa tulisi saada mahdollisimman stabiiliksi. Jos aloituspaine poikkeaa asetusarvosta, se pienentää tai suurentaa mittauksen lopussa olevaa paine-eroa vääristäen mittaustulosta varsinkin pienillä ja kohtuullisilla pölytasoilla. Myös tehtaan paineilmaverkoston, johon DPA kytketään, tulee olla vakaa ja riittävän tehokas. Mieluiten sille tulisi tehdä oma haaroitus, jolloin muu paineilman käyttö ei pääsisi missään olosuhteissa vaikuttamaan mittaukseen.

11.4 Ajonopeuden vaikutus

Viimeisenä mittauspäivänä 16.4 huomattiin, että konenopeudella saattaa olla vaikutusta DPA:n mittaustulokseen. Nopeuden vaikutus mittaustuloksiin on esitetty luvussa 9.1.4. Nykyaikaisen paperikoneen nopeus voi olla 2000 m/min, eli kaksinkertainen Varkauden PK3:n nopeuteen verrattuna. Nopeuden vaikutusta mittaustulokseen kannattaisi tutkia lisää. Suurempi konenopeus voi vaatia suuremman mittauspaineen. Myös pölyä paperin pinnasta imevän mittapään muotoilu voi olla ratkaisevaa.

11.5 Puhdistus

Luotettavan mittaustuloksen saamiseksi DPA:n säännöllinen puhdistaminen on tärkeää. Huolellinen puhdistus vie 20 minuuttia aikaa, mikä on yhtä mittalaitetta kohden varsin paljon. Tätä aikaa voitaisiin helposti lyhentää lisäämällä ohjausyksikköön puhallusnappi ja puhdistusohjeet. Ensimmäisen ja toisen suodattimeen tehtävän vedenlisäyksen jälkeen nappia painettaessa, se käyttäisi laitetta kaksi kertaa puhallustoiminnolla. Kolmannen vedenlisäyskerran jälkeen napinpainallus hoitaisi loppupuhdistuksen, käyttämällä laitetta kymmenen kertaa puhallustoiminnolla, jonka jälkeen mittaus käynnistyisi automaattisesti. Myös suodattimeen voisi tehdä selkeän vedenlisäysyhteen, jolloin vettä ei tarvitsisi lisätä pienestä välistä terävällä ruiskulla. Koneen käydessä, sen alle konttaaminen puhdistuksen suorittamiseksi on aina pieni työturvallisuusriski, eikä uusilla paperikoneilla sinne ole välttämättä edes pääsyä ajon aikana. Näin ollen täysin automaattinen puhdistus olisi paras mahdollinen ratkaisu.

11.6 Kehitystyön haasteet

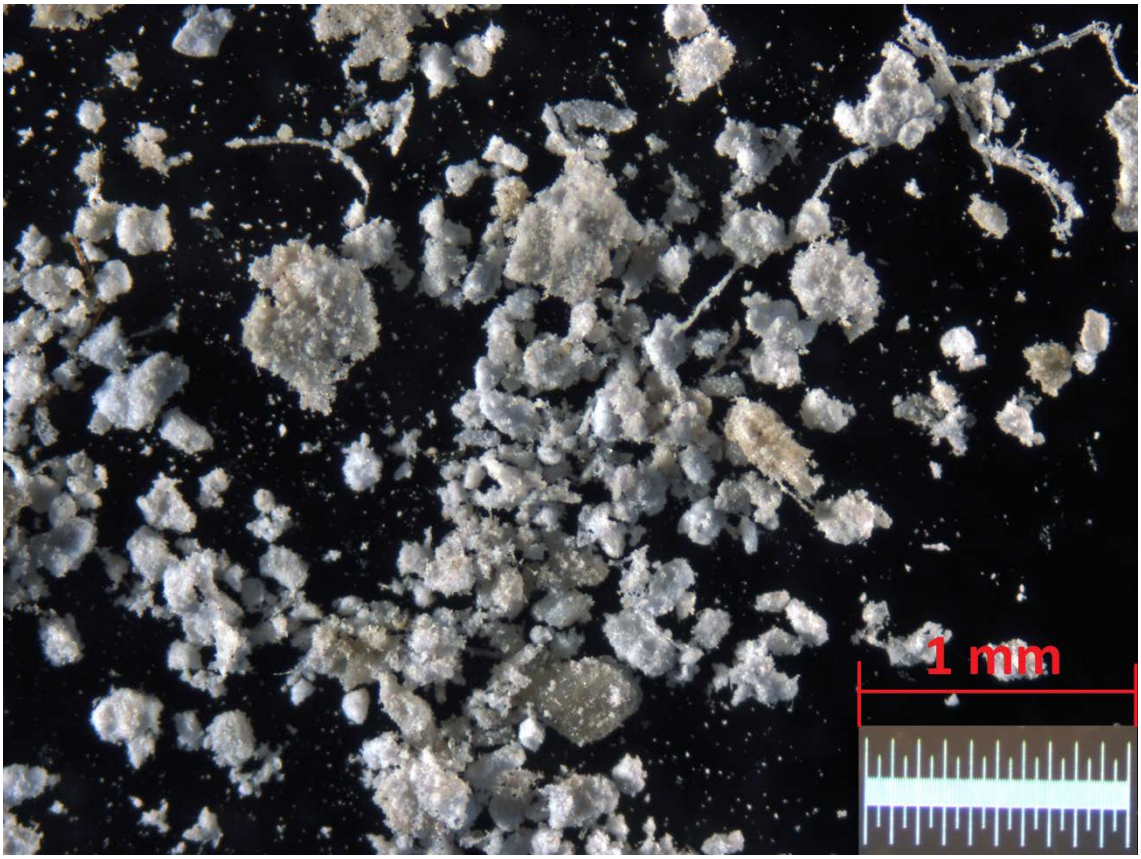
Laitteen kehitystyössä on paljon haasteita. Yksi suurimpia tulee olemaan mittausalueen toimivuus erilaisilla pölypitoisuuksilla, paperilajeilla ja paperikoneilla. Tämä kuitenkin helpottuu, kun DPA saadaan ensin luotettavasti toimimaan yksissä olosuhteissa. DPA:ssa käytettävien komponenttien tulisi olla nykyistä kestävämpiä, koska huoltovapaus on yksi tärkeistä laiteominaisuuksista.

12 PÖLYNÄYTTEIDEN MIKROSKOPOINTI

Pölynäytteiden mikroskooppikuvat otettiin Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriossa.

12.1 WFU:n pölynäyte

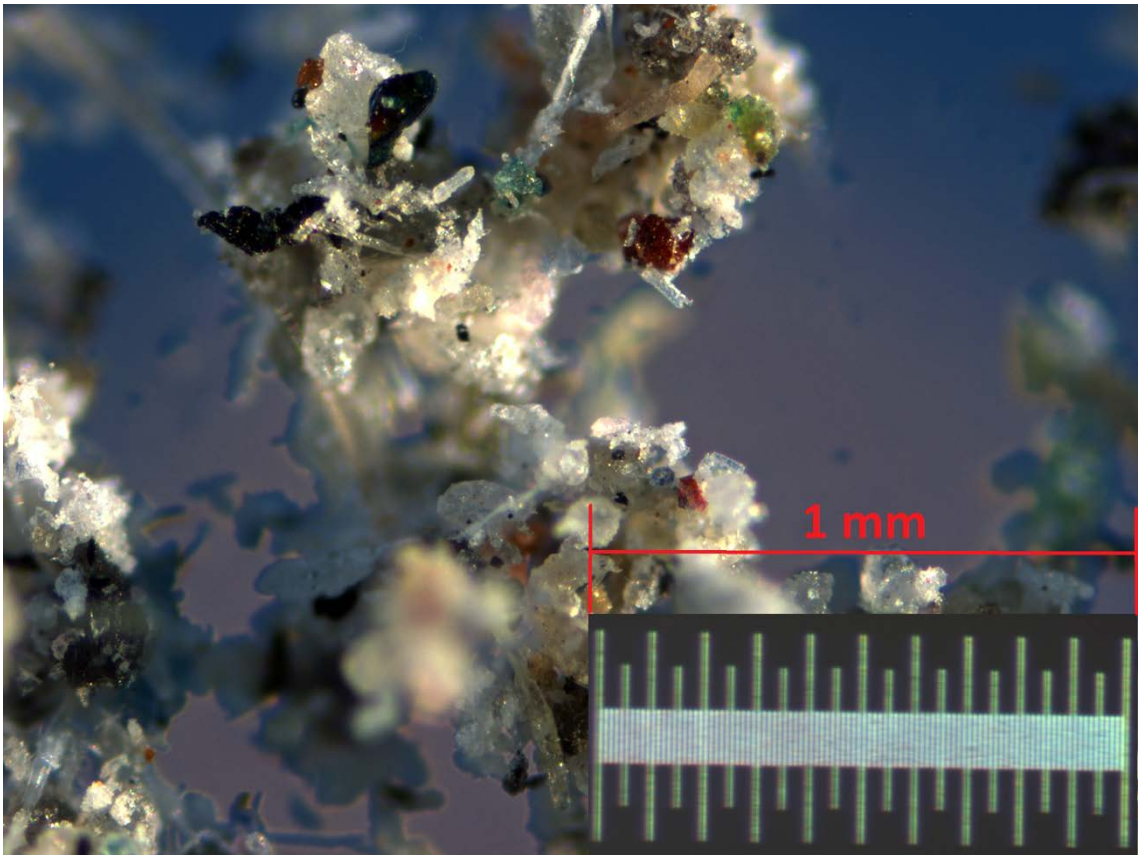
Näytteessä näkyy muutamia heikosti sitoutuneita ja rispaantuneita paperikuituja. Suurin osa pölynäytteen pölystä koostuu WFU:ssa täyteaineena käytettävästä hiukkasmuodoltaan kristallimaisesta kalsiumkarbonaatista.



KUVA 19. Mikroskooppikuva WFU:n pölynäytteestä

12.2 Sanomalehtipaperin pölynäyte

Sanomalehtipaperin pölynäytteessä näkyvät kaikki uusiomassalle tyypilliset ainesosat. Mikroskooppikuvasta voidaan erottaa siistauksesta huolimatta massaan jäänyttä painomustetta, katkenneita ja ohuita paperikuidun palasia sekä täyteainepartikkeleita.



KUVA 20. Sanomalehtipaperin pölynäytteessä otettu mikroskooppikuva.

13 JOHTOPÄÄTÖKSET

DPA ja Emerson -pölymittausmenetelmien välillä on selkeä tilastollinen riippuvuus. Pienillä ja kohtuullisilla pölytasoilla DPA:n ja Emersonin väliset mittausarvojen erot ovat pieniä ja niiden kasvu on lineaarista. Suureen pölymäärään DPA reagoi voimakkaasti, ja sen antama pölyarvo nousee moninkertaisesti Emersonin asteikkoon verrattuna. Tämä johtunee siitä, että kun DPA:n suodattimeen kertyy suuremmilla pölytasoilla tietty pölymäärä, se tukkii suodattimen aiheuttaen nopeasti kasvavan voimakkaan paineeron, joka on puolestaan verrannollinen DPA:n ilmoittamaan pölyarvoon.

DPA reagoi myös selvästi pölytasoa nostaviin prosessimuutoksiin. Kehittämällä laitteen mittausaluetta ja toimintavarmuutta, siitä on mahdollista saada hyvä työkalu paperikoneen pölytason seurantaan. Laitetta voitaisiin hyödyntää erityisesti koeajoissa, jolloin päästäisiin kiinni prosessimuuttujien aiheuttamiin pölytason muutoksiin. Paperilaji ja päiväkohtaisesta pölytason seurannasta on apua paperin pölyämättömyyden laadunhallinnassa. Myös reklamaatioiden todellisuutta liiallisesta pölyävyydestä voidaan arvioida tallennetun mittaustiedon perusteella.

LÄHTEET

ACA Systems Oy. 2013. Yrityksen kotisivut. Luettu 5.5.2013. http://www.aca.fi/

Aittamaa, T. 2007. Development of laboratory device for linting and dusting measurement in the POLYTEST-project. Paperitekniikan koulutusohjelma. International Pulp and Paper Technology. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Allen, R. Stoffel, J. & Klass, C. Hewlett-Packard Development Company. 2010. August 2010. Laser Printer Performance and Reliability Degrades When using Low-Quality Cutsheet Papers.

Dr Varnell, D. 2009. Dramatic enhancements to the Ink-jet printability of uncoated paper. TAPPI Papercon`09 conference. May 31 - June 3, 2009. St.Louis. MO.

Haaramo, A. 2010. Pölynmittalaite LPA ja sanomalehti- ja luettelopaperin pölyäminen. Paperitekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Hentunen, P. 1998. Paperikoneen kemia 18. – 19.11.1998. Luentomateriaali. AEL/METSKO. Jämsänkoski.

Hulkkonen, J. Production Manager at Stora Enso. 2013. Tietoja PK3:n tekniikasta. Puhelinhaastattelu. 2.5.2013.

Häggblom, U. & Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus II. Helsinki. Opetushallitus.

Ionides, G. 1984. The linting tendency of newsprint – a general review. Paperi ja puu – Papper och Trä 4/1984, 298-306.

Kaatiala, P. 2011. TkL, Matematiikan ja tietotekniikan lehtori. Tilastollinen tietojenkäsittely. Luentomateriaali. 3.2.2011. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Komulainen, P. Independent Consultant. 2013. Ohjeita DPA:n pölytrendi koeajopäivän aikana 8.4. Sähköpostiviesti. Pekka.Komulainen@clarinet.fi. Luettu 28.4.2013.

Kurra, J. 2008. Development and application of acoustic air flow paper dust measuring device in POLYTEST-project. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. International Pulp and Paper Technology. Tampere.

Levlin, J-E. & Söderhjelm, L. 1999. Papermaking Science and Technology: Pulp and Paper Testing. Helsinki. Fapet Oy.

McDonald, D. & Tchepel, M. 2008. The effect of dryer section operation on the linting propensity of newsprint. ATIP 2/2008, 16-24

Mustalahti, H. 2013. Toimitusjohtaja ACA Systems Oy. 2013. Kuva. Sähköpostiviesti. heikki.mustalahti@aca.fi. Luettu 28.4.2013.

Specialty MINERALS. 2012. What is Nano or Ultrafine Precipitated Calcium Carbonate?. Luettu 25.4.2013. http://www.specialtyminerals.com/our-minerals/what-is-nano-pcc/

Stora Enso Oyj. 2013. Key facts of Stora Enso Oyj, Varkaus Mill. Luettu 24.4.2013. http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/varkaus-mill/Pages/from-wood-to-printed-newspaper.aspx

Stora Enso Oyj. 2013. Varkauden tehdas. Intranet. Laatukäsikirjasto.

Stora Enso Oyj. 2013. Varkauden tehdas. Intranet. Paperilajireseptit.

Stora Enso Oyj. 2013. Varkauden tehdas. Savcor Wedge -prosessianalyysijärjestelmä.

Stora Enso Oyj. 2013. Varkauden tehdas. Valtti Millman -ohjelmisto.

Stora Enso Oyj. 2013. Varkauden tehdas. Intranet. Koeajo-ohjelmat.

Taylor, J. 1997. An Introduction to Error Analysis. The Study of Uncertainties in Physical Sciences. 2nd ed. University Science Books.

VTT / Prowledge Oy 2010. KnowPap 12.0 2010. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Luettu 23.4.

Wood, J. & Karnis, A. 1992. Linting propensity of mechanical pulps. Pulp & Paper Canada.

LIITTEET

Liite 1. Luottamuksellinen

Liite 2. Luottamuksellinen

Liite 3. Luottamuksellinen

Liite 4. Luottamuksellinen

Liite 5. Luottamuksellinen

Liite 6. Kaikki mittaustulokset 20.3-16.4.2013

1(2)

Emerson -pölymittaukset 20.3-16.4.2013											
		Toistomittaukset, *FTU*					%	%	*FTU*	*FTU*	%
Sarja	Päivämäärä	1	2	3	4	5	Kaikkien toisto-mitttausten keski-hajonta	Hyväksyttyjen toistomittausten keskihajonta	Ka:n keski-virhe	Ka.	DPA:n pölyarvo
1	20.3.2013	78	83	87	89	94	5	2	1	86	85
2	20.3.2013	Laboratorion mittaama								103	126
3	21.3.2013	80	81	89	94	99	7	5	2	88	94
4	21.3.2013	79	82	87	87	90	4	2	1	85	95
5	21.3.2013	71	79	85	88	93	8	4	2	84	91
6	21.3.2013	66	77	85	87	88	8	4	2	83	89
7	22.3.2013	73	77	79	87	91	7	4	2	81	82
8	22.3.2013	76	86	90	94	105	10	3	1	90	93
9	22.3.2013	86	87	89	97	112	10	4	2	91	110
10	22.3.2013	99	99	103	103	106	3	2	1	102	110
11	22.3.2013	94	95	95	95	96	1	0	0	95	93
12	25.3.2013	79	83	85	87	88	3	2	1	85	80
13	25.3.2013	84	85	86	91	94	4	3	1	87	90
14	25.3.2013	74	75	76	82	96	8	3	1	78	90
15	25.3.2013	81	83	85	85	87	2	1	0	84	86
16	25.3.2013	81	81	82	93	94	6	5	2	85	78
17	25.3.2013	69	77	79	92	95	10	7	3	83	82
18	25.3.2013	79	80	84	85	89	4	2	1	83	77
19	25.3.2013	81	89	91	91	91	4	1	0	90	95
20	27.3.2013	61	77	77	78	87	8	0	0	77	94
21	27.3.2013	80	82	82	87	89	3	2	1	84	107
22	27.3.2013	71	72	73	77	91	7	2	1	74	96
23	27.3.2013	69	86	86	88	93	8	1	0	87	84
24	28.3.2013	70	70	70	74	84	5	2	1	71	73
25	28.3.2013		66	82	88		9	9	4	85	100
26	28.3.2013	72	81	81	81	85	4	0	0	81	84
27	3.4.2013	68	68	74	75	78	4	3	1	72	73
28	4.4.2013	76	77	83	84	86	4	3	1	81	73
29	4.4.2013	72	72	75	82	91	7	4	2	76	73
30	4.4.2013	66	75	78	79	83	6	2	1	77	93
31	4.4.2013	76	78	84	87	87	5	4	2	83	73
32	4.4.2013	72	78	80	80	82	3	1	0	79	81
33	4.4.2013	80	95	95	98	98	7	1	1	96	73
34	4.4.2013	86	88	99	101	103	7	6	2	96	73

35	5.4.2013	71	74	78	86	92	8	5	2	79	107
36	5.4.2013	73	74	78	82	83	4	3	1	78	76
37	8.4.2013	Laboratorion mittaama								108	240
38	8.4.2013	105	109	119	122	137	11	6	2	117	280
39	8.4.2013	90	94	95	99	112	8	2	1	96	81
40	8.4.2013	86	92	97	100	104	6	3	1	96	73
41	9.4.2013	72	73	77	81	88	6	3	1	77	91
42	9.4.2013	66	68	69	70	79	4	1	0	69	81
43	11.4.2013	70	71	76	79	92	8	3	1	75	89
44	11.4.2013	72	76	83	85	85	5	4	2	81	83
45	11.4.2013	73	78	81	81	92	6	1	1	80	88
46	12.4.2013	68	72	73	78	85	6	3	1	74	73
47	12.4.2013	71	72	75	75	82	4	1	1	74	73
48	12.4.2013	73	81	91	95	96	9	6	2	89	83
Mittaus- ja tulopaineensäädin vaihdettu											
49	15.4.2013	70	72	75	84	85	6	5	2	77	73
50	15.4.2013	94	98	105	109	114	7	5	2	104	79
51	15.4.2013	87	89	99	103	109	8	6	2	97	74
52	15.4.2013	84	87	101	108	110	11	9	4	99	74
53	15.4.2013	102	107	110	113	119	6	2	1	110	81
54	15.4.2013	94	95	106	116	118	10	9	4	106	74
55	16.4.2013	103	108	109	111	116	4	1	1	109	75
56	16.4.2013	93	97	98	102	102	3	2	1	99	73
57	16.4.2013	90	95	103	106	114	8	5	2	101	73
58	16.4.2013	87	94	96	113	114	11	9	3	101	94
59	16.4.2013	87	96	102	103	107	7	3	1	100	84
60	16.4.2013	96	96	97	101	109	5	2	1	98	81
Keskihajontojen ja keskivirheen keskiarvot							**6**	**3**	**1**		

Liite 7. Luottamuksellinen

Liite 8. Luottamuksellinen

Liite 9. Luottamuksellinen