



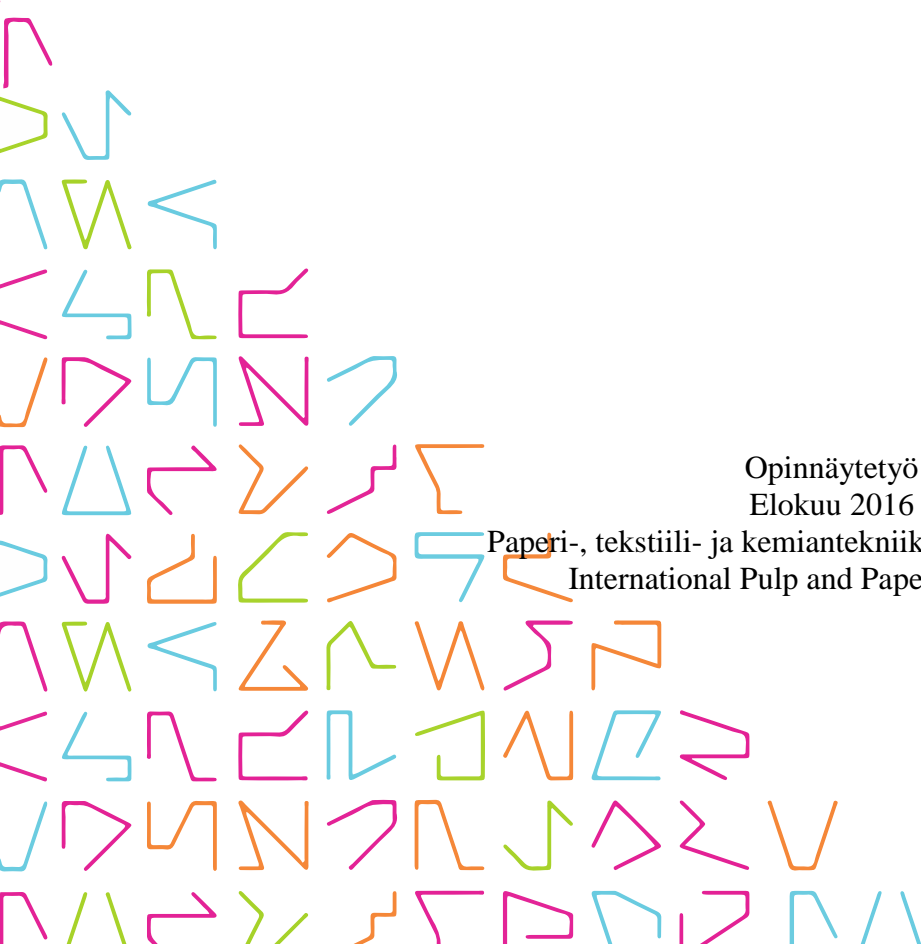
TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# FILMINSIIRTOPÄÄLLYSTYKSESTÄ JOHTUVA JÄLKIKUIVATUSOSAN PÖLYÄMINEN – VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA MITTAAMINEN

Taneli Myllykoski

Opinnäytetyö  
Elokuu 2016

Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
International Pulp and Paper Technology



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
International Pulp and Paper Technology

### MYLLYKOSKI TANELI

Filminsiirtopäällystyksestä johtuva jälkikuivatusosan pölyäminen – vaikuttavat tekijät ja mittaaminen

Opinnäytetyö 73 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Elokuu 2016

---

Tämän opinnäytetyön on teettänyt Stora Enso Oyj ja opinnäytetyö on osa Oulun tehtaan PK7:n pölyprojektia, jonka tavoitteena on saada paperin esipäällystyksestä johtuva pölyongelma hallintaan. Filminsiirtopäällistykseen jälkeisessä kuivatusvaiheessa päällistettä irtoaa rainasta, aiheuttaen pölyn kertymisen paperikoneen rakenteisiin. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää PK7:lle kyseiseen tehtävään sopiva pölymittari, perehtyä filminsiirtopäällystyksestä johtuvan pölyämisen vaikuttaviin tekijöihin ja löytää mahdollisia korrelaatioita pölymittareiden ja prosessimuuttujien välille.

Työn teoriaosassa perehdyttiin filminsiirtopäällystyksestä johtuvan pölyämisen vaikuttaviin tekijöihin. Kirjallisuusselvityksessä kävi ilmi, että aiheeseen suoraan liittyvää kirjallisuutta ei ole saatavilla. Teoriaosa rakennettiin huolellisesti mietittyjen hypoteesien varaan.

Kokeellisessa osassa suoritettiin hankittujen pölymittareiden (Sintrol Dumo ja S303) käyttöönotto, etsittiin mittareille optimaalista mittaustaikaa ja tutkittiin pölymittareiden soveltuvuutta vaadittuun tehtävään. Rainan pölyävyyden tulkintaan käytettiin lisäksi laboratoriossa suoritettuja LintView-mittauksia. Tarkoitus oli lisäksi selvittää, onko hankituilla pölymittareilla korrelaatio paperin pintapölyävyyttä mittaavan LintView-pölymittauksen kanssa. Kokeellisen osan loppuvaiheessa suoritettiin koeajoja, joissa selvitettiin kuinka pölymittarit reagoivat prosessimuutoksiin.

Kokeellisen osan perusteella voidaan todeta, että Sintrol Dumo voi olla hyödyllinen mittaustarvikkeena rainan pölyävyyden todentamiseen. Mittaustarkkuus ja -herkkyys ovat riittäviä, mutta luotettavien mittaustulosten kannalta oikean mittaustaikojen löytäminen on ratkaisevassa roolissa. Saatujen tulosten perusteella Sintrol Dumon mittaustuloksilla ja LintView-mittauksella on korrelaatio, mutta luotettavien tulosten aikaansaamiseksi on tehtävä tarkempia kokeita. Teorian ja pienimuotoisten koeajojen perusteella voidaan todeta, että pohjapaperin rakenne, erityisesti huokoisuus ja karheus, vaikuttavat eniten rainan pölyävyyteen.

---

Asiasanat: filminsiirtopäällistys, pölymittaus, pastan penetraatio

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
International Pulp and Paper Technology

**MYLLYKOSKI TANELI**

Film coating dust problem – affecting factors and measuring

Bachelor's thesis 73 pages, appendices 2 pages  
August 2016

---

Stora Enso Oyj has commissioned this thesis and it is a part of the PM7 dust project in the Oulu mill. The target of the project is to reduce the PM7 pre-coating dust problem. The dust is caused when coating colour separates from the paper web after processing in the film press coating unit. The purpose of the thesis was to find a suitable dust monitoring system for PM7, discover what causes the dust after the film press unit and find correlations between measurements and process variables.

Literature that directly matches this topic is not available. Therefore the theoretical part is based on hypotheses that cover widely the whole problem.

The experimental describes the startup and optimization of the measurements from the acquired dust monitoring devices. The devices acquired were Sintrol Dumo and Sintrol S303. In addition, LintView laboratory dust measurements were made to give collateral measurements. One target was also to find out if there is a correlation between LintView and Sintrol dust monitors. At the end of the experimental part a few trials were made to test the dust monitors capability to measure dusting in the desired way in this application.

From the results it can be said that Sintrol Dumo could be a useful dust measurement device for this application. Measurement accuracy is sufficient if the device is located in the right measurement place. Sintrol Dumo and LintView have a correlation but for results that are more reliable, trials that are more precise have to be conducted. As a conclusion from the thesis the base papers structure is the most important factor which contributes to the dust problem. Porosity and roughness are especially important values.

---

Key words: film coating, dusting, coating colour penetration

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	POHJAPAPERIN VAIKUTUS PASTAN PENETRAATIOON.....	10
2.1	Huokoisuus ja huokoskokojakauma .....	10
2.2	Z-suuntainen tuhkajakauma .....	13
2.3	Sileys ja karheus .....	16
2.3.1	Filminsiirto - ja teräpäällistyksen vaikutus karheuteen sekä paperin pölyävyyteen.....	17
2.4	Retentio .....	20
2.5	Formaatio .....	20
2.6	Absorptio-ominaisuudet.....	21
3	FILMINSIIRTOPÄÄLLYSTYS .....	23
3.1	Filmin muodostaminen .....	23
3.1.1	Applikointitelan kovuus .....	24
3.1.2	Sileä sauva.....	24
3.2	Pastan käyttäytyminen applikointinipissä.....	25
3.3	Filmin halkeaminen .....	25
3.4	Filminsiirtopäällistyksen ongelmia .....	27
3.5	Pohjapaperin vaikutus filminsiirtopäällistykseen .....	27
4	PÄÄLLYSTEEN KUIVATUS .....	28
4.1	Rainankäntölaite (kääntöleiju) .....	30
4.2	Sähköinfra .....	30
4.3	Ilmakuivatus.....	31
4.4	Sylinterikuivatus .....	32
5	PÄÄLLYSTYSPASTA.....	33
5.1	Pigmentti .....	33
5.1.1	Kalsiumkarbonaatti (CaCO <sub>3</sub> ) .....	33
5.2	Sideaineet.....	34
5.2.1	Tärkkelys.....	35
5.2.2	Polymeeridispersiot.....	35
5.3	Reologia .....	36
5.3.1	Leikkausnopeudesta ja -ajasta riippuva reologia .....	37
5.3.2	Viskositeetin vaikutus pastoihin .....	38
5.4	Vesiretentio .....	38
5.4.1	Veden erottuminen päällistysasemalla ja siihen vaikuttavat tekijät.....	41
5.5	Keräilypasta .....	42

5.6 Linkopasta.....	42
6 PAPERIN PÖLYÄVYYDEN MITTAAMINEN .....	45
6.1 LintView .....	45
6.2 Sintrol Dumo -ympäristöpölymittari ja S303 .....	46
7 KOKEELLINEN OSA .....	49
7.1 Pölymittareiden käyttöönotto sekä soveltuvuus .....	49
7.1.1 I-vaihe 3.3.2016–12.4.2016 .....	49
7.1.2 Tulokset.....	49
7.1.3 Johtopäätökset.....	51
7.1.4 II-vaihe 13.4.2016–29.4.2016 .....	52
7.1.5 Tulokset.....	52
7.1.6 Johtopäätökset.....	53
7.2 Retentiokoeajojen vaikutus pölyävyyteen .....	54
7.2.1 Koeajo I 8.12.2015–20.1.2016 Solenis Perform PC820, SP7200 ja PAC .....	55
7.2.2 Tulokset.....	56
7.2.3 Johtopäätökset.....	56
7.2.4 Koeajo II 5.3.2016–21.3.2016 Solenis Polymeeri PC830, SP7200 ja PAC .....	57
7.2.5 Tulokset.....	57
7.2.6 Johtopäätökset.....	58
7.2.7 Koeajo III 29.3.2016–12.4.2016 Kemira Fennopol K7526P ja Fennosil 495 (Silica).....	58
7.2.8 Tulokset.....	59
7.2.9 Johtopäätökset.....	60
7.3 Päällystemäärän muuttaminen 25.4.2016 .....	60
7.3.1 Tulokset.....	61
7.3.2 Johtopäätökset.....	62
7.4 Sideainesuhteiden muuttaminen 27.4.2016 .....	62
7.4.1 Tulokset.....	63
7.4.2 Johtopäätökset.....	64
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	65
8.1 Pölymittarit .....	65
8.2 Yhteenveto .....	67
LÄHTEET .....	70
LIITTEET .....	72
Liite 1. Laboratorioanalyysi PK7 jälkikuivatusosan pölystä.....	72

**LYHENTEET JA TERMIT**

AP	Paperin alapuoli
Diffuusio	Molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan pitoisuuteen
GCC	Ground Calcium Carbonate, jauhettu kalsiumkarbonaatti
Kapillaari-ilmiö	Neste etenee pinnan vettymisilmiön seurauksena kapeassa rakenteessa tai putkessa
KP	Paperikoneen käyttöpuoli, jossa on paperikoneen voimansiirto
Mottling	Painojäljen laikullisuus
PCC	Precipitated Calcium Carbonate. Saostettu kalsiumkarbonaatti
PK7	Stora Enso Oulun tehtaan paperikone seitsemän
PPK7	Stora Enson Oulun tehtaan PK7-linjan paperinpäällystyskone
Plastisuus	Voiman vaikutuksesta muotoon syntyy palautumattomia muodonmuutoksia
Raina	Yhtenäinen paperiraina, joka muodostuu veden poistuessa konekudokselle levitetystä massaseoksesta
Viskoelastisuus	Materiaalin ominaisuus, jossa yhdistyvät sekä viskositeettiset että elastiset ominaisuudet muodonmuutoksen aikana

Viskositeetti	Kuvaa fluidin kykyä vastustaa virtausta
WFC	Wood Free Coated, puuvapaa hienopaperi
YP	Paperin yläpuoli

## 1 JOHDANTO

Paperikoneen jälkikuivatushuuvaan kertyvä pigmenttipöly vaikuttaa työhyvinvointiin Stora Enso Oyj:n Oulun tehtaalla PK7:llä, jolla valmistetaan päällystetyn hienopaperin (WFC) pohjapaperia. Pölyllä ei ole vaikutusta koneen käytettävyyteen tai tuotteen laatuun. Pölyämisen aiheuttaa paperikoneella tapahtuva esipäällystys filminsiirtopäällystämällä (SymSizer). Pöly kertyy ajon aikana pääasiassa jälkikuivatushuuvan ja paperikoneen rakenteisiin, aiheuttaen ongelmaa erityisesti ratakatkojen jälkeen. Lisäksi pölyä on havaittavissa myös muualla kuivanpään alueella, esimerkiksi välirullaimella. Katko- ja päänvientipuhallukset nostattavat pölyn tehdassaliin ja näin ollen haittaa operaattoreiden työskentelyä puhdistusten sekä päänniennin aikana.

Ongelma on pahentunut viime vuosina muun muassa paperikoneen parantuneen käytettävyyden ja optimoidun esipastareseptin johdosta. Nämä muuttujat mahdollistavat suuremman pölymäärän muodostumisen. Päällystystavasta johtuen pölyämistä ei voi saada kokonaan pois, mutta se on saatavissa hyväksyttävälle tasolle.

Työn ensisijaisena tavoitteena on löytää PK7:lle pölymittari, jolla pystytään todentamaan pohjapaperin pölyävyys tietyllä ajanhetkellä. Ilman toimivaa mittaria paperin pölyävyys arviointi perustuu lähinnä arvauksiin ja on todella vaikeaa päästä käsiksi pölyämisen juurisyihin saati minimoida niitä. Mittarin hankkimisen ja asentamisen jälkeen suoritetaan koeajoja, joissa kokeillaan erilaisia ratkaisuja, joilla uskotaan olevan paperin pölyävyttä vähentäviä vaikutuksia. Tarkoituksena on löytää korrelaatioita mittarin ilmoittamien pölymäärien ja paperinvalmistusprosessiin tehtävien muutosten välillä. Koeajoissa selvitetään miten pohjapaperin rakenne, SymSizerin ajomallit sekä pastareseptit vaikuttavat pölyävyteen. PK7:llä pidemmän aikavälin tavoite on saada pölyäminen mahdollisimman vähäiseksi.

Aiemmasta tutkimuksesta tai kirjallisuudesta ei suoranaisesti löydy teoriaa filminsiirtopäällystyksestä johtuvaan pölyämiseen, mikä lisää olennaisesti työhön liittyviä haasteita. Näin ollen teorian päätelmät pölyävyteen liittyen perustuvat pääasiassa hypoteeseihin. Oletamus on, että pölyämiseen vaikuttavia tekijöitä ovat: pohjapaperin rakenne, pastan penetroituminen ja sitoutuminen pohjapaperiin, päällystyspastan resepti ja reolo-



gia, SymSizerin ajomallit, päällystekerrosten kuivatukseen liittyvät muuttujat sekä kuivatussylintereistä rainaan kohdistuva pintapaine.

Opinnäytetyö sisältää teoriaosuuden, jossa paneudutaan filminsiirtopäällystyksestä aiheutuvan pölyämisen syihin. Kokeellinen osa perustuu pölymittareiden luotettavuuden analysointiin, sekä koeajoihin, joissa etsitään ratkaisuja pölynmuodostumisen minimoimiseksi. Kokeellisessa osassa olennaisessa roolissa on pölymäärän mittaaminen, jotta voidaan muodostaa käsitys, onko koeajoilla vaikutusta pölyävyyteen.

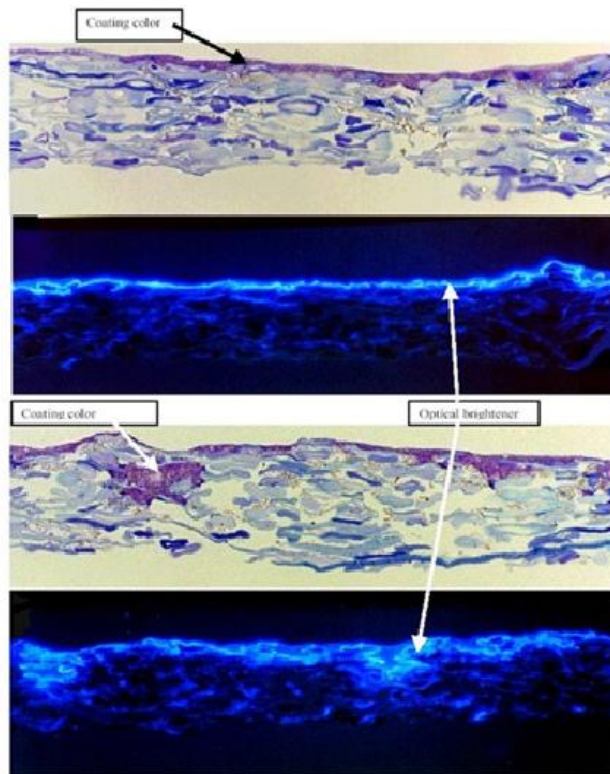
## 2 POHJAPAPERIN VAIKUTUS PASTAN PENETRAATIOON

”Penetraatiolla tarkoitetaan päällystyspastan ja erityisesti siinä olevan veden ja sideainneen tunkeutumista pohjan huokosiin.” (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 191) Hypoteesi on, että pastan sitoutuminen ja penetraatio pohjapaperiin ovat suoraan yhteydessä pölynmuodostumisen määrään jälkikuivatusosalla. Kun pasta sitoutuu optimaalisesti paperirainaan filminsiirtopäällystyksessä, voidaan olettaa, että pölyäminen on vähäisempää. Pohjapaperin rakenteen on oltava sellainen, että päällystekerros sitoutuu hyvin paperiin, mutta ei ime liikaa sideainetta päällystyspastasta. Päällysteen tulee tarttua pohjapaperiin tarkoituksenmukaisilla sideainemäärillä. (KnowPap 17.0 2016)

Päällystekerroksen hyvä sitoutuminen puuvapaaseen pohjapaperiin riippuu pääosin paperin pinnan avonaisuudesta. Pohjapaperin tiivis pinnan rakenne ja korkea täyteainepitoisuus vähentävät pastan penetraatiota paperin rakenteeseen, tämä parantaa päällystekerroksen lujuutta. Yleisesti tiivis pohjapaperi korkealla täyteainepitoisuudella toimii paremmin filminsiirtopäällystyksessä kuin huokoinen. Forrströmin mukaan pohjapaperin karheudella ja formaatiolla ei ole niin suurta vaikutusta päällystekerroksen sitoutumiseen kuin huokoisuudella. Filminsiirtopäällystyksessä päällystyspastan nestefaasi (vesi ja sideaine) pyrkivät penetroitumaan kuitujen välisiin huokosiin applikointinipissä. (Forrström 2003: 78)

### 2.1 Huokoisuus ja huokoskokojakauma

Paperin pääraaka-aine on puukuitu, joka muodostaa verkoston kuitujen välisillä sidoksilla. Kuitujen välisiin tiloihin muodostuu puolestaan huokosverkosto, joka on huomattavasti erilainen eri paperilajien välillä. Huokosverkoston kokonaistilavuus sekä huokosten koko ja muoto vaihtelevat huomattavasti valittujen raaka-aineiden mukaan. Kuvasta 1 voi huomata että, pohjapaperin huokoisuudella on suuri merkitys pastan penetraatioon, joka riippuu merkittävästi huokoisuudesta, huokoskoon jakautumisesta sekä huokosten suuntautumisesta. Huokokset ja kuidut ovat epätasaisesti jakautuneita paperin eri kerroksiin. Pastan leviäminen ja liikkuminen paperissa riippuu eniten pinnan huokoisuudesta. (ACA Systems Oy 2014: 11; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 88,89)

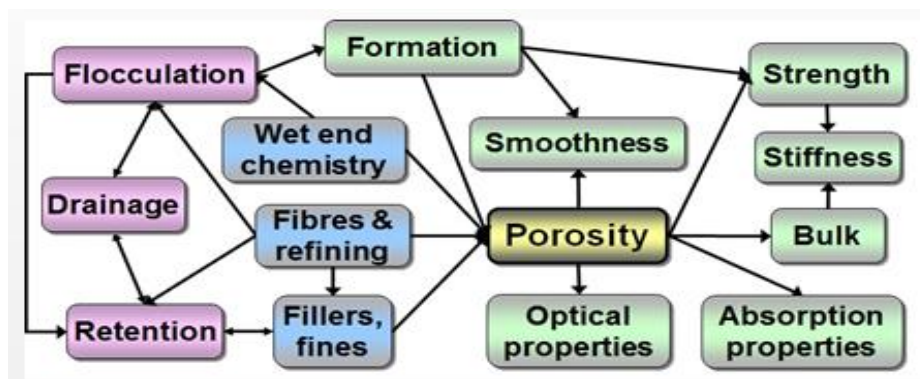


**Tiivis arkki** - Vähäinen päällystyspastan penetraatio ja hyvä päällysteen peitto

**Huokoinen arkki** - Syvä päällystyspastan penetraatio ja huono päällysteen peitto

Kuva 1. Tiiviin ja huokaisen arkin eroavaisuudet pastan penetraatioon (ACA Systems Oy 2014: 14)

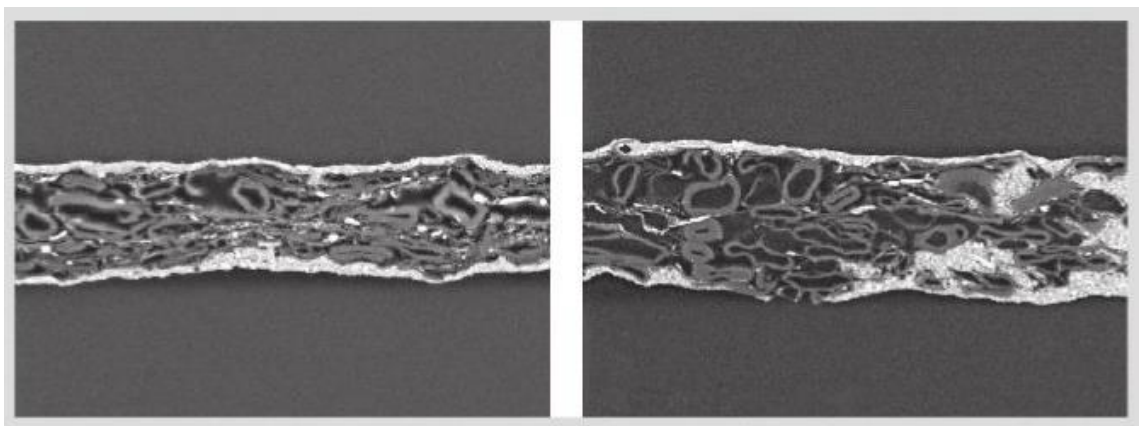
Huokoisuus vaikuttaa lisäksi moneen erittäin tärkeään muuttujaan paperinvalmistusprosessissa, mikä on todettavissa kuvasta 2. Rainan tasossa paperin huokoisuuden ja huokoskokojakauman vaihtelut korreloituvat voimakkaasti formaation kanssa. Huokoisuusvaihtelu lisääntyy, jos formaatio huononee, paksummat kohdat tiivistyvät enemmän puristettaessa rainaa, aiheuttaen vaihteluita huokoisuuteen. Lisäksi raina on aina tiheämpi flokin kohdalta kuin sen vierestä. (ACA Systems Oy 2014: 12; KnowPap 17.0 2016)



Kuva 2. Huokoisuuden vaikutus määrään sekä paperin ominaisuuksiin (ACA Systems Oy 2014: 7)

Huokosverkostoon voidaan vaikuttaa samoilla valmistustekijöillä kuin kuituverkostoon. Nostamalla jauhatusta, retentiota, märkäpuristusta ja täyteaineiden määrää raina tiivistyy. Nämä tekijät pienentävät kuitujen välistä ilmatilaa ja huokostilavuus pienenee siten, että suuret huokossäteet häviävät kokonaan tai pienenevät. Puristinosalla paperi tiivistyy enemmän vedenpoistosuuntaan, eli huovan puolelta. Kolme nippisellä puristinosalla vettä poistuu 80 % rainan yläpinnasta, eli vedenpoisto on toispuoleista. Tämä pienentää yläpuolen pintahuokoisuutta, jättäen alapuolen huokoisemmaksi, tällä on huomattava vaikutus filminsiirtopäällystykseseen. Märkäpuristus tiivistää huovan puoleista pintaa ja muodostaa kuituja yhdistäviä sidoksia. LintView-tulokset ovat antaneet viitteitä, että alapuoli pölyää enemmän, mikä tukisi tätä väitettä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 88; Tissari 2015)

Puuvapaa paperi on ominaisuuksiltaan huokoista, johtuen massasta joka sisältää keskimäärin paljon suuria huokosia ja suhteellisen vähän sitoutuvaa hienoainetta. Puuvapaan pohjapaperin suurimmat huokokset ovat 3–10 $\mu\text{m}$ , kun mekaanisella massalla luku on vastaavasti 1–5 $\mu\text{m}$ . Huokoisuus mahdollistaa suuret päällystemäärät sekä hyvän ajettavuuden filminsiirtopäällystyksessä, pasta imeytyy huokoisuuden johdosta pohjapaperiin hyvin. Huokoisuus ei saa kuitenkaan olla liian korkea (kuva 3, oikea), sillä se aiheuttaa ongelmia, jos pasta tai sideaine penetroituu liikaa pohjapaperiin. Tämä on kriittinen ominaisuus päällystyksessä. Hyvän päällystystuloksen (kuva 3, vasen) aikaansaamiseksi huokoisuuskokojakauman tulee olla tasainen. Huokoisuuteen voidaan vaikuttaa tiivistämällä rainaa, mm. nostamalla jauhatusta, retentiota, puristinosan tasoimulaattikojen imuja ja viiraosan listakengän alipainetta. (KnowPap 17.0 2016; Odell 1996: 47)



Kuva 3. Huokoisuuden vaikutus filminsiirtopäällystyksessä (Ahlroos & Grön 1999: 508)

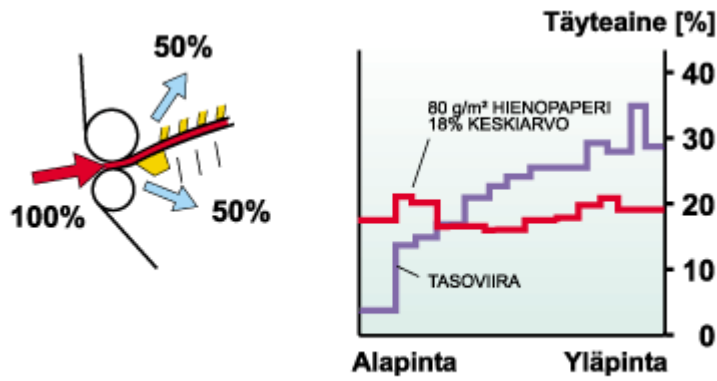
Tutkimustulokset osoittavat, että pastan nestefaasi sekä pigmenttikerros penetroituu syvemmälle pohjapaperiin, kun huokoisuutta nostetaan tai kun pastan kuiva-ainepitoisuutta lasketaan. Pienemmällä pastan kuiva-ainepitoisuudella nestefaasi tekee päällystyskerroksesta karheamman kuin korkeammalla kuiva-ainepitoisuudella. (Forström 2003: 78)

## 2.2 Z-suuntainen tuhjakakauma

Tuhkalla tarkoitetaan paperissa olevaa epäorgaanista ainetta, joka on lähes yksinomaan täyteainetta. Tuhkapitoisuutta säädetään hallitsemalla tuoreen täyteaineen ja retentioaineen virtausta paperikoneen lyhyessä kierrossa. Paperikoneella tuhkaa mitataan mittapalkilla röntgensäteiden absorptiolla, lyhyessä kierrossa tuhkasakeusmittauksella ja laboratoriossa uunissa polttaen. (KnowPap 17.0 2016)

Epätasaiset tuhkaprofiilit aiheuttavat ajettavuusongelmia kaikissa prosessivaiheissa. Tuhkaprofiilit vaikuttavat olennaisesti paperin huokoisuusominaisuuksiin ja täten pastan penetroitumiseen. Tuhjakakaumaan vaikutetaan paperikoneen viiraosalla, retentioaineilla, viirakudoksilla ja massoilla, erilaiset massat omaavat erilaiset ominaisuudet täyteaineiden liikuteltavuuteen arkin Z-suunnassa. (ACA Systems Oy 2014: 8; KnowPap 17.0 2016)

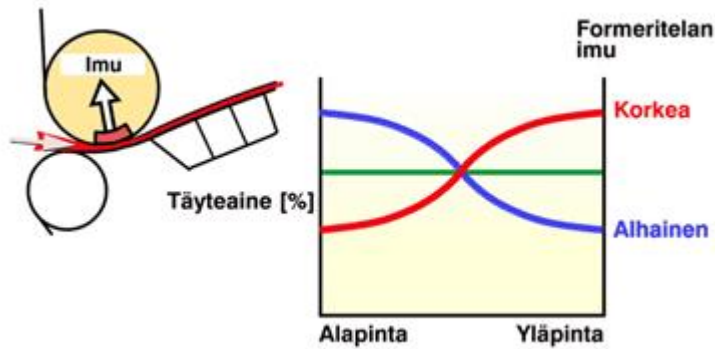
Erilaiset viiraosat muodostavat erilaiset tuhkapitoisuudet arkin Z-suunnassa, johtuen eroista vedenpoistossa. Pienet täyteainepartikkelit pyrkivät poistumaan rainasta vedenpoistosuuntaan. Tästä syystä esimerkiksi tasoviirakoneella (kuva 4) täyteaineet sijaitsevat arkin yläpinnan puolella, koska vettä poistetaan pelkästään alaspäin ja vesi huuhtoo täyteaineen pois. Arkin pinnassa olevat täyteainepartikkelit tekevät pinnasta sileämmän ja tiiviimmän. (KnowPap 17.0 2016; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 111)



Kuva 4. Kitaformerin sekä tasoviiran vaikutus tuhkaajakaumaan (Knowpap 17.0. 2016)

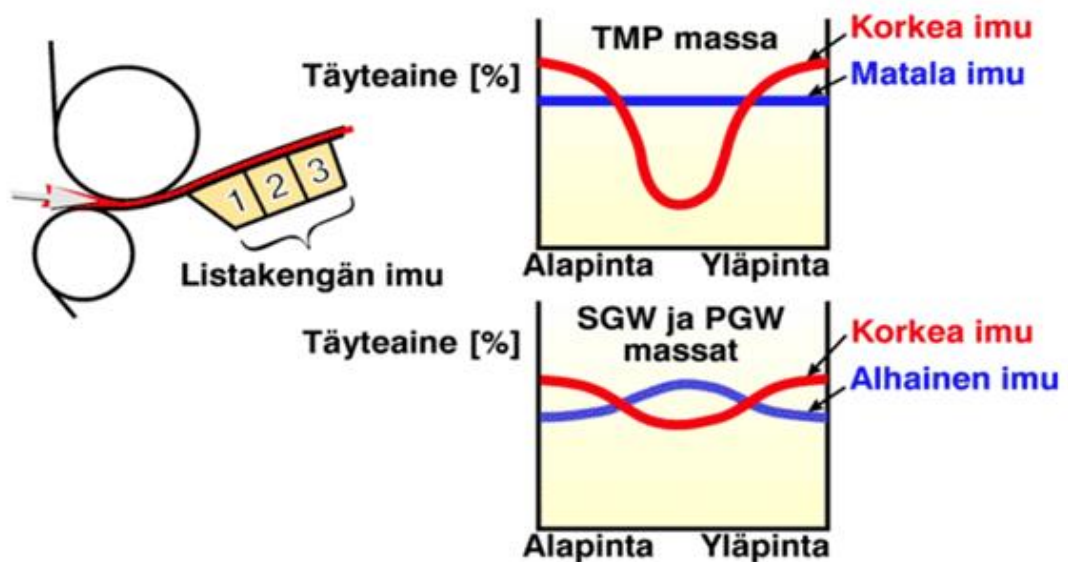
Kitaformereilla (kuva 4) tuhkaajakaumasta muodostuu yleensä U-muotoinen, mikä tarkoittaa, että tuhka sijaitsee enemmän arkin pinnoilla kuin keskellä. Teoriassa U-muotoinen tuhkaajakauma on hyvä pastan penetraation kannalta, koska täyteaine tiivistää rainan pintaa. Telalista-kitaformerilla on mahdollista vaikuttaa Z-suuntaiseen tuhkaajakaumaan myös suihku-viirasuhteella. Yliperä edesauttaa tuhkaajakauman U-muodon syntymistä, aliperällä täyteaine pyrkii kertymään paperin keskikerrokseen. (KnowPap 17.0 2016)

Viiraosan vedenpoistoelementeillä voidaan myös vaikuttaa tuhkaajakauman muodostumiseen. Formeritela poistaa vettä ylöspäin (kuva 5) ja mitä suurempi alipaine eli imu formeritelassa on, sitä enemmän täyteainetta suotautuu yläpinnan puolelle. Formeritelan rainaa tiivistävä vaikutus käyttäytyy eri tavalla eri lajeilla ja neliömassoilla. Sen takia asia on aina tutkittava tapauskohtaisesti. Hypoteesina ajomalli, jossa formeritelan imu olisi alhaisempi, voisi olla suotavaa pölyämisen kannalta, koska myös puristinosa tiivistää rainaa yläpinnasta. Näin ollen alhaisemmalla formeritelan imulla saataisiin parempi tuhkaajakauma pölyämisen kannalta. (KnowPap 17.0 2016; Rimpiläinen 2016)



Kuva 5. Formeritelan imun vaikutus tuhkakajakaumaan (Knowpap 17.0 2016)

Listakenkä imee vettä alapinnan puolelta ja sillä voidaan vaikuttaa tuhkakajakauman U-muotoon. Rainan saapuessa listakengälle, yläpinta rainasta on jo suotautunut, joten täyteaine ei enää siirry yläpinnassa. Keskikerros on vielä matalassa sakeudessa ja näin ollen imun voimakkuudella voidaan vaikuttaa tuhkakajakaumaan. Korkea imu lisää tuhkakajakauman U-muotoa (kuva 6), sillä vettä poistuu silloin enemmän alaspäin ja täyteaine suotautuu alapintaan. Tällöin keskikerrokseen jää vähemmän täyteainetta kuin pintoihin. Kuva 6 havainnollistaa listakengän imun vaikutusta tuhkakajakaumaan, sekä erilaisten mekaanisten massojen vaikutusta tuhkakajakaumaan. (KnowPap 17.0 2016)



Kuva 6. Listakengän imun vaikutus tuhkakajakaumaan erilaisilla massoilla (Knowpap 17.0 2016)

Nykyaikaisella viiraosalla paperista saadaan helposti homogeeninen, koska vesi saadaan poistumaan lähes yhtäaikaisesti molempiin suuntiin. Puristinosan aiheuttama toispuoleisuus on sen sijaan yleistä 3-nippisellä puristinosalla. Kahdessa viimeisessä nipissä huopa on yläpuolella, vettä siis poistetaan ylöspäin mikä aiheuttaa toispuoleisuuden. Yläpuolesta tulee karhea, tiivis ja vähän absorboiva. Alapuoli on kahdessa viimeisessä nipissä sileää telaa vasten, joka silittää paperin pintaa, mutta ei purista huokosia yhtä paljon kasaan. Näin ollen huokokset jäävät suuremmiksi ja absorboivat enemmän päällystyspasta, pastan penetraatio on suurempi. Tällä on huomattava vaikutus filminsiirtöpäällystykseseen ja oletettavasti myös pölyämiseen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 86, 87; Tissari 2015)

### 2.3 Sileys ja karheus

Paperin karheus vaikuttaa etenkin syväpainatuksessa painojäljen tasaisuuteen eli puutuviin pisteisiin. Pohjapaperin karheuteen voidaan vaikuttaa massavalinnoilla, jauhatuksella ja märkäpuristuksella. Karheus lisää tarvittavaa päällystemäärää hyvän päällystytuloksen aikaansaamiseksi. Karheus on myös yhteydessä paperin absorptioominaisuuksiin, sillä karheuslukemat ovat aina suuremmat korkean absorptioon papereilla, kuin pienemmän. (KnowPap 17.0 2016; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 52)

Forrströmin mukaan pohjapaperin pinnan karheudella ei ole suurta vaikutusta pastan penetraatioon. Pastan imeytyminen pohjapaperiin tapahtuu huokoisuudesta johtuvista syistä. On mahdollista, että pinnan karheus alenee hetkellisesti paineellisessa applikoitipissä ja palaa takaisin nipin jälkeen. (Forrström 2003: 2)

Lisäämällä lyhytkuitusellun ja täyteaineen määrää saadaan sileämpää paperia. Lehtipuu-sellujen lyhyet, jäykät ja pienihuokoset kuidut antavat pohjapaperille paremmat pintaominaisuudet verrattuna havupuuselluihin. Täyteaine puolestaan täyttää huokosia ja vähentää karheutta. (KnowPap 17.0 2016; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 53)

Puristinosalla huopien pinnan sileys vaikuttaa paperin karheuteen. Sileämmät huovat vähentävät paperin karheutta huovan puolelta, eli kuluneet puristihuovat lisäävät karheutta. Toispuoleinen puristinoso vaikuttaa eri tavalla paperin ylä- ja alapintaan. Yläpinta on karheampi ja alapinta sileämpi. Jos pölyämistä mietitään kuivatusosalla tapahtu-

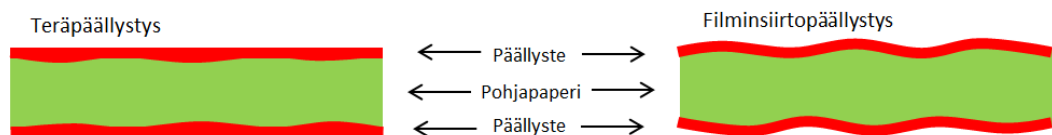


man pintavoiman sekä hioutumisen kautta, alapuolen sileyden pitäisi vaikuttaa positiivisesti alapuolen pölyävyyteen. (KnowPap 17.0 2016; Forrström 2003: 2)

Kalanteroinnilla on positiivinen vaikutus silyteen, mutta tässä tapauksessa sillä ei ole merkitystä, koska konekalanteri sijaitsee jälkikuivatusosan jälkeen. Konekalanterin viivakuorma voi kuitenkin vaikuttaa paperin pölyävyyteen kalanterin alueella. (KnowPap 17.0 2016; Rimpiläinen 2016)

### 2.3.1 Filminsiirto - ja teräpäällystyksen vaikutus karheuteen sekä paperin pölyävyyteen

Hypoteesin mukaan karheus lisää pölyävyyttä jälkikuivatusosalla, koska karheampaan paperiin kohdistuu suurempi paine rainan koskettaessa kuivatusviiraa ja -sylinteriä. Kuivatusviiran muodostama paine rainaan sekä kuivatusviiran ja -sylintereiden nopeusero aiheuttaa pölypartikkeleiden hioutumista irti päällystekerroksesta. Hypoteesia tukee kysymys: miksi PK7-linjalla teräpäällystyksen jälkeen paperi ei pölyä? Vastaus löytyy filminsiirtopäällystyksen ja teräpäällystyksen eroavaisuudesta paperin pintaominaisuuksiin, joka on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Terä- ja filminsiirtopäällystyksen vaikutus paperin pintaominaisuuksiin

Filminsiirtopäällystys ei vähennä merkittävästi karheutta, joten jos paperi on hyvin karheaa ennen päällystystä, se on oletettavasti myös sen jälkeen. Päällystekerros mukailee rainan karheaa pintaa, sen kukkuloita ja laaksoja. Teräpäällystyksen kaavin sen sijaan tekee paperin pinnasta sileän eli vähentää pinnan karheutta päällystyksen jälkeen.

Filminsiirtopäällyksen ja teräpäällystyksen eroavaisuudet paperin pintaominaisuuksiin ovat helposti visuaalisesti todettavissa sivuvalomikroskoopin avulla. Kuvassa 8 on PK7:n filminsiirtopäällystetty pohjapaperi ja kuvassa 9 on PPK7:n teräpäällystetty kalanteroimaton paperi. Pohjapaperi on huomattavasti karheampaa kuin teräpäällystetty paperi.



Kuva 8. PK7 filminsiirtopäällystetty pohjapaperi sivuvalomikroskoopilla kuvattuna (Myllykoski 2016)



Kuva 9. PPK7 teräpäällystetty paperi sivuvalomikroskoopilla kuvattuna (Myllykoski 2016)

Kuivatusviiran rainaan kohdistama paine  $p$  on laskettavissa voiman  $F$  avulla kaavoilla 1 ja 2.

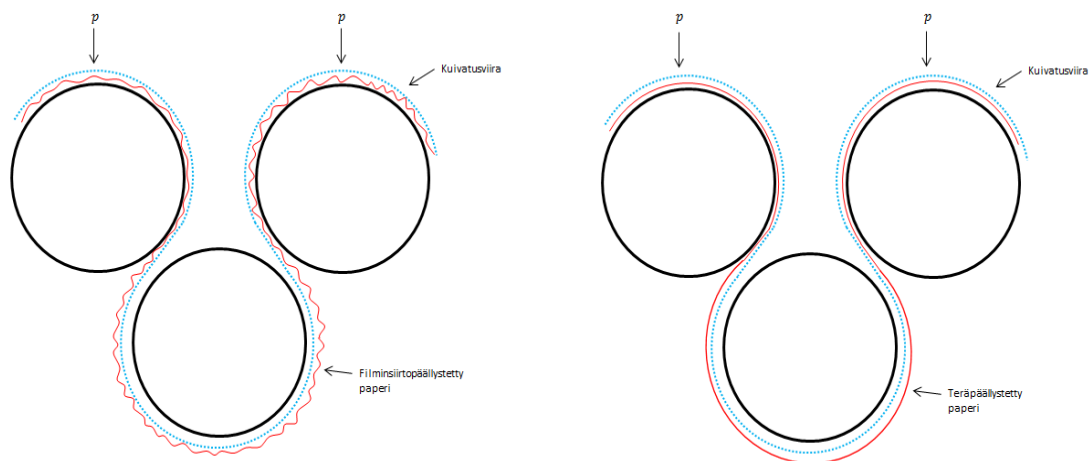
$$F = \frac{\text{kireys}}{r}, \quad (1)$$

missä viiran kireys on kN/m ja  $r$  kuivatussylinterin säde.

$$p = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

missä  $F$  on viiran rainaan kohdistama voima ja  $A$  kuivatussylinteriä koskettava paperin pinta-ala. (Koivuranta 2016)

Kaavoista voidaan tulkita, että kuivatussylinteriä koskettava rainan pinta-ala  $A$  on ratkaisevassa asemassa rainaan kohdistuvan paineen muodostumisessa. Kuvassa 10 on havainnollistettu terä- ja filminsiirtopäällystetyn paperin eroavaisuus rainan kulkiessa kuivatusosalla.



Kuva 10. Terä- ja filminsiirtopäällystetyn paperin pinnan eroavaisuus ja vaikutus rainaan kohdistuvaan paineeseen

Teräpäällystetyn paperin kulkiessa yläsylintereillä paine jakautuu sileyden mahdollistamana tasaisesti paperin koko pinta-alalle. Filminsiirtopäällystettyyn paperiin kohdistuu sen sijaan suurempi paine pinnan karheuden johdosta, kuivatussylinteriä koskettava pinta-ala on pienempi. On myös huomioitava, että pelkkä paine ei aiheuta hiomisefektiä. Kuivatusviiralla ja -sylintereillä on aina nopeuseroa, mikä yhdessä viiran aiheuttaman paineen kanssa aiheuttaa hioutumisen. Oletettavasti tämä filminsiirtopäällystetyksen ominaisuus aiheuttaa paperin pölyämistä jälkihuuvassa. Tämän hypoteesin perusteella,

mahdollisimman sileä paperi ennen filminsiirtopäällystystä vähentää paperin pölyävyyttä. Paperin karheuteen ennen filminsiirtopäällystystä voidaan vaikuttaa massavalinnoilla, jauhatuksilla sekä puristinosan ajomalleilla. (Koivuranta 2016; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 54)

## 2.4 Retentio

Viiraosan retentiolla tarkoitetaan perälaatikosta huulivirtaaman mukana tulevan kiintoainemassan (kuidut, hienoaines ja täyteaine) ja muodostuvaan rainaan jäävän kiintoainemassan suhdetta. Retentio kuvaa, kuinka paljon kiintoainemassaa jää rainaan eli kuinka tehokas viiraosalla tapahtuva suotautuminen on. Retentiota voidaan tarkastella esimerkiksi kokonaisuutena, täyteaineretentiona tai miten retentio käyttäytyy tietyn vedenpostoelementin kohdalla. (KnowPap 17.0 2016)

Korkea ja stabiili retentio parantaa koneen ajettavuutta ja käytettävyyttä sekä paperin laatu pysyy tasaisena. Korkeammalla retentiolla pystytään ajamaan matalammalla viiraveden sakeudella, mikä parantaa formaatiota ja häiriöainehallintaa. Paremmalla arkin rakenteella ja näin ollen täyteainejakaumalla saadaan parempi pastan sitoutuminen rainaan päällystysprosessissa. Hyvän laadun kannalta retentiosysteemin tulisi olla sellainen, että hienoaine flokkaantuu, mutta kuidut eivät. (KnowPap 17.0 2016; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 111, 153, 154)

## 2.5 Formaatio

Formaatio eli pienimittakaavainen neliömassavaihtelu on yksi tärkeimmistä paperin rakenneominaisuuksista. Tärkeys perustuu siihen, että sen tiedetään vaikuttavan useisiin tärkeisiin ominaisuuksiin loppukäytön kannalta, joita ovat muun muassa:

- Lujuudet (veto-, repäisy- ja ZD-lujuus)
- Opasiteetti
- Huokoisuus
- Sileys
- Absorptio-ominaisuudet

Formaatio vaikuttaa paperin ominaisuuksiin pääsääntöisesti epäsuorasti. Esimerkkinä hyvä formaatio antaa paperille tasaisen tiheysjakauman, joka puolestaan mahdollistaa tasaisen painoväriabsorption. Huonolla formaatiolla tiheysjakauma ja painoväriabsorptio toimivat päinvastoin. Huono formaatio näkyy karheus- ja paksuusvaihteluna mikä lisää rainaan kohdistuvaa painetta sylinterikuivatuksessa. (KnowPap 17.0 2016)

Formaation vaikutus päällystykseen ilmenee mm. absorption muodossa. Hyvä formaatio takaa pastan tasaisen absorption pohjapaperin pintaan ja mahdollistaa hyvän paperin pintarakenteen joka takaa hyvän päällystystuloksen filminsiirtopäällystyksessä, mikä edesauttaa vähentämään paperin pölyävyyttä. Epätasainen formaatio yhdessä puristuksen kanssa aiheuttaa huokosrakenteen erilaisuutta, mikä lisää huomattavasti isojen huokosten esiintymisen todennäköisyyttä. Lisäksi huono formaatio lisää päällystemäärän vaihtelua arkin pinnassa, jolla on vaikutus pölyämiseen. (KnowPap 17.0 2016)

## 2.6 Absorptio-ominaisuudet

Filminsiirtopäällystyksessä pohjapaperin absorptio-ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi päällystystulokseen. Huokoisuuden ja absorption välillä on yhteys, sillä avoin rakenne absorboi enemmän. Absorptiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa toinen aine imeytyy toisen sisään, muuttaen sen sisäistä rakennetta. Esimerkiksi veden absorboituessa kuituun, se turpoaa. Absorptioon vaikutetaan raaka-aineilla, lisäaineilla ja prosessin hallintasuureilla. Päällystysprosessissa pohjapaperin absorptioon vaikuttaa lisäksi valittu päällystysmenetelmä ja sen tuottama paine sekä pastan vesiretentio. Absorptiomäärä on pohjapaperin absorptiopotentiaalin, ulkoisen paineen ja pastan ominaisuuksien summa. (KnowPap 17.0 2016; Kivelä & Parikka 2007: 69)

Edellytyksenä pastan ja pohjapaperin hyvälle sitoutumiselle on pastan osittainen imeytyminen paperiin. Liiallinen absorptiokyky aiheuttaa pastan sideaineen kulkeutumisen veden mukana syvälle pohjapaperin rakenteeseen, alentaen päällysteen lujuutta. Etenkin sideaineena käytettävällä tärkkelyksellä on ominaisuus lähteä vaeltamaan paperin rakenteeseen. Absorption ollessa liian pieni, pasta ei tartu riittävän hyvin paperiin, mikä myös aiheuttaa pölyämistä. Paineellisessa nipissä tapahtuva päällysteen ja sen sisältämän veden penetroituminen pohjapaperiin, on pääosin riippuvainen pohjapaperin rakenteesta. Jauhatusaste, täyteaineen määrä sekä paperin liimausaste vaikuttavat absorptio-

ominaisuuksiin. Korkea jauhatus, täyteaineen suuri määrä ja muut käsittelyt jotka sulkevat paperin pintaa, ovat tehokkaita keinoja vähentämään absorptiota. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 86; KnowPap 17.0 2016; Kivelä & Parikka 2007: 70)

### 3 FILMINSIIRTOPÄÄLLYSTYS

Filminsiirtopäällystyksellä tarkoitetaan päällystysmenetelmää, jossa päällystekerros siirretään paperirainan pinnalle kahden telan muodostamassa nipissä. Kyseisellä menetelmällä päällystäminen on kaksivaiheinen prosessi, jossa ensin muodostetaan pastan applikointipalkilla päällystekerros eli filmi applikointitelan pintaan. Tämän jälkeen filmi siirretään kahden telan välisessä paineellisessa nipissä paperirainan pintaan. Filminsiirtotekniikalla voidaan päällystää yhtä aikaa rainan molemmat puolet, tai pelkästään toinen puoli. Filminsiirtopäällystin on tehokas tilankäytöltään ja verrattain halpa investointi verrattuna muihin päällystysmenetelmiin. (Kivelä & Parikka 2007: 26; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 196)

Filminsiirtotekniikka kehitettiin aluksi pintaliimaukseen, koska perinteinen lammikko-liimapuristin oli muodostunut nopeutta rajoittavaksi tekijäksi paperikoneilla. Nopeasti sen jälkeen filminsiirtotekniikasta kehitettiin ratkaisu myös päällystyssovelluksiin. Valmetin kehittämä SymSizer, vähän paperia rasittavana päällystysmenetelmänä, mahdollisti mm. halvempien raaka-aineiden käytön pohjapapereissa. Näin ollen puupitoisissa painopapereissa pystyttiin käyttämään suurempia täyteainemääriä ja vähentämään tarvittavan sellun määrää. (Rantanen & Huuskonen: 2012)

#### 3.1 Filmin muodostaminen

Pasta annostellaan applikointitelalle applikointipalkista, jonka toiminta perustuu lyhytviipymäperiaatteeseen (SDTA) jota käytetään myös perinteisessä teräpäällystyksessä. Pasta pumpataan syöttösäiliöstä painesihtien ja ilmanpoistimen kautta applikointikammioon. Kammiossa olevan patoterän tai sauvan avulla pyritään estämään ilman pääsy sekä turbulenttisten virtausten muodostuminen kammioon. Filmin on oltava sileä, ilmaton ja juovaton hyvän päällystystuloksen aikaansaamiseksi. (Kivelä & Parikka 2007: 26; Rantanen & Huuskonen: 2012)

Päällystefilmi muodostetaan applikointitelan pinnalle terän, urasauvan tai sileän sauvan avulla. PK7:llä pasta applikoidaan sileän sauvan avulla. Terä- ja urasauva-applikointi rajoittavat koneen nopeutta sekä niiden käyttöiät ovat sileää sauvaa lyhyemmät. (Kivelä & Parikka 2007: 27,28)

### 3.1.1 Applikointitelan kovuus

Telan kovuus ja pinnoite on yksi tärkeimmistä komponenteista filmin muodostamisessa ja vaikuttaa lopulliseen päällystystulokseen. Pehmeällä telalla saadaan korkeammat päällystemäärät. Erilaisilla sauvoilla on erilaiset vaatimukset applikointitelan pinnoitteelle. Sileän sauvan vaatimukset ilmenevät telan kovuuden muodossa, tela ei saa olla liian kova tasaisen päällystysprofiilin aikaansaamiseksi. Telan pinnoitteena käytetään polyuretaania (PU) ja kumia. Telojen kulutuskestävyyttä parannetaan ja naarmuuntumista estetään erilaisilla pinnoitteiden täyteaineilla. (Paltakari 2009: 503, 507; Rantanen & Huuskonen 2012)

### 3.1.2 Sileä sauva

Sileä sauva toimii hydrodynaamisen voiman avulla, joka kohdistuu applikointitelan pintaan. Koska paine on helposti säädettävissä, sileitä sauvoja voidaan käyttää suurilla nopeuksilla (jopa 2000m/min), korkeilla pastan kuiva-ainepitoisuuksilla (45–70%) sekä laajalla päällystemääräalueella (4–10g/m<sup>2</sup> per puoli). Sauvan halkaisija on tyypillisesti 14–60mm, halkaisija riippuu koneen nopeudesta sekä pastan viskositeetista. Nopeuden kasvaessa tai pastan viskositeetin ollessa suuri, pienennetään sauvan halkaisijaa. (KnowPap 17.0 2016)

Päällystemäärää säädetään sauvan paineella sekä pastan kuiva-ainepitoisuudella. Koska applikointitelan pintaan kohdistuva paine on helposti säädettävissä, voidaan käyttää suuren kuiva-ainepitoisuuden omaavia pastoja. Tämä mahdollistaa myös laajat päällystemääräalueet suurillakin nopeuksilla. Tyypillisesti sauvakuorma on 80–250kPa, jotta saadaan tasainen päällystefilmin poikkisuuntainen profiili. (Kivelä & Parikka 2007: 30)

Päällystefilmin paksuuteen applikointitelan pinnalla vaikuttaa koneen nopeus ja pastan viskositeetti suuren leikkausnopeuden alaisena. Koneen nopeuden kasvaessa päällystemäärä kasvaa, erityisesti, jos pastan viskositeetti on suuri suuren leikkausnopeuden alueella. Filminsiirtopäällystyksessä pastan viskositeetit ovat tyypillisesti 400–1200mPa s (Brookfield, 100rpm). (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 197; Kivelä & Parikka 2007: 30)



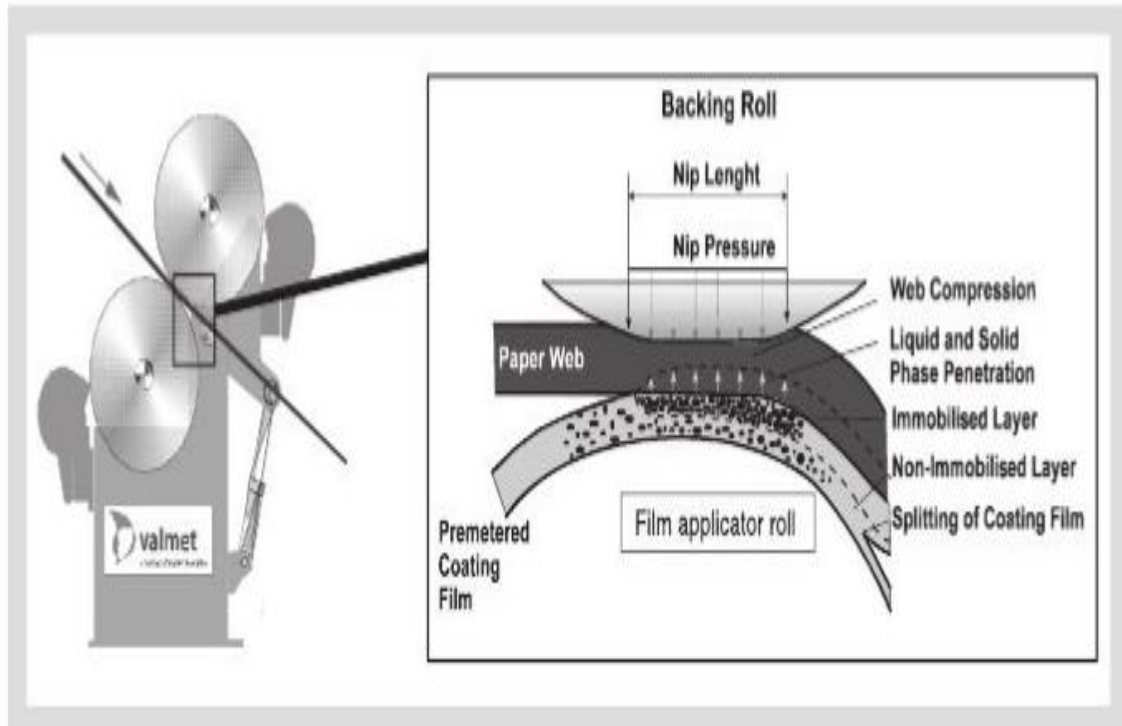
### 3.2 Pastan käyttäytyminen applikointinipissä

Applikointitelalle muodostettu 10–15µm paksu päällystefilmi siirtyy paperirainaan telojen muodostamassa paineellisessa nipissä. Filmin paksuus riippuu halutusta päällystemäärästä. Filmin on oltava tasainen, sillä filmin epätasaisuudet eivät tasoitu merkittävästi sen siirtyessä applikointinipissä paperiin. Tasoittumiseen voidaan vaikuttaa ainoastaan pastan reologialla. Applikointitelan pinnalla oleva päällystemäärä, pohjapaperin ominaisuudet, nipin paine sekä pastan koostumus vaikuttavat paperin lopulliseen päällystemäärään. (Kivelä & Parikka 2007: 31,32)

### 3.3 Filmin halkeaminen

Paperin viipymäaika applikointinipissä on tyypillisesti muutamia millisekunteja, jonka aikana pastasta penetroituu nestettä paperiin. Tämän jälkeen päällystekerros jakautuu kahteen osaan; paperin pinnalla olevaan suodinkakkuun eli pigmenttikerrokseen (liikkumaton kerros) ja nestemäiseen päällystekerrokseen (liikkuva kerros) joka jää applikointitelan pinnalle. Kyseistä tapahtumaa kutsutaan filmin halkeamiseksi. (KnowPap 17.0 2016)

Todennäköisimmin filmin halkeaminen tapahtuu siinä kohdassa, jossa Z-suuntainen lujuus on pienin eli päällystekerroksen nestefaasissa (liikkuva kerros). Päällystefilmistä paperiin siirtyy tyypillisesti noin 70–90% ja 10–30% jää applikointitelan pinnalle. Tästä voidaankin todeta, että halkeaminen tapahtuu epätasaisesti. Optimaalisesti tapahtuvassa filmin halkeamisessa, applikointitelan pintaan jäävä liikkuva kerros on niin ohut kuin mahdollista. Tähän vaikutetaan koneen nopeudella, pastan korkealla kuiva-ainepitoisuudella ja mahdollisimman pienellä viskositeetilla. Jos liikkuva kerros on liian paksu, syntyy päällystysongelmia. Kuvassa 11 on esitetty pastan käyttäytyminen applikointinipissä sekä filmin halkeaminen yksipuoleisessa filminsiirtoprosessissa. (Know-Pap 17.0 2016)



Kuva 11. Yksipuoleinen filminsiirtopäällystin ja filmin halkeaminen (Grön & Fors 2002: 505)

Liikkuvan kerroksen paksuuteen vaikuttaa pigmentin koko ja kokojakauma, jotka vaikuttavat liikkumattoman kerroksen pakkautumiseen. Pastan reologialla tarkoitetaan pastan käyttäytymistä mekaanisen rasituksen alaisena, eli leikkausohenevuutta ja viskoelastisuutta. Siihen vaikutetaan viskositeetilla ja vesirentiolla, joita pystytään muuttamaan lisäaineilla ja paksuntajilla. Filminsiirtopäällystyksessä pastan leikkausohenevuus ja pieni elastisuus ovat haluttuja ominaisuuksia. Pastaan kohdistuu suuria leikkausvoimia ja leikkausoheneva käyttäytyminen mahdollistaa ongelmattoman päällystämisen. Viskoelastisuutta tarvitaan neutraloimaan applikointinipin kohdistama painepulssi. Pastaan kohdistuva painepulssi kasvaa koneen nopeutta nostettaessa. (KnowPap 17.0 2016)

Päällystystulokseen vaikuttavat tekijät:

- Nippipaine ja viipymäaika
- Pastan penetraatio pohjapaperiin
- Veden erottuminen pastasta, vesirentio
- Päällysteen jähmettyminen ja kuivatus
- Päällystekerroksen elastisuus kun raina irtoaa applikointitelalta

(Grön, Kinnunen, Tani, Nikula 1998: 508, 509)

### 3.4 Filminsiirtopäällystyksen ongelmia

Kirjallisuus mainitsee filminsiirtopäällystyksen ongelmiksi mm. juovat, pastan sumuamisen, ”appelsiinikuvion”, päällysteen kuivumisen applikointitelan pintaan, päällysteen huonon peittävyuden sekä rainan tarttumisen applikointitelan pintaan. Kaikki nämä edellä mainitut tekijät aiheuttavat ongelmia joko ajettavuuteen tai päällysteen laatuun. Pigmentin irtoamisesta/hioutumisesta ja siitä johtuvasta jälkikuivatusosan pölyämisestä ei löydy mainintoja tarjolla olevasta tutkimuksesta. Hypoteesi on, että pohjapaperin ominaisuudet ja pastan penetroituminen sekä sitoutuminen vaikuttavat tähän ongelmaan. (KnowPap 17.0 2016; Rimpiläinen 2016)

### 3.5 Pohjapaperin vaikutus filminsiirtopäällytykseen

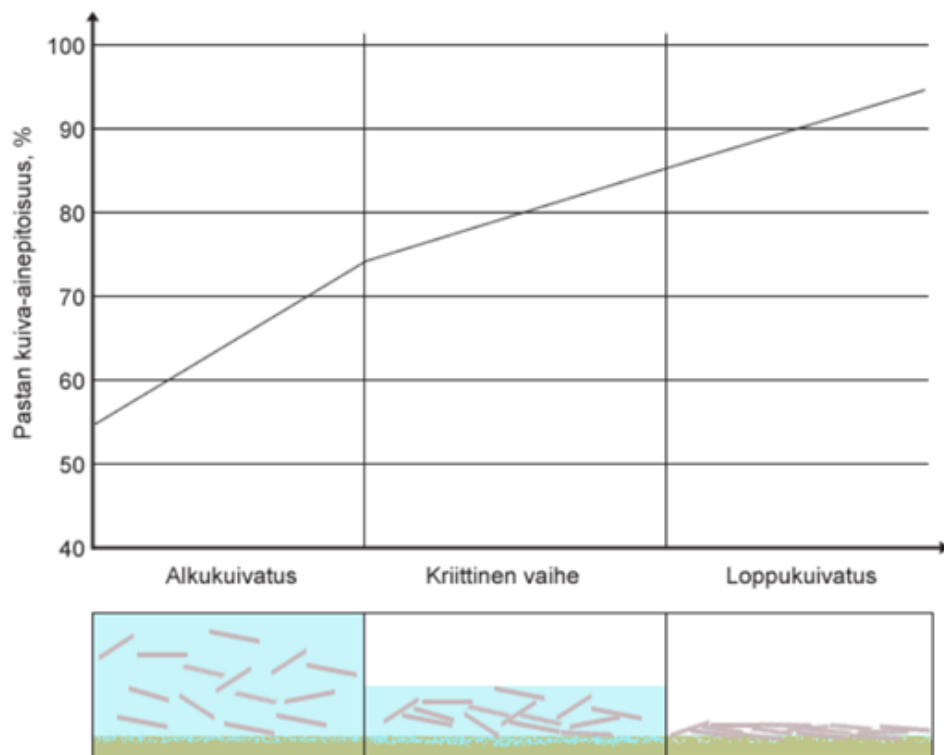
Pohjapaperilla on suuri vaikutus päällystetyn paperin laatuun. Filminsiirtopäällystyksessä päällystyspasta mukailee paperin pintaa, joka on aina epätasainen, kukkulat ja laaksot jäävät paperin pintaan filminsiirron jälkeen. Pohjapaperin tiivis, suljettu pinta on tärkeä ominaisuus, koska avoin rakenne mahdollistaa liiallisen pastan penetroitumisen pohjapaperiin. Liiallinen pastan penetroituminen aiheuttaa päällysteen huonon peiton ja epätasaisen päällystekerroksen. Huonosta peittävyydestä seuraa päällysteen huono laatu. Filminsiirtopäällystys mahdollistaa pohjapaperissa vähemmän sellun käytön, koska se on hellävaraisempi kuin teräpäällystys – tällä ei ole kuitenkaan merkittävää vaikutusta hienopaperin valmistuksessa. Myös hienoaineksen määrä on tärkeä pohjapaperin ja pastan vuorovaikutuksessa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 198, 199; Paltakari 2009: 507)

Puuvapaa paperi sisältää paljon suuria huokosia, millä on suora vaikutus huokoisuuteen ja huokoisuuskokojakaumaan. Suurempi täyteainemäärä etenkin paperin pinnassa tukkii suuria huokosia, eli niiden määrä vähenee. Täyteaine parantaa pastan absorptiovastusta, pinnasta tulee suljetumpi. Hypoteesin mukaan korkean huokoisuuden paperi aiheuttaa jälkikuivatusosan pölyämistä. (Grön, Kinnunen, Tani, Nikula: 1998)

## 4 PÄÄLLYSTEEN KUIVATUS

Tutkimusten mukaan esipäällysteen kuivatuksella ei ole niin suurta vaikutusta loppu-  
tuotteen laatuun kuin pintapäällysteen kuivatuksella. Päällystyspatojen kuiva-  
ainepitoisuus vaihtelee 40–70% välillä, korkeat kuiva-ainepitoisuudet pastassa ovat suo-  
tavia, jotta turhaa vettä ei ole haihdutettavana. Pastassa oleva vesi nostaa rainan kosteut-  
ta päällystysaseman jälkeen, joten päällystysprosessiin liittyy aina olennaisena osana  
kuivatus. Kun päällystefilmi applikoidaan rainan pinnalle, pastassa oleva vapaa vesi  
alkaa välittömästi imeytyä kuituverkon huokosiin ja päällystekerroksen kuiva-  
ainepitoisuus nousee. Kuivatusprosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen; alkukuiva-  
tus, kriittinen vaihe ja loppukuivatus. Kuvassa 12 on esitetty pastan kuiva-  
ainepitoisuuden käyttäytyminen kuivatuksen eri vaiheissa.

(KnowPap 17.0 2016; Paltakari: 2009. 577, 578)



Kuva 12. Päällysteen kuivatuksen vaiheet (KnowPap 17.0 2016)

Alkukuivatuksessa päällystyspasta imeytyy heti applikointinipin jälkeen pohjapaperin  
rakenteeseen ja päällystekerroksen kuiva-ainepitoisuus nousee, koska päällysteen neste-  
faasi alkaa penetroitumaan pohjapaperiin. Radan lämmittäminen pienentää veden visko-  
siteettia, mikä lisää diffuusiota (veden höyrystymistä) ja tehostaa alkukuivausta. Nopea

alkukuivatus nopeuttaa päällysteen jähmettymistä ja vähentää monia negatiivisia laatuvaikutuksia. Alkukuivatus aiheuttaa pastan vesifaasin (vapaan veden) virtaamisen kohti pohjapaperia. Alkukuivatus alkaa heti applikointinipin jälkeen. (KnowPap 17.0 2016; Paltakari: 2009. 577, 578)

Kriittisessä vaiheessa muodostuu päällysteen huokosrakenne, tässä vaiheessa muodostetaan päällysteen laatu ja lopullinen rakenne. Pigmenttipartikkelit tulevat kontaktiin keskenään. Kriittinen vaihe tapahtuu IR- ja leijukuivaimella. Kuivuvat päällysteen huokokset vähentävät nestefaasin imeytymistä pohjapaperiin ja veden virtaus kääntyy pintaa kohden, sideaineet pyrkivät päällysteen pintaan. Päällysteen jähmealue sijaitsee pastan kuiva-ainepitoisuuden ollessa noin 75–85 %. Päällystekerroksen tulee olla jähmettynyt ennen kosketuksellista kuivausta. Loppukuivatuksessa päällyste kuivataan loppukuiva-ainepitoisuuteen. Loppukuivatuksella ei ole tutkimusten mukaan juurikaan vaikutusta päällysteen laatuun, tarkoitus on ainoastaan haihduttaa jäljellä oleva vesi. (KnowPap 17.0 2016; Paltakari 2009: 579, 580, 559)

Kuivatus on tärkeä päällystyksen osaprosessi, lopputuotteen laatu riippuu suuresti kuivatusprosessista. Väärä kuivatusstrategia voi pilata lopputuotteen, aiheuttaen esimerkiksi painojäljen laikullisuutta (mottling). Etenkin painettavuusominaisuudet kuten kiilto, sileys ja pintalujuus riippuvat kuivatuksesta. Kuivatus on tehtävä energiatehokkuus ja tuotteen laatu silmällä pitäen, ei pelkästään riitä, että paperi saadaan kuivaksi. Päällystysmenetelmä vaikuttaa kuinka paljon kuivatuksella voidaan paperin rakenteeseen vaikuttaa. Filminsiirtopäällystyksen jälkeen pasta on jo merkittävästi jähmettynyt applikointinipissä. Niinpä kuivatuksen vaikutus laatuun on pienempi kuin teräpäällystyksessä. (Knowpap 17.0 2016)

Kuivatusprosessissa rainassa oleva vesi voidaan jakaa kahteen osaan. Vapaaseen veteen, joka ei ole sitoutunut sekä kuitujen sisään ja pinnoille sitoutuneeseen veteen. Sitoutuneen veden poisto vaatii enemmän energiaa kuin vapaan veden. Kuivatuksen vaikutus pölyävyyteen ilmenee vapaassa vedessä tapahtuvan kapillaarivoiman aiheuttaman sideaineen vaelluksen muodossa. Mitä nopeammin vapaa vesi saadaan kuivattua, sitä nopeammin päällyste asettuu ja sideaineen vaellus lakkaa. Sideaine vaeltaa niin kauan kuin päällystekerroksessa on ns. liikkuvaa kerrosta, kun koko päällystekerros on jähmettynyt, vaellus loppuu. Tärkkelys ei ainoastaan vaella pohjapaperin rakenteeseen, veden haih-

tuminen rainan yläpuolelta, kuljettaa sideainetta kohti päällystekerroksen pintaa. Tärkelyspastoja käytettäessä alkukuivatuksen on oltava tehokas. (KnowPap 17.0. 2016; Paltakari 2009: 558,559)

Pöly muodostuu jälkihuuvaan rainan kulkiessa kuivatussylintereillä. Kuivatussylintereiden ja -viiran kohdistama pintapaine hioo pigmenttiä irti rainasta aiheuttaen pölyämistä. Oletettavasti hioutumisefekti on korrelaatiossa paperin karheuden kanssa. Sylintereiden pinnan sileydellä ja kuivatusviirujen pintojen puhtaudella on oletettavasti vaikutusta pölyävyyteen. Hypoteesi on, että 9.kuivatusryhmän viirapesuri vähentäisi pölyämistä.

#### **4.1 Rainankäntölaite (kääntöleiju)**

Kääntöleijua käytetään kosketuksettomana rainankäntölaitteena, jonka jälkeen raina siirtyy ilmakeivatusvaiheeseen. Haluttu rataetäisyys syötetään käsin prosessinohjausjärjestelmään ja paine-eroanturi huolehtii etäisyyden säädön. Radan etäisyyttä kääntölaitteesta säädetään puhaltimen johtosiipisäätimen asentoa muuttamalla. Suuttimien avulla rainan ja kääntölaitteiston väliin muodostetaan ylipaineellinen ilmapatja. Ilma otetaan suoraan konesalista, suodatetaan ja puhalletaan kääntölaitteelle. (KnowPap 17.0. 2016; Wärrä 1996: 42)

#### **4.2 Sähköinfra**

IR-kuivain on tehokas kuivatusmenetelmä ja sitä käytetään nostamaan rainan lämpötila nopeasti haihdutusalueelle. Sähkötoimisen IR-kuivaimen pääkomponentit ovat lamput, heijastimet (radan ylä- ja alapuolella) sekä jäähdytysjärjestelmä. Heijastimet kääntävät lamppujen säteilyn kohti rataa. Ne parantavat IR-kuivaimen lämmitystehoa ja materiaaliltaan heijastimien tulee olla mahdollisimman hyvin säteilyä heijastavaa. Lamppujen teho on portaattomasti säädettävissä ja maksimilämpötila on noin 2000 °C. Laitteiden elinikä edellyttää, että niitä jäähdytetään tehokkaasti. Tämä hoidetaan jäähdytysilmalaitteilla. Infran tuottamaa kuumaa ilmaa käytetään tarvittaessa jäähdytysilman lämmitykseen. (Wärrä 1996: 43; Paltakari 2009: 563)

IR-kuivaimella voidaan säätää radan poikkisuuntaista kosteusprofiilia, lamppujen tehoa voidaan säätää portaattomasti koko radan leveydeltä. Profiloitivyöhykkeen leveys on

yleensä 75mm tai 150mm, vyöhykkeiden lukumäärät vaihtelevat konekohtaisesti. Radan reunat pyrkivät kuivumaan keskustaa nopeammin, tätä voidaan kompensoida IR-kuivaimella ja välttää kuivat reunat. Pölyämisen kannalta voisi olla optimaalista säätää infran kuivatusprofiili suoraksi. Näin ollen päällystekerros pystyttäisiin kuivaamaan infralla tasaisesti koko radan leveydeltä ja pastan jähmettyminen olisi optimaalisempaa. (Paltakari 2009: 563; KnowPap 17.0 2016; Rimpiläinen 2016)

Sähköinfrojen huonoihin puoliin lukeutuu kalliit käyttökustannukset sekä alhainen hyötysuhde. Noin 25–40 % käytetystä energiasta kohdistuu rataan ja veden haihduttamiseen. Tehokkuutta voidaan parantaa pitämällä suojalasit puhtaina, pienentämällä heijastimen ja radan etäisyyttä sekä optimoimalla jäähdytysilman määrän. Lisäksi huonona puolena, lamput voivat aiheuttaa tulipaloja ratakatkojen jälkeen. (Paltakari 2009: 563)

### 4.3 Ilmakuivatus

Ilmakuivatus toteutetaan kaasuleijulla ja se on viimeinen kosketukseton kuivausmenetelmä ennen sylinterikuivatusta, aloittaen rainan loppukuivatusvaiheen. Ilmakuivatus perustuu kuumen kiertoilman puhaltamiseen kosteaan rainaan. Ilma lämmitetään kaasulla ja osa ilmasta kierrätetään takaisin puhaltimelle energian säästämiseksi. Leiju koostuu kahdesta leijulaatikosta, joiden välissä paperirata kulkee. Leijulaatikot ohjaavat kuumaa ilmaa float-suuttimien kautta saman verran kohti paperin ylä- ja alapintaa, jotta rata on stabiili laatikon välissä. (Wärri 1996: 34,35)

Kuuma puhallusilma luovuttaa paperirataan lämpöenergiaansa ja saa aikaan veden höyrystymistä. Jäähdytynyt ja kostunut ilma johdetaan takaisin kiertoilmanakanavistoon. Rainasta haihtuvan veden johdosta, kiertoilma joudutaan poistamaan vettä niin paljon, että kaikki ilmaan sitoutunut vesi poistuu. Kostea ilma poistetaan kiertoilma ja johdetaan poistoilmana lämmöntalteenottoon. (KnowPap 17.0 2016; Wärri 1996. 38,40)

Kaasupoltin kohottaa kiertoilman ja poistetun ilman tilalle tuodun korvausilman haluttuun puhalluslämpötilaan n. 300 °C. Tarvittavan hapen poltin saa esilämmitetystä palamisilmasta. Leijukuivatus on tehokas ja taloudellinen kuivatusmenetelmä. Uusi innovaatio on profiloiva OptiDry leijukuivain, jolla pystytään profiloimaan rainaa samaan tapaan kuin IR-kuivaimella. Valmetin mukaan, tulevaisuudessa OptiDry tulee korvaa-

maan IR-kuivamet paremman energiatehokkuutensa ansiosta. (Wärri 1996: 40; Valmet Oyj 2016)

#### 4.4 Sylinterikuivatus

Sylinterikuivatus on päällysteen viimeinen kuivatusmenetelmä ja sitä voidaan käyttää kun päällystekerros kestää mekaanista kontaktia. Sylintereihin johdetaan paineellista höyryä (-0,5bar–6,0bar), joka luovuttaa lämpönsä sylinterin seinämään ja lauhtuu vedeksi. Sylinterin seinämästä lämpö siirtyy rainaan. Lauhde poistetaan sylinteristä lauhteenpoistimilla, vaipan sisäpinnan lämpölistat parantavat lämmönsiirtoa. Suljettu huuva ja kellarikotelointi mahdollistavat hyvän energiatehokkuuden, ajettavuuden ja konesalin inhimilliset työskentelyolosuhteet. (Paltakari 2009: 574; KnowPap 17.0 2016)

Sylinterikuivatuksella säädetään paperin loppukosteus. Hyvän pitonsa ansiosta sylintereillä säädetään ratakireyttä, mikä on tärkeää koneen ajettavuuden kannalta. Päällysteen kuivatus loppukosteuteen ei vaadi pitkää jälkikuivatusosaa, yleensä yksi sylinteriryhmä riittää. PK7:n SymSizerillä voidaan myös pintaliimata paperia, jolloin jälkikuivatusosan tulee olla 2.ryhmäinen. Tämä ominaisuus oletettavasti lisää jälkikuivatusosan pölyämistä, koska rainaan kohdistuu enemmän mekaanista rasitusta. PK7:n jälkikuivatusosan 9.kuivatusryhmä on yksiviiraviennillä ja 10.kuivatusryhmä kaksiviiraviennillä. (Paltakari 2009: 574, 575, 576; KnowPap 17.0 2016)



## 5 PÄÄLLYSTYSPASTA

Päällyspasta koostuu neljästä pääkomponentista; pigmentti-, sideaine-, paksuntaja- ja lisäainesysteemistä. Pastakomponenttien valinnassa on tärkeää tietää ja ottaa huomioon pohjapaperin ominaisuudet, käytetyn päällystysprosessin ominaisuudet, pastan ajettavuusominaisuudet sekä millä painomenetelmällä paperi on tarkoitettu jatkojalostaa. Opinnäytetyön aihe liittyy pohjapaperikoneella tehtävään esipäällystykseseen, jossa on tärkeää, että esipäällystys mahdollistaa hyvän pintapäällystyksen kustannustehokkaasti päällystyskoneella. Tavoite- ja lähtötietojen perusteella valitaan pastan raaka-aineet joista muodostuu pastaresepti. Pastojen tärkeimmät fyysiset ominaisuudet ovat vesiretentio ja viskositeetti. (KnowPap 17.0 2016)

### 5.1 Pigmentti

Päällystyspigmentit ovat mineraaleja eli maan kuoren rakenne-elementtejä, esimerkiksi kalkkikiveä tai marmoria. Ne koostuvat kahdesta tai useammasta alkuaineen yhdistelmästä, esimerkkinä kalsiumkarbonaatti sisältää kalsiumia, hiiltä ja happea. Eri mineraalien ominaisuudet vaihtelevat mm. värin, kovuuden, tiheyden, valontaitto-ominaisuuksien, kiderakenteen ja -muodon osalta. Päällystysprosessissa käytettävien mineraalien tulee olla edullisia, puhtaita, vaaleita ja helposti lietettävissä, näin ollen laatuvaatimukset ovat korkeat. Pigmentit voivat olla myös osin tai täysin synteettisiä. Yleisimmin käytettyjä pigmenttejä ovat kaoliini, kalsiumkarbonaatti ja talkki. Pigmentin osuus kuivasta päällystyspastasta on yleensä 85–95 %. (KnowPap 17.0 2016; Suutari 2008: 9)

#### 5.1.1 Kalsiumkarbonaatti (CaCO<sub>3</sub>)

Karbonaattia esiintyy luonnossa useina eri kidemuotoina, joista tärkeimmät ovat aragooniitti ja kalsiitti. Kalkkikivessä, liidussa ja marmorissa esiintyvä kalsiumkarbonaatti on pääsääntöisesti kalsiittia. Päällystyspigmenttinä käytettävä kalsiumkarbonaatti luokitellaan sen valmistusmenetelmän mukaan: jauhettu kalsiumkarbonaatti (GCC) tai kemiallisesti saostettu kalsiumkarbonaatti (PCC). Ne eroavat käyttötarkoituksen, hinnan, hiukaskoon ja -muodon osalta. GCC on muodoltaan kuutiomainen, pyöreähkö tai prismaattinen, PCC luokitellaan erikoispigmentiksi, sen muoto on sauvamainen tai neulasmainen

ja hiukkaskoko selvästi pienempi kuin jauhetun kalsiumkarbonaatin. PCC antaa paperille erinomaiset optiset ominaisuudet. (Rimpiläinen 2007: 9,10; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 186)

Päällystyspigmenttinä käytettävän kalsiumkarbonaatin ISO-vaaleus on tavallisesti 90–95%. GCC parantaa pastan reologiaa (laskee pastan viskositeettia), huokoisuutta ja painovärien absorptiota. Kalsiumkarbonaatti on erinomainen päällystepigmentti vaaleutensa, pastan ominaisuuksien ja kustannustehokkuuden kannalta. (Rimpiläinen 2007: 10; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 187)

Kalsiumkarbonaatti ei sovellu käytettäväksi happamissa olosuhteissa sillä se liukenee alle 6,8pH:ssa, olosuhteiden tulee olla neutraalin tai alkalisen puolella. Kalsiumin liukeneminen häiritsee vesikiertoja merkittävästi edistäen saostumien syntymistä paperin ja paperikoneen pinnoille, huonontaan paperikoneen ajettavuutta merkittävästi. (Rimpiläinen 2009: 5)

Jauhetun kalsiumkarbonaatin muototekijät tekevät päällystekerroksesta huokoisen, mikä parantaa erillisellä päällystyskoneella tehtävän pintapäällystyksen tarttumista. Se myös mahdollistaa pastan korkean kuiva-ainepitoisuuden ja omaa hyvät reologiset ominaisuudet. GCC-pohjainen päällystyspasta on saatavissa toimimaan verrattain pienillä sideainemäärillä ja kustannustehokkaasti. Paperikoneen jälkihuuvaan kertyvä pöly on lähes yksinomaan paperin pinnasta irronnutta kalsiumkarbonaattia (liite 1). (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 187)

## 5.2 Sideaineet

Sideaineiden tärkein tehtävä on pigmenttipartikkeleiden sitominen toisiinsa ja paperirainaan, eli se toimii liiman tavoin. Sideaineiden osuus pastasta on noin 5–20 %. Osalla sideaineilla voidaan myös vaikuttaa pastan reologiaan ja vesirentioon. Sideaineiden oleellisin tehtävä on pigmenttihiukkasten sitominen toisiinsa ja paperirainaan. Sideaineet voivat olla luonnosta peräisin olevia liukoisia sideaineita (täkkelykset, proteiinit ja selluloosajohdannaiset) tai synteettisesti valmistettuja liukenemattomia tuotteita (lateksit). Liukoiset sideaineet, pl. polyvinyylialkoholi, antavat paremman vesirention kuin lateksit. Liian suuri sideainemäärä tiivistää liikaa päällysteen pintaa ja heikentää optisia

ominaisuuksia. Sideaine vaikuttaa pastan ja päällysteen ominaisuuksiin, haluttuja ominaisuuksia ovat mm. vaaleus tai värittämyys, hyvä sitoutumis- ja vedenpidätyskyky, liukoisuus veteen, sekoitettavuus pigmenttien kanssa sekä kalvonmuodostuskyky. (Malkki 2009: 6; Kivelä & Parikka 2007: 35, 49; Knowpap 17.0)

### **5.2.1 Tärkkelys**

Tärkkelystä saadaan perunasta, maissista ja vehnästä. Tärkkelyksen sidosvoima ja hinta vaihtelee tuotteen alkuperän ja rakenneketjunpituuden mukaan. Tärkkelys on yleisin vesiliukoinen sideaine. Päällystykseseen soveltuva tärkkelys muokataan raakatärkkelyksestä, tämä tapahtuu pilkkomalla rakenneketjuja lyhyemmiksi ja liittämällä niihin erilaisia kemiallisia ryhmiä. Näin tärkkelyksestä saadaan vesiliukoista ja viskositeettiominaisuudet paranevat. Tärkkelys ei ole vahva sideaine sidosvoimaltaan ja siksi sitä annostellaan yleensä suuria määriä, tai sitoutumista parannetaan esim. lateksilla. Osana lateksipastaa, tärkkelys parantaa viskositeettia ja vesiretentiota. (KnowPap 17.0 2016; Kivelä & Parikka 2007: 49)

Tärkkelys muodostaa kuivuessaan kovan ja joustamattoman kalvon eikä näin ollen sovellu hyvin syväpainopastoihin. Vesiliukoinen tärkkelys pyrkii vaeltamaan veden mukana, veden liikkeessa vapaasti pastassa ja pohjapaperin rakenteessa. Huokoinen pohjapaperi voi imeä tärkkelyksen pohjapaperin rakenteeseen ja näin ollen päällysteen sidosvoima heikkenee. Kuivatusvaiheessa vaeltaminen voi aiheuttaa myös päällysteen laikullisuutta, tärkkelyksen pyrkiessä vaeltamaan haihtuvan veden mukana päällysteen pintaan. (Kivelä & Parikka 2007: 49,50)

### **5.2.2 Polymeeridisersiöt**

Polymeeridisersiöt eli lateksit ovat merkittävä ryhmä päällystyksen sideaineena. Lateksien ominaisuuksia ovat: hyvä sidosvoima, hyvä märkälujuus, alhainen viskositeetti, sideainekalvon plastisuus. Nämä ominaisuudet mahdollistavat pastan korkean kuiva-ainepitoisuuden. Lateksit omaavat korkeamman sidosvoiman kuin tärkkelykset, eikä vaella merkittävästi veden mukana. Ne ovat kuitenkin hinnaltaan merkittävästi kalliimpia kuin tärkkelykset. Yleensä latekseja käytetään yhdessä liukoisten sideaineiden kanssa, jolloin liukoisilla sideaineilla säädetään päällysteen reologia ja vesiretentio halutulle

tasolle. Lateksit antavat paperille hyvän painettavuuden ja kalanteroitavuuden plastisen sideainekalvon ansiosta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 188; Kivelä & Parikka. 2007: 53)

Lateksit jaetaan kolmeen pääryhmään:

Styreenibutadieenilateksit (SB)

- Tiivis pinnanrakenne
- Erittäin hyvä sidosvoima ja vedenkestävyys
- Heikko valonkestävyys, ei sovellu arkistoitavalle paperille
- Soveltuu parhaiten offsetpäällistykseksi

Akryylilateksit

- Pehmeä pinnanrakenne
- Soveltuu hyvin syväpainopapereille
- Hyvä valon-, kemikaalin- ja vedenkestävyys
- Kalliimpia hinnaltaan kuin SB-lateksit
- Sisältävät usein PVAc:ta

Polyvinyyliaasettaatti (PVAc)

- Avoin pinnanrakenne
- Parantavat paperin kiiltoa, jäykkyyttä ja valonkestoa
- Sidosvoima ja vedenkestävyys heikommat kuin SB- ja akryylilatekseilla
- Lisää painoväriä absorptiota

(Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 188; KnowPap 17.0 2016)

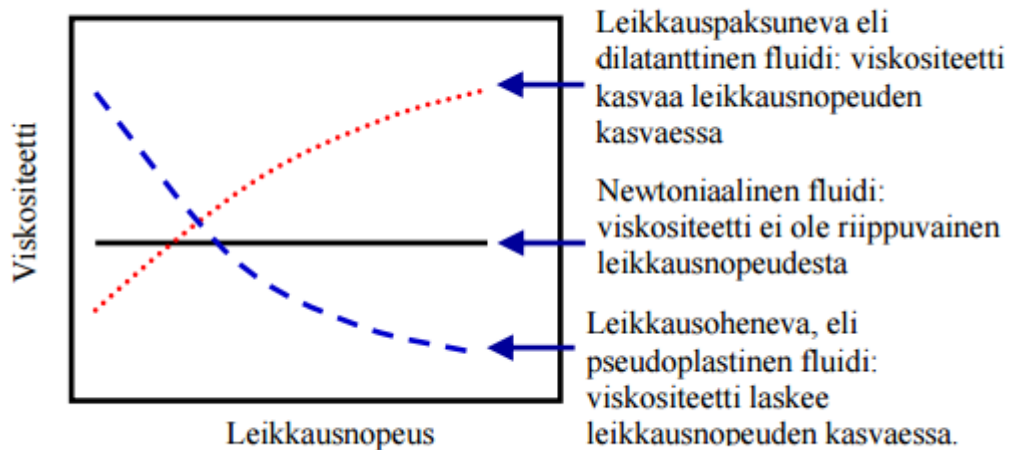
### 5.3 Reologia

Reologia tarkoittaa oppia siitä, miten materiaalit käyttäytyvät mekaanisen rasituksen alaisena. Reologisten mittausten avulla voidaan arvioida pastan käyttäytymistä päällistysprosessissa. Reologiaan vaikuttavat pastan juoksevuusominaisuudet, virtauskäyttäytyminen ja materiaalin muodonmuutos (deformaatio). Päällistyspastoissa viskositeetti on tärkein reologinen mittari. Reologiaan vaikuttaa myös viskoelastisuus ja venymäviskositeetti. (Annala 2006: 26; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003: 184)

### 5.3.1 Leikkausnopeudesta ja -ajasta riippuva reologia

Virtaukset voidaan jakaa kahteen pääluokkaan niiden ominaisuuksien mukaan: newtoniaalisiin sekä ei-newtoniaalisiin. Päällystypastat ovat yleensä ei-newtoniaalisia, eli sen viskositeetti riippuu lämpötilasta, leikkausnopeudesta ja -ajasta. Newtoniaalisessa materiaalissa viskositeetti ei muutu olosuhteiden muuttuessa. On tärkeää huomata, että viskositeetti on käyrä, ei pelkästään numero jostakin. Käyrä riippuu viskositeetin muutoksesta lämpötilan, leikkausnopeuden tai -ajan suhteen. (Paltakari 2009: 320; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 184,185)

Leikkausnopeudesta riippuva reologia tarkoittaa miten pasta käyttäytyy eri leikkausnopeusalueilla. Pasta voi olla leikkausoheneva (pseudoplastinen) eli viskositeetti pienenee kun leikkausnopeus nousee, tai leikkauspaksuneva (dilatanttinen) eli viskositeetti kasvaa kun leikkausnopeus nousee. Yleensä pastat ovat leikkausohenevia, eli viskositeetti laskee rasituksen kasvaessa. Pasta käyttäytyminen vaihtelee leikkausnopeusalueiden mukaan. Kuvassa 13 on havainnollistettu leikkausnopeuden vaikutus viskositeettiin käyrien avulla. (Annila 2006: 27; Paltakari 2009: 318, 321)



Kuva 13. Leikkausnopeuden vaikutus viskositeettiin (Annila 2006: 26)

Leikkausaika vaikuttaa päällystypastoihin yleensä tiksotrooppisesti, mikä tarkoittaa, että viskositeetti laskee kun leikkausaika kasvaa. Kun rasitus pienenee tai loppuu, viskositeetti palaa alkuperäiselle tasolle. Reopektisyys on tiksotropian vastakohta, visko-

siteetti kasvaa ajan funktiona. Jos pasta olisi reopektistä, sitä olisi lähes mahdoton käyttää päällystysprosessissa. (Paltakari 2009: 322, 323)

### 5.3.2 Viskositeetin vaikutus pastoihin

Päällystyspastat muodostavat kompleksisen sekoituksen liukenemattomia partikkeleita (pigmentit ja lateksit), vesiliukoisista polymeerejä (täkkelys, PVA, CMC) ja muita lisäaineita (mm. optinen kirkaste, ca-stearaatti). Pastan viskositeettiprofiili tulee tietää, eli miten eri aineet reagoivat keskenään. Leikkausvoimat voivat rikkoa pastan rakenteen ja näin aiheuttaa huonon päällystystuloksen. Matalia leikkausvoimia aiheuttaa pumppaaminen ja sekoitus, korkeita leikkausvoimia painesihtaus ja applikointi, ultrakorkeita mm. teräkaavaus joka kestää vain muutamia mikrosekunteja. Matalien leikkausvoimien ominaisuudet ovat tärkeitä käsittelemisen ja pumpattavuuden kannalta. Korkeat ja ultrakorkeat leikkausvoimat vaikuttavat pastan käyttäytymiseen päällystysasemalla ja näin ollen ajettavuuteen. Tämän johdosta pastan viskositeetti tulee mitata erilaisten leikkausnopeusalueiden osalta. (Knowpap 17.0; Paltakari 2009: 350, 351)

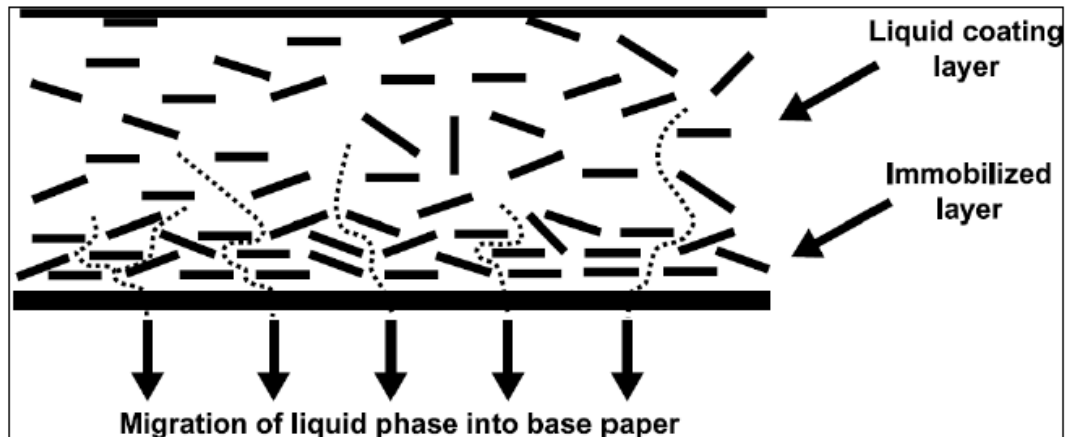
Päällystysprosessissa pastan reologia vaikuttaa mm. päällysteen rakenteeseen ja laatuun, pastan ajettavuusominaisuuksiin päällystysyksiköllä sekä päällystemäärän hallintaan. Yleisesti päällystysprosessien kannalta optimaalinen viskositeetti on 1000–2000mPas. (Paltakari 2009: 339, 350)

## 5.4 Vesiretentio

Vesiretentiolla tarkoitetaan päällystyspastan vedenpidätyskykyä, eli kykyä pidättää itsessään vettä tai nestefaasia päällystysprosessin aikana. Pastan hyvä vesiretentio tarkoittaa, hyvää vedenpidätyskykyä, jolloin vesi pysyy pastan sisällä. Huono vesiretentio toimii toisinpäin, eli vedenerotus pastasta on korkea. Jossain tapauksissa huono vesiretentio voi olla tavoiteltava ominaisuus. (Paltakari 2009: 367)

Pastan applikoinnissa pohjapaperin pinnalle, kapillaari-ilmiö aiheuttaa pastan nestefaasin penetroitumista pohjapaperin rakenteeseen. Filminsiirtopäällystyksen nippi, tai teräpäällystyksen kaavinterä edesauttaa penetraatiota ja näin ollen myös veden erottumista pastasta. Pastan jähmettyminen alkaa kun neste penetroituu ja päällystekerroksen kuiva-

ainepitoisuus nousee. Kapillaaripenetraation aikana pohjapaperiin imeytyy pääasiassa vettä (kuva 14), mutta myös sideaineita. Sideaineet eivät tunkeudu samassa suhteessa pohjapaperiin veden kanssa, koska sideaineet reagoivat päällystyspigmentin kanssa. On hyvä huomata, että tärkkelys on vesiliukoista ja näin ollen herkästi vaeltava sideaine. (Kivelä & Parikka 2007: 65,66; Knowpap 17.0 2016)



Kuva 14. Sideaineen vaeltamisen periaate (Kivelä & Parikka 2007: 72)

Ajettavuuden ja laadun kannalta penetraation tulee olla hallittu tapahtuma. Pastan optimaalisen sitoutumisen kannalta pohjapaperin huokoisuus ja pastan vesiretentio ovat tärkeitä ominaisuuksia. Vettä ja sideainetta on imeydyttävä paperiin oikea määrä päällystekerroksen sitoutumisen kannalta. Oikea määrä vaihtelee konekohtaisesti, vettä ja sideainetta tulee imeytyä riittävästi, mutta ei liikaa. Liiallinen penetraatio heikentää pohjapaperia ja päällystystulosta. (Kivelä & Parikka 2007: 66; Paltakari 2009: 370)

Liian alhaisesta vesiretentiosta johtuvia tyypillisiä ongelmia:

- Ennen kaavinterää tai applikointinippiä tapahtuva nopea päällysteen kuiva-ainepitoisuuden nousu. Nostaa pastan viskositeettiä paineen alla, ajettavuus huononee ja päällystemäärän säätely hankaloituu. Pasta voi muodostaa paksun ja liikkumattoman suoduskakun, joka voi aiheuttaa viiruuntumista tai jopa ratakatkon.
- Sideaineiden rikastuminen pohjapaperin pinnalle, johon muodostuu sideaineiden maksimikohtia ja viereen minimikohtia. Päällysteen lujuus voi minimikohdassa alittaa vaatimukset hyvälle pastan sitoutumiselle.

- Konekierrossa pastan kiintoainemäärä nousee, pastan koostumus ja reologiset ominaisuudet muuttuvat vähitellen. Tästä seuraa, että kuiva-ainepitoisuutta pyritään säätämään laimennusvesillä. Pasta köyhtyy laimennuksien seurauksena vesiliukoisista aineista. Voi olla vaikutusta myös pölyämiseen.

Liian korkeasta vesirentiosta johtuvia tyypillisiä ongelmia:

- Liian vähäinen nesteen penetraatio aiheuttaa, että päällystekerros ei sitoudu pohjapaperiin optimaalisesti.
- Päällysteen huono peittokyky
- Päällysteen kuivatus hankaloituu vesirention kasvaessa.

(Kivelä & Parikka 2007: 67; Paltakari. 2009: 320, 370)

Pastan vesirentioon vaikutetaan helpoiten muokkaamalla pastareseptiä. Kuvasta 15 huomaa, että valittu pigmentti vaikuttaa vesirentioon partikkelin muodon ja kokoja-kauman kautta. Karkeat pigmentit, niukalla partikkelikokojaumalla eivät pakkaudu tiivisti, edesauttaa nopeaa veden erotusta mistä seuraa huono vesirentio. Lautasmainen partikkeli parantaa vesirentiota, sillä vedenerotus on hitaampaa. (Kivelä & Parikka 2007. 78)



Kuva 15. Pigmenttipartikkelin muodon vaikutus vesirentioon (Kivelä & Parikka 2007: 79)

Vesiliukoiset sideaineet antavat yleisesti paremman vesirention kuin liukenemattomat sideaineet. Vesirentioon voidaan vaikuttaa myös paksuntajilla tai co-sideaineilla (co-binder), joiden tehtävänä on säätää pastan viskositeetti ja vesirentio halutulle tasolle. Co-sideaine tarkoittaa paksuntajaa joilla on myös hyviä sidosominaisuuksia, esim. CMC on hyvin monikäyttöinen co-sideaine. Paksuntajat ja co-sideaineet pyrkivät



vuorovaikuttamaan vesimolekyylien kanssa ja hidastamaan vedenerotusta. (Kivelä & Parikka 2007: 35)

Paperinvalmistusprosesseissa käytetään useita eri keinoja säätelemään pohjapaperin absorptiomäärää. Absorptiomäärä ilman ulkoista painetta määritellään pääosin pintakemikaaliominaisuuksilla. Pohjapaperin absorptiomäärää säädellään erilaisilla hydrofobisilla käsittelyillä, kuitumateriaalin hydrofiilisyydellä, sekä täyteainelajeilla. Toisaalta korkean ulkoisen paineen alla tapahtuva vesipenetratio, kuten terän alla, on pääosin riippuvainen pohjapaperin rakenteesta. Korkea kuidun jauhatus ja täyteaineen suuri määrä, kuten myös kalanterointi ja muut pintakäsittelyt, jotka sulkevat pintaa, ovat tehokkaita keinoja vähentämään painepenetratiota. (Kivelä & Parikka 2007: 71; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003: 79,80)

Suodoskakun ollessa ohut, pohjapaperin pinnan huokoisuus on vedenerotuksen tärkein tekijä. Kakun kasvaessa, vedenerotuksen määrä on lähes täysin kakun ominaisuuksista riippuvainen. Pinnalle muodostunut suodoskakku kasvaa progressiivisesti pastan jatkaessa vedenerotusta ja kapillaarivoiman aiheuttama veden liikkuminen pohjapaperissa jatkuu, kunnes päällystys kovetetaan kuivauksessa. (Knowpap 17.0. 2016; Kivelä & Parikka. 2007: 85)

#### **5.4.1 Veden erottuminen päällystysasemalla ja siihen vaikuttavat tekijät**

Liiallinen vedenerotus pohjapaperiin voi aiheuttaa monenlaisia laatu ja ajettavuus ongelmia, mm: viiruja, pinnan karheutumista (kuidut turpoavat pohjapaperissa), sideaineen vaeltamista ja ratakatkoja (lujuudet heikkenevät). Näiden syiden takia liiallisen vedenerotuksen estäminen on suotavaa. (Kivelä & Parikka 2007: 84)

Filminsiirtopäällystyksessä päällyste applikoidaan yhtä aikaa pohjapaperin molemmille puolille paineellisessa nipissä. Paineenalaisena pasta pyrkii tunkeutumaan huokoiseen pohjapaperiin, aiheuttaen ikään kuin tulpan paperin pinnalle. Vesi ja osa sideaineesta pääsevät paperin rakenteeseen, kun taas kiintoaineet (pigmentit) jäävät paperin pinnalle muodostaen suodoskakun. Nipissä, suodoskakun ollessa ohut, pohjapaperin pinnan huokoisuus on vedenerotuksen tärkein tekijä. Veden penetraatiota pohjapaperiin voidaan hidastaa pastan hyvällä vesiretentiolla. Taulukkoon (1) on koottu mitkä tekijät

kasvattavat tai alentavat vedenerotusta pastasta. Kapillaarivoiman aiheuttama veden liikkuminen pohjapaperissa jatkuu, kunnes päällyste kovetetaan kuivauksessa. (Kivelä & Parikka 2007. 85,86; Gutoff & Cohen 2006: 241)

Taulukko 1. Pastan vedenerotukseen vaikuttavat muuttujat (Knowpap 17.0 2016)

<b>Kasvaa</b>	<b>Nipissä pastasta poistuva veden määrä</b>
Pastan nestefaasin viskositeetti	Vähenee
Pastan kuiva-ainepitoisuus	Vähenee
Koneen nopeus	Vähenee
Pigmentin partikkelikoko	Kasvaa
Suodinkakun huokoisuus	Kasvaa
Nipin viivakuorma	Kasvaa

## 5.5 Keräilypasta

Keräilypastaa syntyy päällystyskoneen lajinvaihdossa kun päällystysasemien pastoja vaihdetaan. Käyttämättä jäänyt pasta johdetaan konesäiliöistä ja - kierroista keräilypastasäiliöön. Valmistettaessa esipäällystepastaa, keräilypastasäiliöstä pumpataan keräilypastaa painesihdin kautta.

Keräilypastan käyttö esipäällysteeseen parantaa tuottavuutta. Nykyaikaisella paperikonelinjalla pyritään hyödyntämään kaikki hyödynnettävissä olevat materiaalit. Keräilypastan mahdollista vaikutusta pölyävyyteen ei tiedetä. Toimivalla pölynmittauksella se voidaan todentaa.

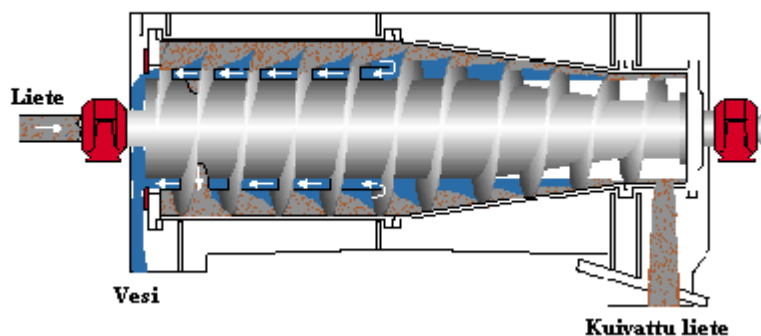
## 5.6 Linkopasta

Päällystyskoneen katkojen yhteydessä sekä seisokeissa suoritetaan päällystysasemille ja pastakierroille pesuja. Pesujen ja painesihtien rejektointien yhteydessä syntyy pastapitoisia vesiä, jotka johdetaan suljetussa järjestelmässä pastakeittiön pastapitoisten vesien keräilysäiliöön. Pastapitoisten vesien uudelleenkäyttö päällystysprosesseissa parantaa tuottavuutta, vähentäen jäte- ja pigmenttikustannuksia. PPK6:n ja PPK7:n pastapitoiset vedet käytetään kierrätyspigmenttinä PK7:n esipäällystepastassa. On olemassa mahdol-

lisuus, että linkopasta voi vaikuttaa pölyävyyteen, sen mahdollista vaikutusta pölyongelmaan ei tunneta ja se tulisi selvittää. (Suutari 2008: 18,19)

Pastapitoinen vesi on pääasiassa vedellä laimentunutta pastaa, sisältäen pesujen mukana tulleita epäpuhtauksia kuten kuivuneita pastakokkareita, paperin palasia sekä kuituja. Näin ollen pastapitoiset vedet tulee sihdata, jotta varmistetaan pastapitoisten vesien ja valmiin kierrätyspigmentin laatu ja puhtaus. Hyötykäytettävän pastanpitoisen veden kuiva-ainepitoisuus on noin 2 – 13 %, se ei siis sovellu pelkästään puhdistettuna käytettäväksi paperin päällystysprosessissa. Näin ollen pastapitoisen veden kuiva-ainepitoisuutta on nostettava merkittävästi, jotta se saadaan tavoitteeseen noin 60 – 70 %. Kuiva-ainepitoisuuden nosto toteutetaan linkouksella. (Suutari 2008: 20,28)

Linkous on yleisesti tunnettu lietteiden kuiva-aineen nostomenetelmä. Linkoja käytetään esimerkiksi jäteveden puhdistuslaitoksilla. Niitä voidaan käyttää, myös todella hienojen materiaalien kuten kaoliini- ja kalsiumkarbonaattilietteiden kuiva-aineen nostoon. Lingon (kuvassa 16) toiminta perustuu pyörivään rumpuun, jonka sisällä on rummusta riippumattomalla nopeudella pyörivä ruuvikuljetin. Rummussa kiintoaine ja vesi erottuvat toisistaan tiheuseroihin perustuen. Ruuvi kuljettaa kiintoaineen ulos rummusta ja vesi poistuu rummun patolevyjen yli rejektiputkeen. (Suutari 2008: 31)



Kuva 16. Lingon poikkileikkauskuva (Suutari 2008: 31)

Lingolla saadaan nostettua pastapitoisen veden kuiva-ainepitoisuus haluttuun 50–60 %:iin polymeeriä apuna käyttäen. Polymeerin tarkoitus on flokata linkoon syötettävää lietettä ja näin ollen parantaa linkouksen tehokkuutta. Linkouksen jälkeen kuivatusta jakeesta käytetään termiä kierrätyspigmentti tai kansankielellä linkopasta. Tuotteen pH säädetään lipeällä, mikä toimii myös dispergointiaineena. Pigmenttilietteen partikkelei-

den dispergoitavuus helpottuu kun pH:ta nostetaan. Ennen pastan syöttämistä valmistukseen se sihdataan painesihdillä, jotta tuotteesta saadaan pois pienimmätkin partikkelit, jotka voivat heikentää päällystystulosta. (Suutari 2008: 22,32,59)

Mikrobitoiminta voi pilata kierrätyspigmentin tai laskea pH:ta mikä puolestaan aiheuttaa kalsiumin liukenemista. Pastapitoisissa vesissä on runsaasti ravinteita pastatärkkelyksen johdosta, lisäksi viipymäajat ovat pitkiä mikä laskee pH:ta. Alentunut pH edistää mikrobien kasvua. Vesien pH voidaan pitää tavoitetasolla (pH 9) lipeän avulla ja mikrobien kasvu estää biosidien avulla. Linkopastan valmistuksessa vesien pH:n kontrollointi on tärkeää, koska se laskee mikrobitoiminnan seurauksena. (Suutari 2008: 20,27)

Päällystyspastan valmistuksessa käytettävien pigmenttien sihtauksella on suuri merkitys paperin laatuominaisuuksiin, koska itse pigmentti on suurin epäpuhtauksien lähde pastassa. Pigmenttiliettelä suositellaankin sihtausta ennen varastosäiliöön syöttämistä ja toista sihtausta ennen pastan valmistukseen syöttämistä. (Suutari 2008: 22)

## 6 PAPERIN PÖLYÄVYYDEN MITTAAMINEN

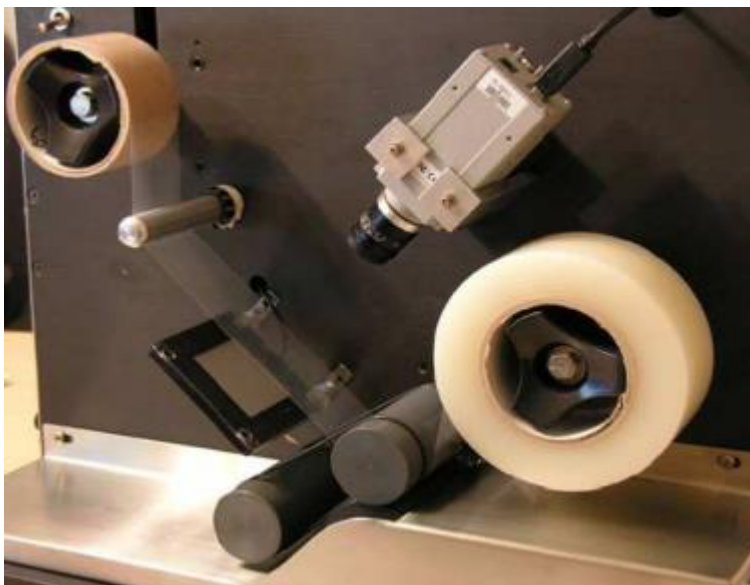
Paperin pölyävyyden mittaamiseen on kehitetty muutamia erilaisia ratkaisuja, mittarit on kehitetty pintapölyävyyden mittaamiseen, joka on yleisesti tiedetty ongelma päällystämättömillä papereilla sekä painokoneilla. Paperin pintapölyävyys johtaa huonoon painojälkeen, sekä vaikuttaa heikentävästi painokoneen ajettavuuteen. Pintapölyävyyttä indikoivia mittareita ovat mm. Labtech Instruments Inc. LintView Auto Plus 900 sekä suomalaisen ACA Systemsin valmistama DPA-pölymittari. (Lippo 2013: 10)

Työn ensisijaisena tarkoituksena on löytää PK7:lle luotettava pölymittari, joka korreloi rainasta jälkikuivatusosan rakenteisiin muodostuvaan pigmenttipölyyn. Mittarin kartoitusvaiheessa selvisi, että tämän ongelman ratkaisuun soveltuvien pölymittareiden tarjonta ei ole valtaisa.

### 6.1 LintView

Kanadalaisen Labtech Instrumentsin valmistama LintView Auto Plus 900 on laboratoriomittalaite joka on kehitetty ensisijaisesti paperin pintapölyävyyden mittaamiseen. Laitteen avulla saadaan selville paperin pölyämiskäyttäytyminen painatuksen aikana. Se irrottaa paperinäytteen ylä- ja alapinnalta heikosti sitoutuneen materiaalin, mikä korreloi paperin pintapölyävyyteen painatusprosesseissa. (Lippo 2013: 14)

Näyte syötetään laitteeseen ja teipin avulla paperin pinnasta irrotetaan heikosti sitoutuneet partikkelit. Tämän jälkeen teippi kulkeutuu valopöydän ohi ja kamera kuvaa teipin koko matkalta (kuvassa 17). Ohjelma analysoi kameran kuvan ja laskee paperista irronneet erikokoiset partikkelit. Ohjelma laskee paperista irronneet 50 $\mu$ m ja 100 $\mu$ m kokoisten partikkeleiden lukumäärän, josta voidaan tulkita paperin pölyävyys. Laite ilmoittaa tuloksissa myös LintView-indeksin, mutta sitä ei käytetty tässä opinnäytetyössä. LintView-indeksi on laskennallinen arvo paperin pölyävyydestä, siitä ei ole tietoa mitä se käytännössä tarkoittaa, siksi seurasimme vain partikkeleiden lukumääriä. (Lippo 2013: 15)



Kuva 17. LintView paperin pintapölyävyyden mittalaite (Lippo 2013: 14)

Mittalaite on kehitetty alun perin painettavuusongelmien ratkaisuun, laitteesta on saatavissa korrelaatioita myös PK7:n pölyongelmaan. Hypoteesi on, että jos paperissa on paljon helposti irtoavia partikkeleita, pölyä kertyy paljon myös huuvaan. Toinen mahdollinen näkemys on, että jos Lintview-tulokset ovat matalat, onko mahdollista, että partikkelit ovat irronneet jo jälkikuivatusosalla ja pölyävyys ei näy LintView-tuloksissa.

## 6.2 Sintrol Dumo -ympäristöpölymittari ja S303

Sintrol Dumo (kuva 18) on ympäristöpölymittari joka mittaa ympäristön pölypitoisuutta. Se kerää reaaliaikaista tietoa ympäristön suhteellisesta pölypitoisuudesta ja tieto lähetetään milliampeeriviestinä prosessinohjausjärjestelmään. Näin saadaan jatkuvaa tietoa ympäristön pölypitoisuudesta.

Mittarin toiminta perustuu sähköstaattiseen induktioon. Pölyhiukkaset kulkevat mittarissa olevan tunnelin läpi, jonka keskellä on anturi. Anturiin osuva, tai sen vierestä kulkeva hiukkanen aiheuttaa varauksen anturiin ja mittari muuttaa varauksen suhteelliseksi pölypitoisuudeksi. Käyttöönottovaiheessa mittari suorittaa automaattisen kalibroinnin ympäristön pölypitoisuuden mukaan. Kalibrointiin on mahdollista vaikuttaa mittarin mukana toimitettavalla tietokonesovelluksella. (Sintrol Oy: 2015)



Kuva 18. Sintrol Dumo ympäristöpölymittari (Sintrol Oy 2016)

Mittari soveltuu monenlaisiin käyttökohteisiin ja se on käytössä eri teollisuuden aloilla, antaen luotettavaa tietoa ympäristön pölypitoisuudesta. Kokonsa puolesta (234x155x153mm) mittari on asennettavissa myös ahtaisiin tiloihin. Opinnäytetyössä halutaan selvittää huurossa tapahtuvaa pölyämistä. Huuvan olosuhteet ovat haasteelliset pienelektroniikkaa sisältäville laitteille korkean lämpötilan (60–70 °C) ja kosteuden johdosta. On olemassa epäilyksia laitteen toimivuudesta kyseisissä olosuhteissa. (Sintrol Oy 2015)

Sintrol S303 on ilmanvaihtokanavaan asennettava pölymittari. Sen toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin Dumo, mutta anturi on huomattavasti pidempi kuin Dumossa. Anturi asennetaan ilmanvaihtokanavaan, josta se mittaa kanavassa kulkevan pölyn määrää. Tässä tapauksessa mittari asennetaan jälkihuuvan poistoilmakanavaan. Kuvassa 19 on S303:n mittausyksikkö ja anturi.



Kuva 19. Sintrol S303 (Sintrol Oy 2016)

Kyseisten pölymittareiden avulla halutaan selvittää huuvan pölytasoa reaaliaikaisesti. Luotettavan mittauksen avulla on mahdollista päästä käsiksi pölyävyyttä aiheuttaviin tekijöihin. Pölymittauksen avulla voidaan todeta onko prosessiin tehtävillä muutoksilla vaikutusta todelliseen pölytasoon.



## 7 KOKEELLINEN OSA

Pölymittareiden tehtävä on mitata rainasta irtoavaa pölyn määrää ja näin ollen mahdollistaa koeajot ja seurannan paperin pölyävyyden vähentämiseksi. Kokeellisen osan yksi päämäärä on selvittää Sintrolin pölymittareiden soveltuvuus filminsiirtopäällystyksestä johtuvan paperin pölyämisen mittaamiseen. Kyseisiä pölymittareita ei ole aikaisemmin käytetty kyseisessä sovelluksessa. Toinen tavoite on löytää, suoritettavien koeajojen avulla, korrelaatioita teoriaosan hypoteesien ja pölymittareiden ilmoittamien pölypitoisuuksien välille. Valituilla koeajoilla uskotaan olevan vaikutusta pölyävyyteen.

### 7.1 Pölymittareiden käyttöönotto sekä soveltuvuus

Pölymittareiden kartoitusvaiheen jälkeen päätettiin hankkia testauskäyttöön PK7:lle kolme Sintrolin pölymittaria. Opinnäytetyön ensisijainen tarkoitus on löytää toimiva pölymittari jälkikuivatusosan pölyävyyden seuraamiseen. Näin ollen työn kannalta on ensisijaisen tärkeää selvittää asennettujen mittareiden soveltuvuus kyseiseen tehtävään sekä saada mittarit toimimaan halutulla tavalla.

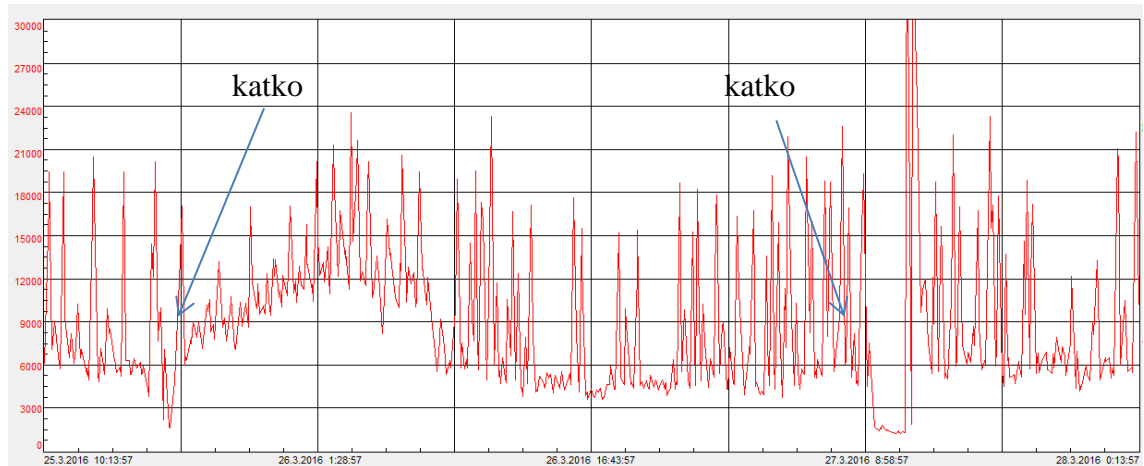
#### 7.1.1 I-vaihe 3.3.2016–12.4.2016

Mittarit asennettiin PK7:n huoltoseisokissa 3.3.2016. Mittareiden asennuspaikkoja mietittiin usean henkilön toimesta ja valitut asennuspaikat olivat: jälkihuuva 9.ryhmä KP (Sintrol Dumo), kalanterin viereinen hoitosilta (Sintrol Dumo) sekä jälkihuuvan poistoilmakanava (Sintrol S303). Kyseisiä mittareita ei ole käytetty aiemmin paperin pinta-pölyävyyden mittaamiseen.

#### 7.1.2 Tulokset

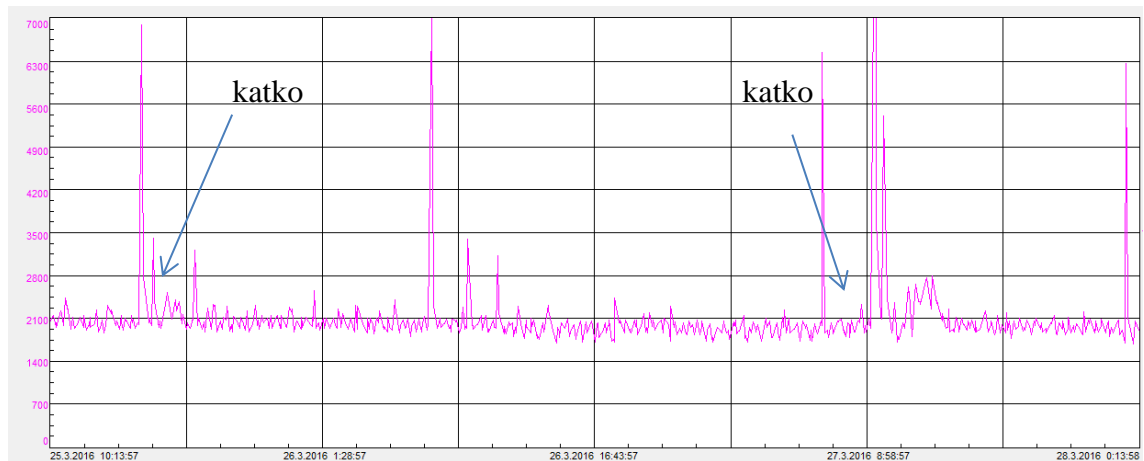
Kaikki pölymittarit mittaavat ilman suhteellista pölypitoisuutta, eli mitatuilla tuloksilla ei ole tarkkaa yksikköä. Mittareiden tarkoitus on mitata karkeasti millä tasolla pölyäminen on tietyllä ajan hetkellä ja suhteellinen pölypitoisuus on riittävä skaala tähän mittaukseen. Kuvassa 20 on kalanterin viereisen hoitosillan pölymittarin mittauskäyrä ajalta 25.3.2016–28.3.2016. Kuvasta voi tulkita, että pölytasot vaihtelevat eri ajan hetkillä, mikä on positiivinen havainto. Kuvasta on myös havaittavissa paperikoneen katkot, jot-

ka aiheuttivat pölytason hetkellisen laskun. Ongelmaksi tässä mittauspaikassa muodostui mittarin piikittely, joka johtui mittarin asennuspaikan resonoinnista.



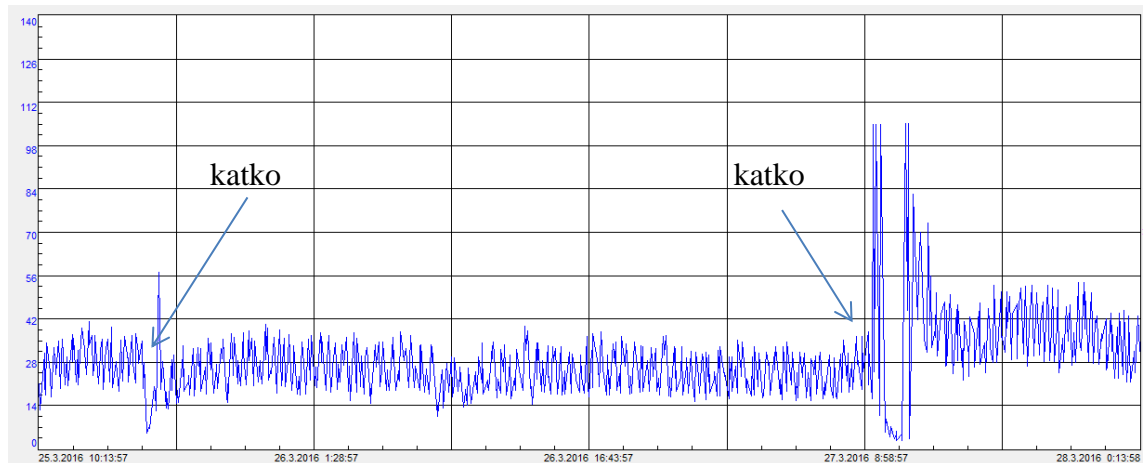
Kuva 20. Sintrol Dumo, kalanterin viereinen hoitosilta 25.3–28.3.2016

Kuvassa 21 on jälkihuuvassa sijaitsevan pölymittarin mittauskäyrä. Kuvasta on tulkittavissa, että pölytasot eivät juuri vaihtele ajon aikana. Mittaustuloksista on havaittavissa paperikoneen katkot, sekä yksittäisiä mittauspikkejä.



Kuva 21. Sintrol Dumo, jälkihuuva 9.ryhmä KP 25.3–28.3.2016

Kuvassa 22 on jälkihuuvan poistoilmakanavan pölymittarin mittauskäyrä. Tulokset pysyvät samalla skaalalla, kunnes katkon jälkeen 27.3, poistoilmakanavan pölytaso jää korkeammaksi.



Kuva 22. Sintrol S303 jälkihuuvan poistoilmakanava 25.3–28.3.2016

### 7.1.3 Johtopäätökset

Kalanterilla olevaa mittaria seuraamalla selvisi, että mittarista voi olla hyötyä paperin pölyävyyden tulkintaan. Kalibroinnin ja oikean skaalan löytämisen jälkeen pölytasot vaihtelivat selvästi. Pölytasot nousivat mm. ajonopeuden ja katkottoman ajan kasvaessa, mitä myös hypoteesit tukee. Ongelmaksi havaittiin mittarin ”piikittely”, joka ilmeni yleensä noin 15 minuuttia tampuurin vaihdon jälkeen. Mittarin hetkelliset, ei todelliseen pölyävyyteen liittyvät, mittauspiikit pilaavat mittaustulokset sekä mittarin luotettavuuden pölytasojen analysointiin.

Mittauspiikkien syytä selviteltiin ja syyksi paljastui hoitosillan resonointi, jonka aiheuttaa mitä ilmeisimmin kalanterin sekä popen telojen värähtely. Mittauspiikkien aikaan, silta resonoi huomattavan voimakkaasti ja mittari täräsi todella paljon. Resonoinnin ollessa vähäisempää, mittarin toiminta vaikutti lupauksia herättävältä paperin pölyävyyden mittaamisen suhteen. Tulimme siihen tulokseen, että mittarin asennuspaikkaa tulee muuttaa, mittarin luotettavuuden parantamiseksi.

Rainasta irtoava pigmenttipöly kertyy pääasiassa jälkihuuvan rakenteisiin. Huuvaan asennettavan pölymittarin tarkoitus oli mitata reaaliajassa huuvaan kertyvän pölyn määrää. Huuvan olosuhteet, korkea lämpötila sekä kosteus, aiheuttavat sinne asennettavalle elektroniikalle kovat vaatimukset kestävyuden suhteen. Mittari haluttiin asentaa huuvan yläosaan, missä pölyäminen on voimakkainta. Totesimme asiantuntijoiden johdolla, että Dumo-pölymittari ei tulisi kestäväksi huuvan yläosan olosuhteita.

Huuvan olosuhteiden johdosta, mittari asenettiin huuvan alaosaan, 9.kuivausryhmän alkupäähän käyttöpuolelle. Mittarin sijainti suhteellisen kaukana rainasta (pölyn lähteestä), eikä se indikoinut halutulla tavalla huuvaan kertyvää pölyä. Mittaustulokset eivät vaihdelleet juurikaan mittaussjakson aikana. Totesimme, että mittarin asennuspaikka ei sovellu huuvan pölytasojen seurantaan.

Kanavamittarin tarkoitus on indikoida huuvan ilmanpoistokanavassa kulkevan pölyn määrää. Mittarin käyttöönottoon liittyi haasteita, eikä mittaria pystytty kalibroimaan halutulla tavalla, eli samalla tavalla kuten Dumoja. Mittari ilmoittaa lukemia 0–100 % välillä, jossa 0 % tarkoittaa mittarin lähettämän milliampeeriviestin minimiä (4mA) ja 100 % maksimia (20mA).

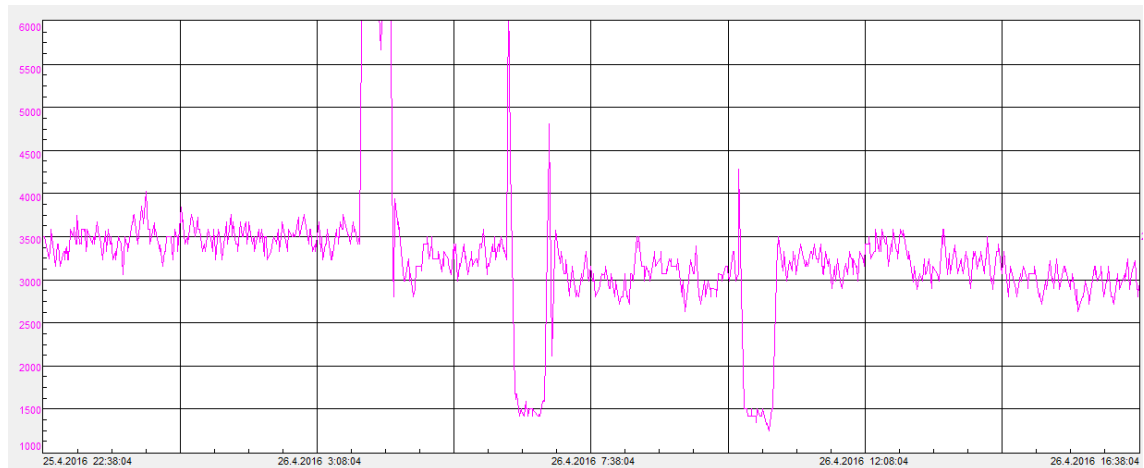
Mittarin avulla huomattiin, että ajon aikana ilmanpoistokanavassa kulkeva pölyn määrä vaihtelee suuresti mm. ilmanpoistokanavan säleikön asennon suhteen. Mittaustuloksia tulkittamalla, tulimme siihen tulokseen, että mittarilla ei ole luotettavaa korrelaatiota rainasta irtoavan pölyn määrän kanssa. Tuloksista oli lähes mahdoton vetää minkäänlaisia johtopäätöksiä.

#### **7.1.4 II-vaihe 13.4.2016–29.4.2016**

Mittareiden paikkoja muutettiin PK7:n huoltoseisokissa 13.4.2016. Resonoinnin johdosta, kalanterin hoitosillassa ollut mittari siirrettiin huuvan ulkoseinään, rainan yläpuolelle. Mittari pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman lähelle rainaa. Huuvan sisällä ollut mittari siirrettiin huuvan ulkopuolelle. Uusi sijoituspaikka oli konekalanterin vieressä, rainan alapuolella. Tässä vaiheessa huuvan ilmanpoistokanavassa sijainnut mittari ei ollut enää aktiivisen tarkastelun kohteena.

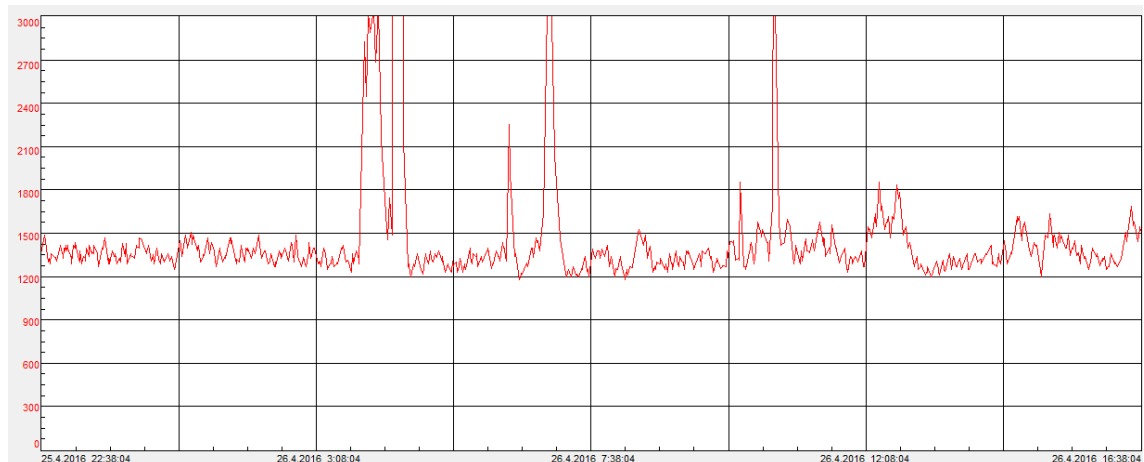
#### **7.1.5 Tulokset**

Kuvassa 23 on huuvan seinässä olevan pölymittarin mittauskäyrä ajanjaksolta 25.4.2016–26.4.2016. Kuvasta on nähtävissä yksi katko (huuvan ovet auki, mittaustulokset ylöspäin) ja kaksi katkoa popella (huuvan ovet kiinni, mittaustulokset alaspäin). Mittaussjakson aikana pölytasot vaihtelevat maltillisesti, mutta käyrästä on tulkittavista muutoksia pölyävyydessä.



Kuva 23. Sintrol Dumo, huuvan ulkoseinä 25.4–26.4.2016

Rainan alapuolella sijaitsevan mittarin tuloksista (kuva 24) on havaittavissa samat katkot kuin huuvan seinässä olevasta mittarista. Tässä mittarissa pölytasot eivät vaihtelee merkittävästi mittausjakson aikana.



Kuva 24. Sintrol Dumo, rainan alapuoli 25.4–26.4.2016

### 7.1.6 Johtopäätökset

Mittaustuloksista päätellen voidaan todeta, että hoitosillalla sijainneen mittarin piikittely johtui sillan resonoinnista ja se saatiin loppumaan siirtämällä mittari huuvan ulkoseinään. Tämä oli ehdottoman positiivinen havainto mittarin käytettävyyden kannalta. Pölymittarin mittaama pölytaso laski selvästi aiempaan mittauspaikkaan nähden mittarin siirron jälkeen joka on havaittavissa kuvista 23 ja 24. Mittauskäyrästä (kuva 23) on kuitenkin havaittavissa, että pölytaso vaihtelee. Mittarin parametreja muutettiin 20.4.2016, jonka jälkeen mittarin skaalaus parantui ja mittauskäyrästä tuli helpommin tulkittava.

Kuvasta 24 voidaan tulkita, että huuvasta rainan alapuolelle siirretty mittari ei ole tässä paikassa käyttökelpoinen rainan pölyävyyden mittaamiseen. Mittarin pölytasot eivät vaihtelee merkittävästi, jotta pystyisi vetämään johtopäätöksiä rainan pölyävyydestä. Paremman vasteen saamiseksi, tulimme johtopäätökseen, että mittarin paikkaa on vaihdettava uudelleen.

Haaste kyseisten mittareiden käyttöönotossa oli oikean mittauspaikan löytäminen. Pölymittareita ei ole käytetty aiemmin tämänkaltaisessa sovelluksessa ja mittarin sijainti on aina mietittävä tapauskohtaisesti. PK7:n huoltoseisokkien väli on noin kuusi viikkoa, näin ollen mittareiden sijaintia ei voi muuttaa mielin määrin ja ilman tarkkaa harkintaa. Mittareita seuraamalla selvisi, että ne mittaavat ympäristöpölyä tarvittavalla tarkkuudella, mutta haasteeksi muodostui oikean sijainnin löytäminen. Oikeiden mittauspaikkojen etsiminen jatkuu vielä opinnäytetyön päättymisen jälkeenkin.

## **7.2 Retentiokoeajojen vaikutus pölyävyyteen**

Retentiokoeajojen ensisijainen tarkoitus oli löytää toimiva retentiokonsepti keväällä 2016 käytyjä kemikaalineuvotteluja varten. Retentiokoeajojen kautta pyritään myös löytämään ratkaisuja jälkikuivatusosan pölyämisen vähentämiseksi, vaikuttamalla rainan vedenpoistoon sekä pohjapaperin rakenteeseen. Pölytasojen seuranta toteutettiin pääasiassa LintView-poikkiratanäytteiden avulla. Näytteitä otettiin marraskuun puolivälistä lähtien, jotta saatiin vertailunäytteitä vanhasta retentiokonseptista. Retentiokemikaalien vaikutusmekanismit retentionhallintaan ilmenee taulukosta 2. Koeajot suoritettiin kolmessa vaiheessa:

- I 8.12.2015–20.1.2016 Solenis Perform PC820, SP7200 ja PAC
- II 3.3.2016–21.3.2016 Solenis Perform PC830, SP7200 ja PAC
- III 29.3.2016–12.4.2016 Kemira Fennopol K7526P ja Fennosil 495 (Silica)
- Koeajoja ennen ja niiden välissä on ollut käytössä: Kemira Fennopol K7526P, EO777 ja PAC

Taulukko 2. Retentiokemikaalien vaikutus retention hallintaan

<b>Kemikaali</b>	<b>Varaus</b>	<b>Vaikutus</b>	<b>Annostelupaikka</b>
Kemira Fennopol K7526P	Kationinen poly- meeri, PAM	Muodostaa suuria flokkeja	Peränsyöttöpumpun jälkeen
Solenis Perform PC820, PC830	Kationinen poly- meeri, PAM	Muodostaa suuria flokkeja	Peränsyöttöpumpun jälkeen
Kemira Fennosil 495 (Silica)	Anioninen mikro- partikkeli	Tehostaa veden- poistoa, kasaa pie- net flokit yhteen	Konesihtien jälkeen
Kemira EO777	Anioninen mikro- partikkeli	Tehostaa veden- poistoa, kasaa pie- net flokit yhteen	Konesihtien jälkeen
Solenis SP7200	Anioninen mikro- partikkeli	Tehostaa veden- poistoa, kasaa pie- net flokit yhteen	Konesihtien jälkeen
Polyalumiinikloridi (PAC)	Vahvasti kationi- nen	Kiinnittää häiriöai- netta kuituun	Ennen peränsyöttö- pumpua

### 7.2.1 Koeajo I 8.12.2015–20.1.2016 Solenis Perform PC820, SP7200 ja PAC

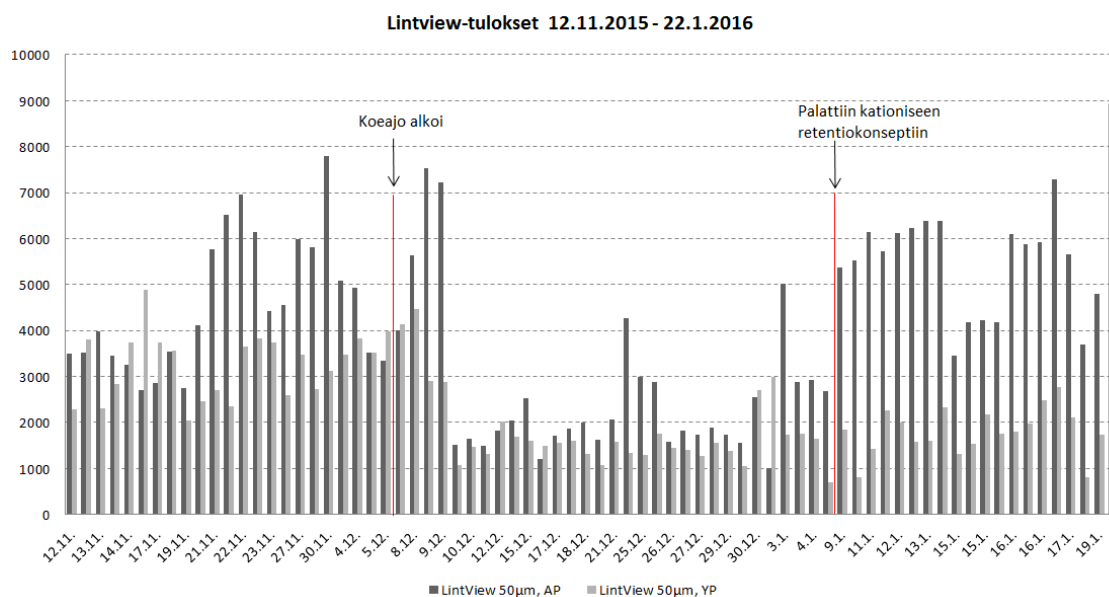
Teorian perusteella korkeamman retention pitäisi vähentää pölyävyyttä tiiviimmän rainan rakenteen, paremman formaation sekä tuhkakajakauman kautta. Retentioaineilla pyritään vaikuttamaan huonosti retentoituvaan materiaaliin, joista suurin osa sijaitsee viiravedessä.

Koeajossa retentiokonseptia ajettiin anionisella alueella, eli annosteltiin suhdesäädöllä enemmän anionista mikropartikkeliä (SP7200) kuin kationista polymeeriä (PC820) mikä teorian perusteella mahdollistaa matalamman viiraveden sakeuden, josta seuraa parempi rainan tiiveys sekä formaatio. Lisäksi matalampi viiraveden sakeus helpottaa koneen häiriöainehallintaa, vähentämällä häiriöaineiden määrää lyhyessä kierrossa. Lisäksi on oletettavaa, että pienemmät flokit muodostavat rainaan paremman Z-suuntaisen tuhkakajakauman. Hypoteesin mukaan, kyseisen retentiokonseptin tulisi vähentää pölyävyyttä.

PK7:llä on ollut aiemmin käytössä Kemiran kolmikomponenttinen retentiokonsepti, jota on ajettu kationisella alueella, eli annosteltu enemmän kationista polymeeriä kuin anionista mikropartikkelia (EO777). Polymeerin suuri annostelu muodostaa suuremmat flokit ennen konesihtejä. Tämän seurauksena, suuremmat flokit ovat vaikeammin kiinnitettävissä kuituun konesihtien jälkeen, lisäksi suuremmat flokit muodostavat huokoisemman rainan sekä huonontavat formaatiota.

## 7.2.2 Tulokset

Kuvasta 25 on esitetty LintView-tulokset. Tulosten perusteella näytteiden pölyävyys laski koeajon alettua, mutta nousivat 5.1.2016 jälkeen. Tuloksista voi päätellä, että anionisella retentiokonseptillä saavutettiin positiivisia vaikutuksia LintView-tuloksiin.



Kuva 25. LintView-tulokset 12.11.2015–22.1.2016

## 7.2.3 Johtopäätökset

Retentiokoeajon perusteella voidaan todeta, että anioninen retentiokonsepti paransi LintView-tuloksia koeajon alettua. Tuloksia luettaessa täytyy huomioida, että retentiokonseptin muutoksen viive on noin 2–3 vuorokautta. Koeajon retentiokonseptiä lähdettiin muuttamaan takaisin kationiselle puolelle 5.1.2016, koska rainan vikamäärät nousivat hälyttävän korkealle ja PPK:n ajettavuus romahti. Tämän muutoksen jälkeen tulokset palasivat koeajoa edeltävälle tai jopa huonommalle tasolle.



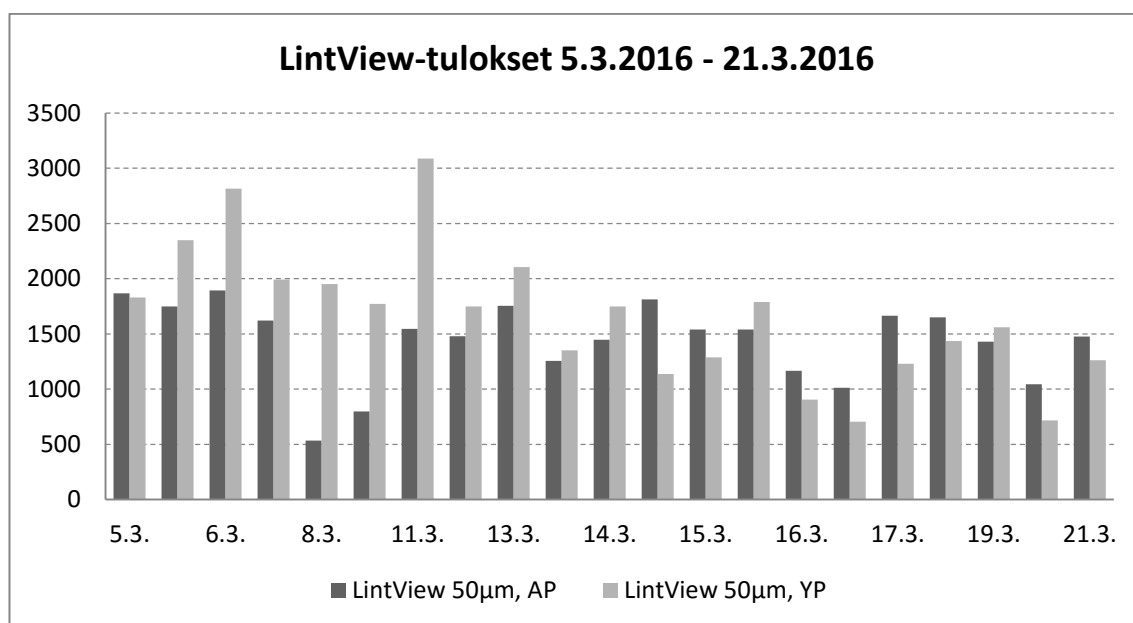
Tulokset tukevat hypoteesia retention vaikutuksesta pohjapaperin rakenteeseen ja näin olleen pölyävyyteen. Oletettavasti korkeampi retentio yhdistettynä anionis-puoleiseen retentioon paransi paperin rakennetta ja näin ollen pölyävyyttä. PK7-linjan ajettavuuden kannalta retentionkonsepti ei ollut toimiva ja se ei saanut teknistä hyväksyntää. Tulosten perusteella voi päätellä, että retentiolla on vaikutusta arkin rakenteeseen ja näin myös paperin pölyävyyteen.

#### 7.2.4 Koeajo II 5.3.2016–21.3.2016 Solenis Polymeeri PC830, SP7200 ja PAC

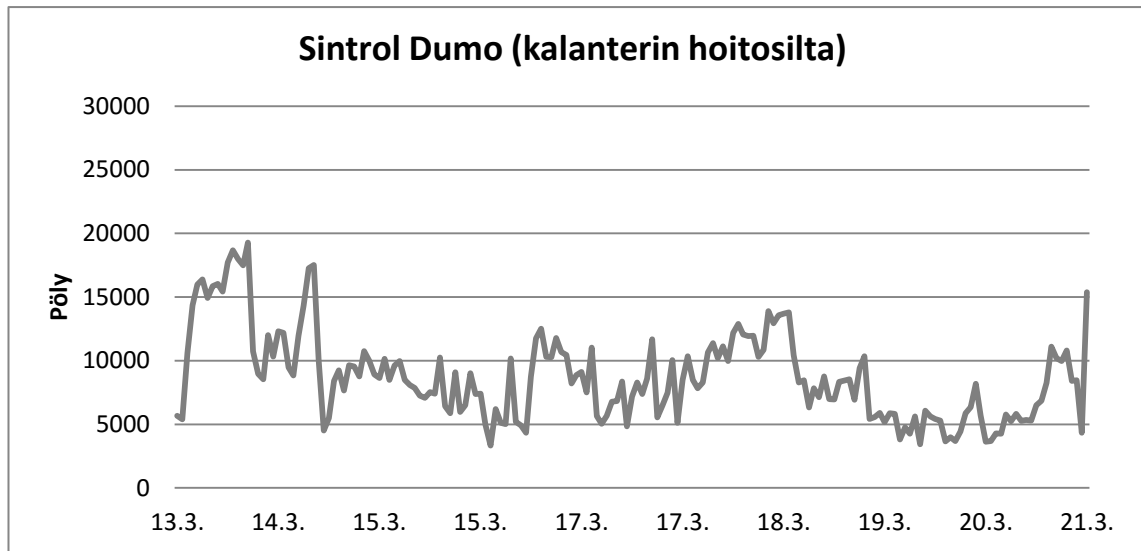
Soleniksen retentiokoeajo uusittiin maaliskuussa kationisella konseptilla. Tässä koeajossa, retention hallintaa toteutettiin samankaltaisella periaatteella kuin Kemiran ns. vanhaa mallia. Poikkeuksena ensimmäisen koeajon retentiokemikaaleihin, tuotiin erilainen polymeeri (PC830), jossa on lyhyempi ketjun pituus sekä korkeampi varaustiheys kuin PC820:ssä. Koeajon ensisijainen tarkoitus oli löytää tekninen hyväksyntä Soleniksen retentiokemikaaleille, kemikaalineuvotteluita silmällä pitäen.

#### 7.2.5 Tulokset

Kuvassa 26 on esitetty LintView-tulokset ja kuvassa 27 kalanterin hoitosillassa sijainneen pölymittarin tulokset. Koeajojakson LintView-tulokset olivat erinomaisella tasolla, verrattuna referenssituloksiin.



Kuva 26. LintView-tulokset 5.3.2016–21.3.2016



Kuva 27. Sintrol Dumo, kalanterin hoitosilta 13.3.2016–21.3.2016

### 7.2.6 Johtopäätökset

Tässä koeajossa päästiin samankaltaisiin tuloksiin kuin aiemmassakin koeajossa LintView-tulosten osalta. LintView-tulosten tulkitsemisessa on otettava huomioon, että tulokset olivat lähes samalla tasolla jo ennen koeajoa Kemiran vanhalla retentiokonseptillä. Syyt tähän ovat epäselviä miksi LintView-tulokset paranivat. Oleellisinta koeajossa oli saada tekninen hyväksyntä Soleniksen retentiokemikaaleille ja se saavutettiin.

Tässä vaiheessa pölymittarit oli asennettu huuvaan ja kalanterin sillaan. Kuvassa 27, on kalanterin sillassa olevan Dumon mittauskäyrä koeajon ajalta. Mittarin piikittelystä johtuen, tulokset ovat epäluotettavia. Pölymittarin mukaan rainan pölyävyys vaihtelee.

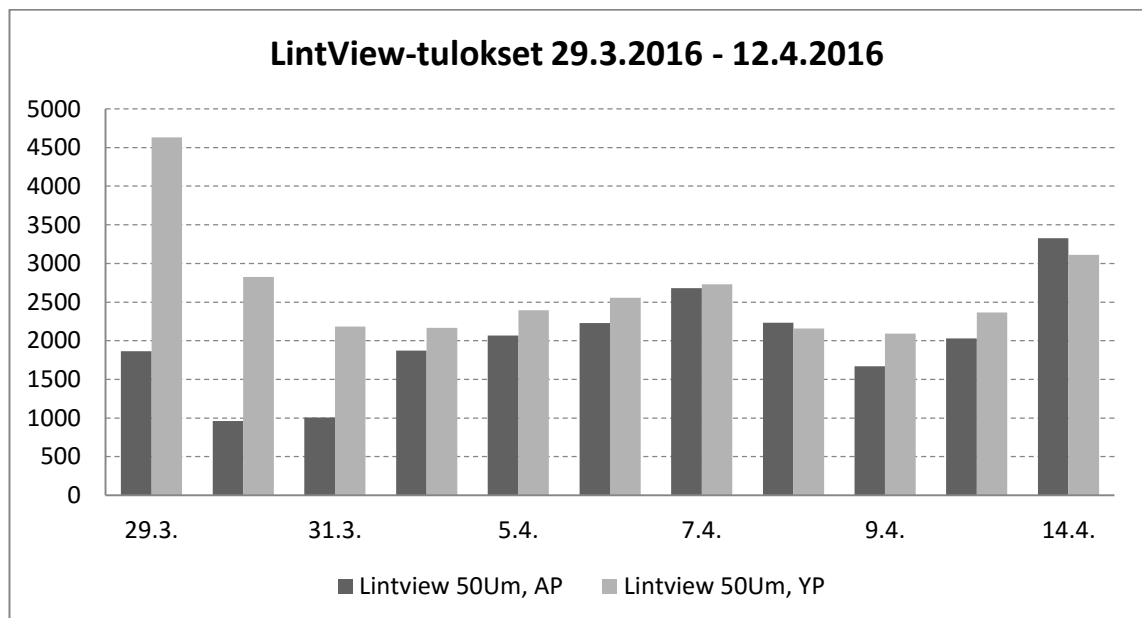
### 7.2.7 Koeajo III 29.3.2016–12.4.2016 Kemira Fennopol K7526P ja Fennosil 495 (Silica)

Kolmas retentiokoeajo suoritettiin Kemiran toimittamilla kemikaaleilla. Poikkeuksena Kemiran aiempaan malliin anionisena komponenttina toimi Fennosil 495 (Silica), joka on täysin erilainen ja huomattavasti tehokkaampi kuin Kemiran EO777. Silica muodostaa hienompia flokkeja kuin EO777, teoriassa rainan rakenteesta pitäisi tulla tiiviimpi ja näin ollen vähentää pölyävyttä. Silica mahdollistaa myös PAC:n jättämisen pois retentiosysteemistä. Tällä on positiivinen vaikutus kustannustehokkuuteen ja 2-komponenttista retentiosysteemiä on helpompi hallita. Tämäkin koeajo ajettiin ensisijai-

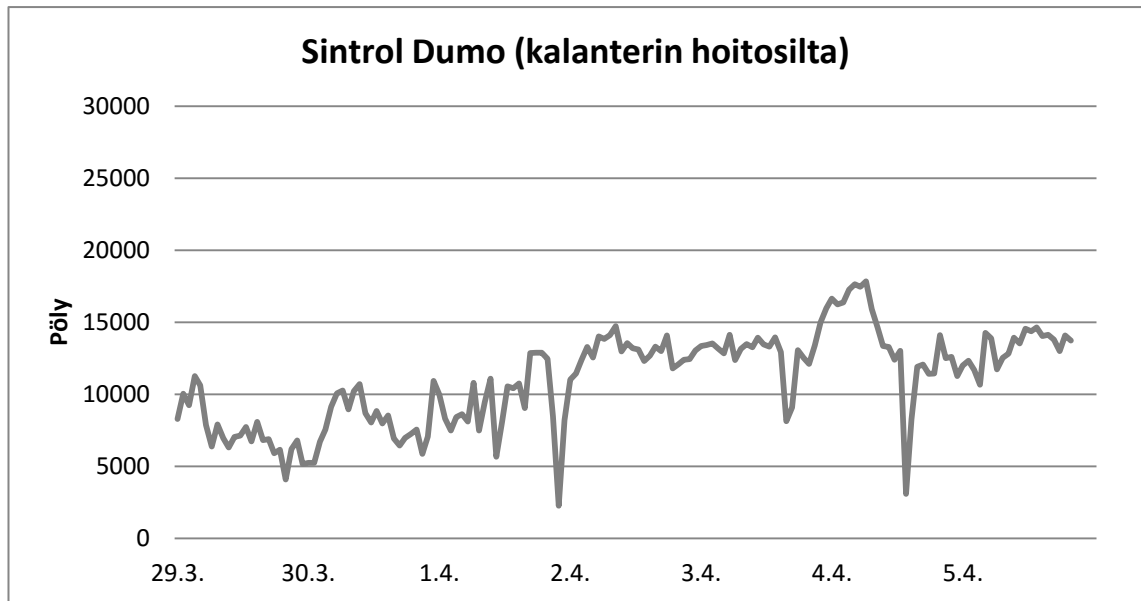
sesti kemikaalineuvotteluita varten, mutta kemikaalien vaikutusta seurattiin myös pöly-  
ävyyden osalta.

### 7.2.8 Tulokset

Tuloksien osalta tämä retentiosysteemi on samankaltainen kuin Soleniksen viimeinen versio. LintView-tulokset (kuva 28) ovat kautta linjan hivenen korkeampia kuin Soleniksella, mutta kuitenkin hyvällä tasolla. Kuvassa 29 on kalanterin hoitosillan pölymittarin tulokset, mittausaika loppuu 6.4.2016 koska mittarin paikkaa muutettiin silloin. Pölymittarin mukaan tämä retentiomalli muodostaa enemmän pölyä, mutta mittarin tuloksista ei voi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä.



Kuva 28. LintView-tulokset 29.3.2016–12.4.2016



Kuva 29. Sintrol Dumo, kalanterin hoitosilta 29.3.2016–5.4.2016

### 7.2.9 Johtopäätökset

Tämä retentiojärjestelmä on LintView-tulosten perusteella parempi kuin Kemiran aiempi malli. Voidaan olettaa, että Silican avulla saadaan parempi rainan rakenne kuin EO777:lla. Tulosten perusteella on vaikea todeta Kemiran ja Soleniksen retentiojärjestelmien eroista pölyävyyteen. Näiden koeajojen jälkeen voidaan edelleen pitää hypoteesina, että Soleniksen anionis-painotteinen malli on paras pölyävyyden kannalta. Hypoteesin mukaan se tuottaa parhaan rainan rakenteen mikä oli todettavissa myös PK:n mitauksista mm. vedenpoistosta.

### 7.3 Päälystemäärän muuttaminen 25.4.2016

Tässä osiossa tutkitaan esipäälystemäärän vähentämisen vaikutusta paperin pölyävyyteen. Reseptin mukaan esipäälystettä applikoidaan pohjapaperiin  $xx \text{ g/m}^2$ . Tässä koeajossa päälystettä vähennettiin  $xx \text{ g/m}^2$  molemmilta puolilta, eli tavoiteltu päälystemäärä oli  $xx \text{ g/m}^2$ . Hypoteesin mukaan päälystemäärällä on suuri vaikutus paperin pölyävyyteen, sillä se vaikuttaa suoraan paperin pintaominaisuuksiin. Koeajo suoritettiin  $xx$ -laadulla. Tuloksia tarkastellaan pölymittareiden ilmoittamien arvojen sekä LintView-tulosten pohjalta.

### 7.3.1 Tulokset

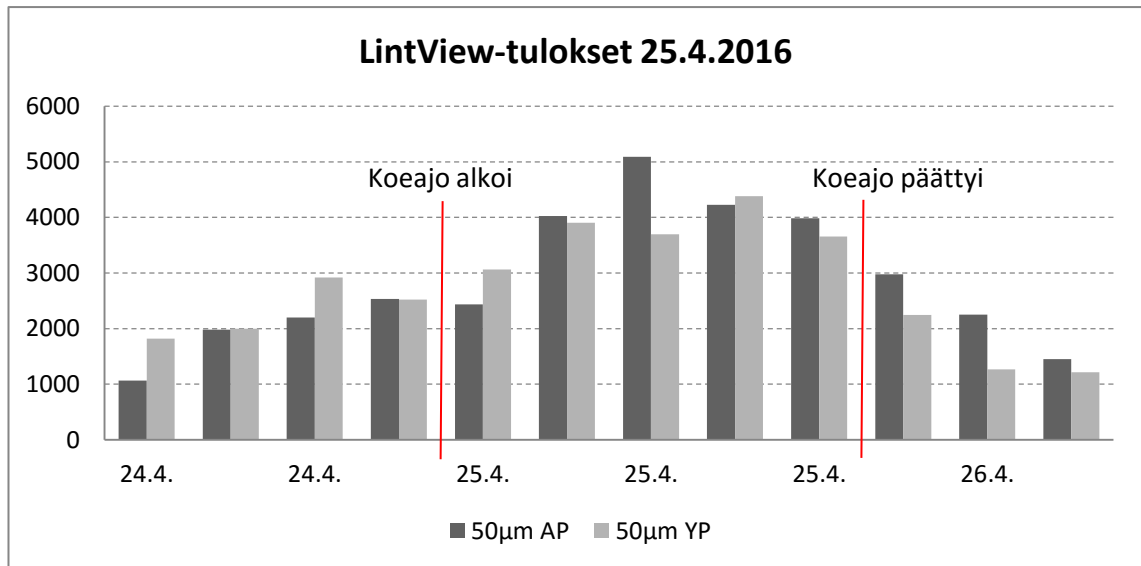
Päällystemäärää lähdettiin laskemaan 25.4.2016 n. klo 11:30 käsiäjolla portaittain kohti koeajon tavoitetta. Kuvassa 30, keltainen käyrä kuvaa päällystemäärän oloarvoa ja vihreä käyrä päällystemäärän asetusarvoa. Kun, asetusarvo pudotettiin  $xx \text{ g/m}^2$ , päällystemäärä oli jo valmiiksi koeajon tavoitealueella.

Kuvassa 30, violetti käyrä on huuvin seinässä olevan pölymittarin mittauskäyrä ja punainen käyrä on rainan alapuolisen mittarin käyrä. Keltainen käyrä on päällystemäärän mittausarvo ja vihreä käyrä on päällystemäärän asetusarvo. Kuvasta voi tulkita, että kun päällystemäärää vähennettiin, rainan pölyävyys kasvoi molempien mittareiden mukaan. Pölytasojen nousu ja lasku korreloi selkeästi päällystemäärän mittausarvon kanssa.

Kuvassa 31, on LintView-tulokset koeajon ajalta. Ne ovat hyvin samansuuntaiset pölymittareiden tulosten kanssa. LintViewin mukaan, paperissa oli enemmän irtoavia partikkeleja koeajon aikana.



Kuva 30. Pöly- ja päällystemäärämittaukset koeajon aikana



Kuva 31. Koeajon LintView-tulokset

### 7.3.2 Johtopäätökset

Tuloksista päätellen pölytaso nousi kun päällystemäärää pienennettiin, mikä tukee hypoteesia karheuden vaikutuksesta filminsiirtopäällystykseseen. On mahdollista, että vähäisempi päällystemäärä pienensi rainan kuivatussylintereihin ja -viirihin kohdistuvaa pinta-alaa, joka kasvattaa painetta paperiin. Suuremman paineen johdosta hioutumisefekti voimistui ja pölyäminen kasvoi.

Koeajo on uusittu 6.5.2016 xx g/m<sup>2</sup>-laadulla ja tulokset ovat samansuuntaiset. Rainan lähellä olevien pölymittareiden mittaustulokset kasvoivat. Samalla on havaittu, että ilmanpoistokanavan pölymittarin mittaustulos pieneni. Tämän havainnon perusteella on mahdollista, että pölyävyys huurossa pienenee, mutta huuven ulkopuolella kasvaa.

Tämän koeajon perusteella ei voi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä, mutta tulokset ovat kiinnostavia. Hypoteesin toimivuutta voisi jatkossa kokeilla esimerkiksi lisäämällä päällystemäärää ja katsoa miten pölymittarit reagoivat.

### 7.4 Sideainesuhteiden muuttaminen 27.4.2016

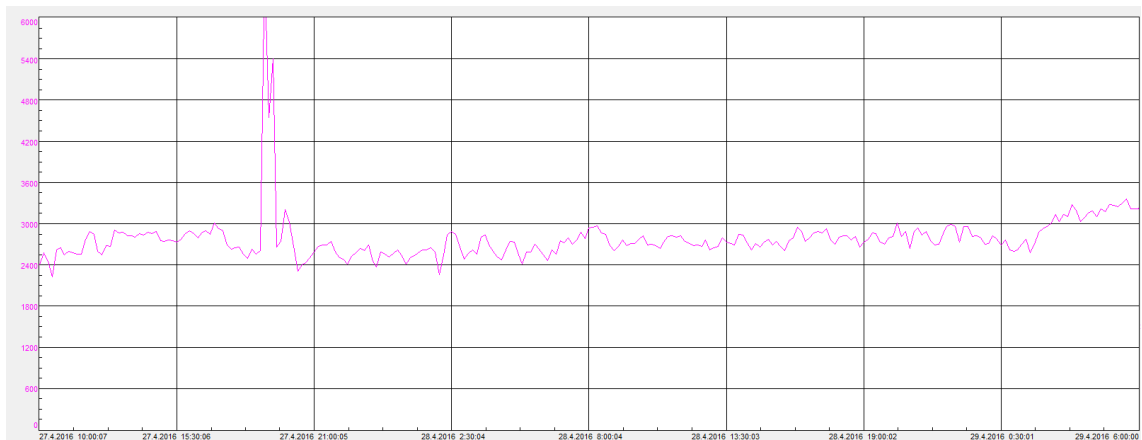
Tässä osiossa tutkitaan pastan sideainesuhteiden vaikutusta paperin pölyävyysasteeseen. Sideainesuhteita muutettiin 27.4.2016 siten, että lateksia lisättiin reseptiin xx osaa ja pas-tatärkkelystä vähennettiin xx osaa. Vaihdon jälkeen sideainesuhteet olivat xx osaa

lateksia ja xx osaa tärkkelystä. Koeajopasta oli SymSizerin konekierrossa 27.4. klo 14–28.4. klo 22.

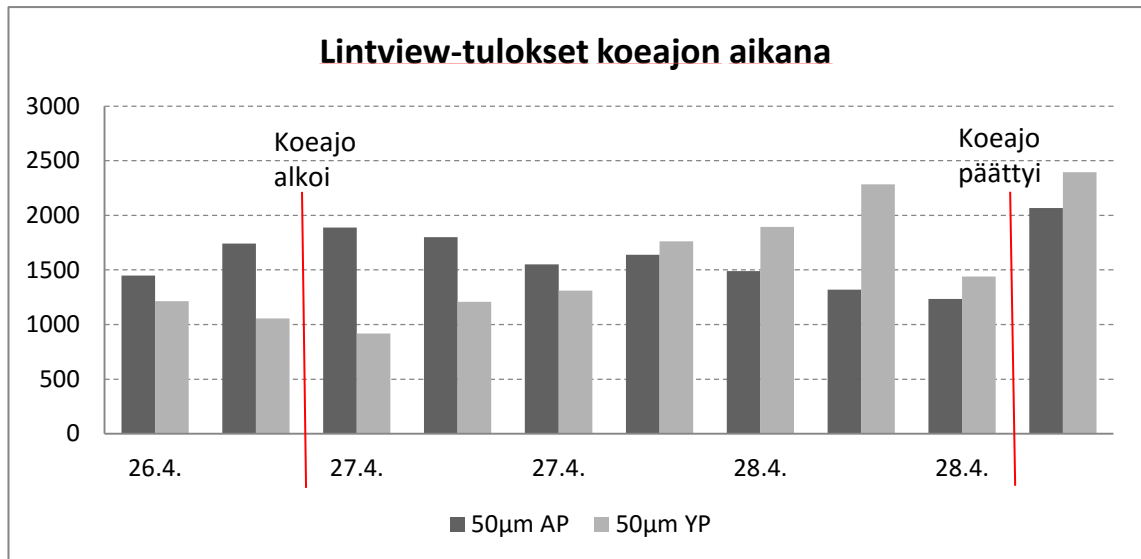
Lateksin suurempi määrä pastassa kasvattaa pastan sidoslujuutta ja vähentää sideaineen vaellusta pohjan rakenteeseen. Teoriassa pölyävyyden tulisi vähentyä lujemman päällystekerroksen johdosta. Pastan penetraatiossa tulee kuitenkin huomioida myös pohjapaperin huokoisuus, joka on luultavasti merkittävämmässä roolissa kuin sideainesuhteet.

### 7.4.1 Tulokset

Kuvassa 32 on huuvan ulkoseinässä sijainneen pölymittarin mittauskäyrä, josta voi tulkitä, että pölytasot eivät vaihtele merkittävästi. Yksittäinen mittauspiikki on paperikoneen katko. Myöskään LintView-tuloksissa (kuva 33), ei ole merkittäviä vaihteluita. Punaiset viivat kuvaavat koeajon alkua ja loppua.



Kuva 32. Sintrol Dumo, huuvan ulkoseinä 27.4.2016–29.4.2016



Kuva 33. Lintview-tulokset koeajon aikana

#### 7.4.2 Johtopäätökset

Tuloksista ei voi vetää oikeastaan minkäänlaista johtopäätöstä oliko koeajolla vaikutusta pölyävyyteen. Pölymittarin ja LintView-tulosten osalta se ei ole tulkittavissa. Esipäälystepastassa on runsaasti sidoslujutta jo normaalisti. Monen asiantuntijan mielestä sidoslujutta on riittävästi ja näin ollen pölyongelma ei olisi siitä peräisin.



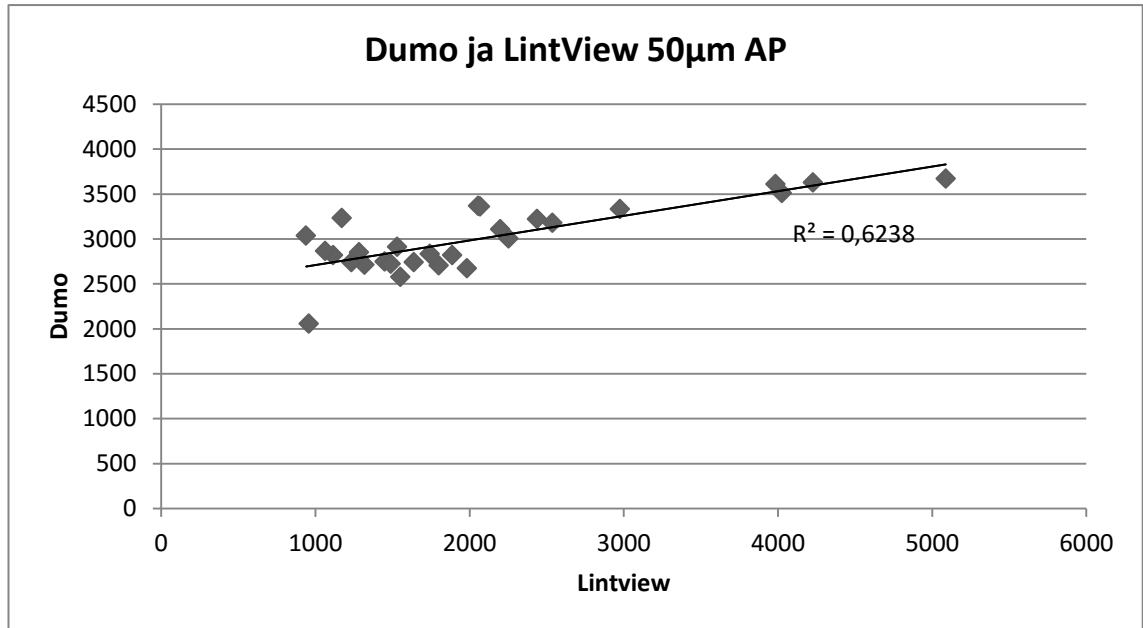
## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 8.1 Pölymittarit

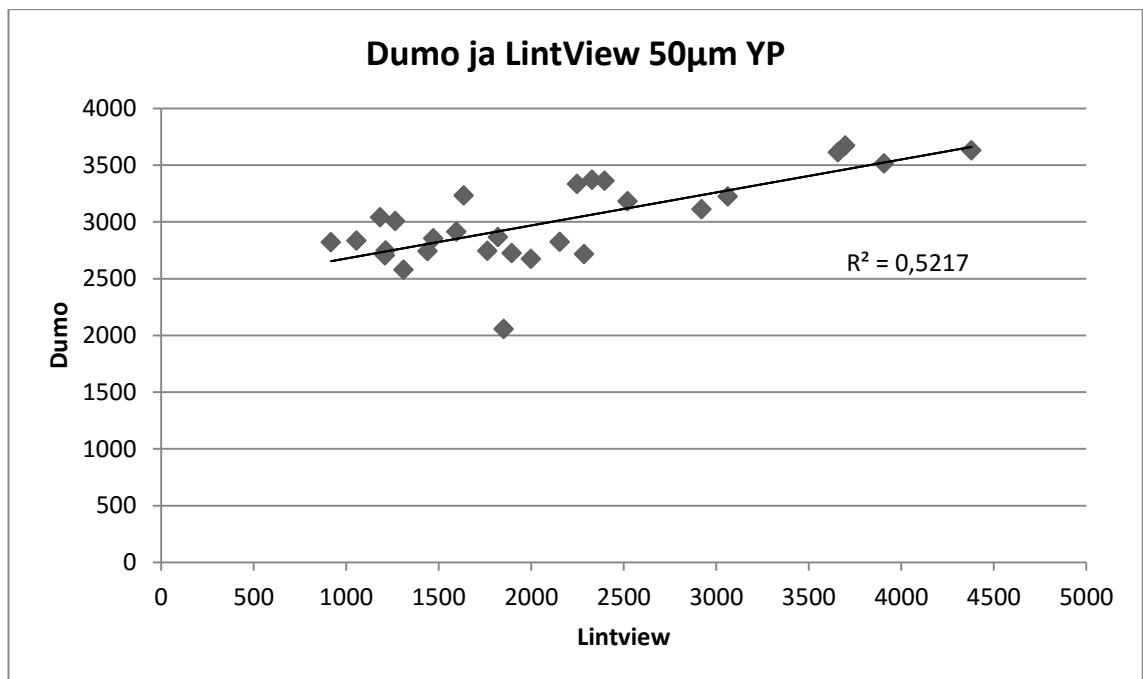
Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää PK7:lle pölymittari, jonka tarkoitus on olla tärkeä apuväline jälkikuivatusosan pölyongelman ratkaisemiseksi. Kartoitukseni perusteella voin todeta, että kyseiseen käyttötarkoitukseen heti valmista pölymittaria ei löydy markkinoilta. Opinnäytetyön aikana PK7:lle hankittujen pölymittareiden osalta haasteeksi muodostui niiden sijoittelu, jotta ne palvelisivat käyttötarkoitustaan mahdollisimman hyvin. Pölymittarille tulee löytää sijainti, jossa rainasta irtoava pöly on luotettavasti mitattavissa ilman ulkoisia häiriötekijöitä. Mittareiden sijaintia voi vaihtaa vain huoltoseisokeissa, jotka ovat keskimäärin kuuden viikon välein. Koska kyseisiä pölymittareita ei ole aikaisemmin käytetty paperin pintapölyävyyden mittaamiseen, hyvän mittaustilan löytäminen voi olla pitkäkö prosessi. Uskon, että Dumo-pölymittarit ovat oikeassa mittaustilassa hyödyllisiä PK7:n pölyongelman ratkaisussa. Mielestäni kanavamittari S303:n mittaustulokset olivat epämääräisiä ja sen hyöty on kyseenalaistettavissa.

Pölymittareiden alkuperäisiä asennuspaikkoja vaihdettiin huoltoseisokissa 12.4.2016 ja tämän jälkeen mittareiden mittaustulokset vaihtuivat radikaalisti. Siirrolla saatiin ratkaistua kalanterin hoitosillassa sijainneen mittarin piikittelyongelma. Samalla selvisi, että rainan alle siirretystä pölymittarista ei ole hyötyä kyseisellä paikalla. Huuvan ulkoseinään siirretyn Dumo-pölymittarin skaaloja herkisteltiin 20.4.2016, tämän jälkeen mittari alkoi mitata järkevämmällä skaalalla kuin tätä aikaisemmin ja mittaustulokset olivat helpommin tulkittavissa.

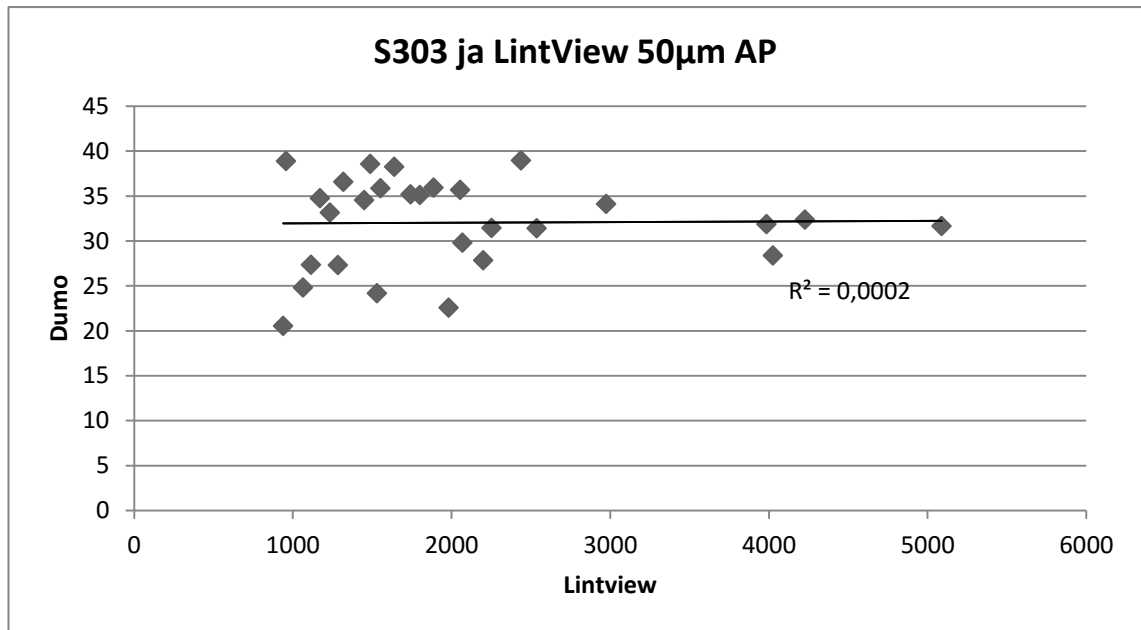
Ajanjakson 20.4.2016–29.4.2016 konerullakeskiarvojen perusteella huuven seinässä sijainneen pölymittarin sekä LintView-tulosten välillä on korrelaatiota, mikä ilmenee kuvista 34 ja 35. Kanavapölymittarin ja LintViewin välillä ei ole minkääläistä korrelaatiota (kuva 36). On myös huomioitava, että luotettavampien korrelaatioiden aikaansaamiseksi mittaustilaa tulisi pidentää. Tässä tapauksessa se ei ollut mahdollista, koska pölymittareiden parametreja on säädetty ja sijainteja vaihdettu paremman mittauksen toivossa.



Kuva 34. Sintrol Dumon ja LintView (AP) välinen korrelaatio



Kuva 35. Sintrol Dumon ja LintView (YP) välinen korrelaatio



Kuva 36. Sintrol S303 ja ja LintView (AP) välinen korrelaatio

## 8.2 Yhteenveto

Opinnäytetyössä paneuduttiin pölyämiseen vaikuttaviin tekijöihin jonka pohjalta teoria osuus tehtiin. Kuten teoriasta on havaittavissa, vaikuttavia tekijöitä on lukuisia. Koska aiheesta ei löytynyt aiempaa kirjallisuutta, teoria tehtiin pitkälti hypoteesien varaan. Silloin kun ongelmaan ei tiedetä selkeää ratkaisua, hypoteesit ja niitä tukevat kokeet voivat olla ratkaisevassa asemassa ongelmanratkaisussa. Kokeilla voidaan selvittää, pitävätkö hypoteesit paikkaansa. Tässä tapauksessa näitä kokeita varten tarvitaan luotettavasti toimiva pölymittari.

Uskoakseni, vaikuttavista tekijöistä merkittävimmät ovat pohjapaperin huokoisuus sekä karheus. Huokoisuus vaikuttaa suoraan pastan penetraatioon ja näin ollen pastan sitoutumiseen pohjapaperiin. Tiiviillä pohjapaperilla saadaan tutkimustulosten mukaan hyvä päällystystulos ja pintaluja päällystekerros filminsiirtopäällystyksessä. Oletettavasti tämä vähentää pölyävyyttä, mitä myös aiemmat, vuodenvaihteessa 2014–2015 otetut, LintView- ja huokoisuusmittaukset tukevat.

Karheuden rooli korostuu filminsiirtopäällystyksessä koska päällystekerros mukailee paperin pintaa. Pintavoimateorian mukaan, kuivatussynteriä koskettava pinta-ala on ratkaisevassa osassa, kun mietitään kuivatussynteroiden ja -viirien paperiin kohdistamaa painetta. Mahdollisimman sileä paperi kasvattaa synterisiin ja viiroihin kohdis-

tuva pinta-alaa ja pienentää paperirataan kohdistuvaa painetta, vähentäen pölyävyyttä. On myös hyvä muistaa, että päällyste ei irtoa paperista, jos ei ole voimaa mikä sen irrottaa.

Opinnäytetyössä suoritettujen koeajon tuloksista ei voi vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä pölyongelmasta ja sen ratkaisusta. PK7:n pölyongelman ratkaisemiseksi ei ole olemassa pikavoittoa, se vaatii pitkäjänteistä työtä. Tämä opinnäytetyö on ollut ensimmäinen laajempi projekti ongelman ratkaisemiseksi, lopulliseen tavoitteeseen pääsemiseksi työtä tulee jatkaa tulevaisuudessa. Nyt on tehty teoriaa, luotu hypoteeseja, löydetty pölymittari sekä suoritettu pienimuotoisia koeajoja. Uskoakseni tämä opinnäytetyö helpottaa tulevaisuuden askelmerkkejä matkalla kohti haluttua lopputulosta.

Opinnäytetyössä esitetyt hypoteesit ovat tarkasti mietittyjä usean asiantuntijan toimesta ja niihin luotetaan kunnes toisin todistetaan. On kuitenkin aina olemassa mahdollisuus, että hypoteesi ei pidäkään paikkaansa. Positiivista pölymittausten osalta oli päällystemäärän muuttaminen-koeajo, josta saatiin hypoteesia tukevia korrelaatioita. Tämän koeajon perusteella hypoteesia voidaan lähteä jatkojalostamaan.

Ensimmäiset LintView-mittaukset on otettu PK7:llä joulukuussa 2014, jolloin pölyäminen on ollut visuaalisesti todella voimakasta. Kun verrataan joulukuun 2014 ja opinnäytetyön aikaisia mittauksia (kuva 37), on havaittavissa, että LintView-tulokset ovat tulleet todella paljon alaspäin. Muutokset ovat suoraan nähtävissä huokoisuusmittauksista, joka on myös hypoteesin mukaan yksi tärkeimmistä pölyämiseen vaikuttavista tekijöistä. On todennäköistä, että pölyävyys on tällä hetkellä paremmin hallinnassa kuin joulukuussa 2014. Myös visuaaliset havainnot tukevat tätä väitettä.



Kuva 37. Huokoisuus- ja LintView-mittaukset vuodenvaihteessa 2014–2015 ja opin-  
näytetyön aikana

## LÄHTEET

ACA Systems Oy. 2014. Permi Online Porosity Measurement and Control. PowerPointesitys.

Ahluos, J & Grön, J. 1999. A comparison of SGW and TMP as fibre raw material for film coated LWC. 481. 1999 TAPPI Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS. Atlanta. Kirjassa Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. 2009. Jyväskylä. Paperi ja Puu Oy

Annala, M. 2006. Päällistyksen reologiaan vaikuttavat tekijät. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemianteekniikka. Opinnäytetyö

Forsström, U. 2003. Interactions between base paper and coating color in metered size press coating. KCL. Puunjalostustekniikan osasto. Väitöskirja.

Grön, J & Fors, S. 2002. Metered Size Press Coating with High Solids Content Formulations at High Machine Speed. Atlanta. TAPPI Press. Kirjassa Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. 2009. Jyväskylä. Paperi ja Puu Oy

Grön, J., Kinnunen, J., Tani, M., Nikula, E. 1998. FI 101489. Kirjassa Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. 2009. Jyväskylä. Paperi ja Puu Oy

Gutoff, E & Cohen, E. 2006. Coating and drying defects. USA. Wiley

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

Kivelä, A & Parikka, M. 2007. Päällistys ja pastan dynaaminen vesiretentio. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Koivuranta, M. 2016. Asset Manager. Henkilökohtainen tiedonanto. 12.4.2016. Stora Enso Oyj

Lippo, S. 2003. Paperin pintapölyävyyttä mittaavan laboratoriolaitteen hyödyntämispotentiaalin arviointi. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Laboratorioalan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Malkki, I. 2009. Off-line päällistyskoneen osat ja toiminta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemianteekniikan osasto. Kandidaatintyö.

Myllykoski, T. 2016. Sivuvaikeusmikroskooppikuvat paperinäytteistä. 12.4.2016. Stora Enso Oyj

Odell, M. 1996. Customizing roll and blade forming to control paper structure. Valmet Paper Machine Days, Jyväskylä 13-14.6.1996. Sivut 21-42. Kirjassa Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. 2009. Jyväskylä. Paperi ja Puu Oy

Paltakari, J. 2009. Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Jyväskylä. Paperi ja Puu Oy

Rantanen, R & Huuskonen, J. 2012. Valmetin SymSizer -filmipäällystimestä markkina-johtaja 1990- luvulla. Papermakers' Wiki.  
<https://www.papermakerswiki.com/content/52-sym-sizer>. Luettu 10.2.2016

Rimpiläinen, J. 2009. Liuenneen kalsiumin vaikutus paperikoneen ajettavuuteen sekä kalsiumikarbonaatin liukenemiseen vaikuttavat tekijät. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Paperitekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Rimpiläinen, J. 2016. Henkilökohtainen tiedonanto 8.4.2016. Stora Enso Oyj

Sintrol Oy. 2015. Sintrol Dumo. Käyttöohjekirja.

Sintrol Oy. 2016. Sintrol tuote-esittely. Sintrolin kotisivut.  
<http://www.sintrolproducts.com/products> Luettu 27.4.2016

Suutari, M. 2008. Kierrätyspigmenttien laadun ja stabiilisuuden varmistaminen. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö.

Tissari, M. 2015. Sähköposti. Stora Enso Oyj.

Valmet Oyj. 2016. Profiling air dryers. Valmetin kotisivut.  
<http://www.valmet.com/products/board-and-paper-mills/coating-drying/profiling-air-dryers/>. Luettu 11.4.2016

VTT / Prowledge Oy 2016. KnowPap 17.0 2016. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Luettu 27.4.2016

Wärri, P. 1996. Paperikoneen ilmalaitteet koulutusmateriaali. Enso Fine Papers Oy PK7. Oulu. Valmet Oy

**LIITTEET**

Liite 1. Laboratorioanalyysi PK7 jälkikuivatusosan pölystä

1(2)

**Stora Enso Oyj****RAPORTTI NO.2283**

Oulun tehdas

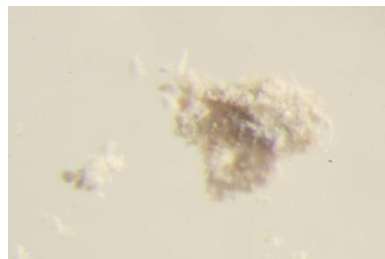
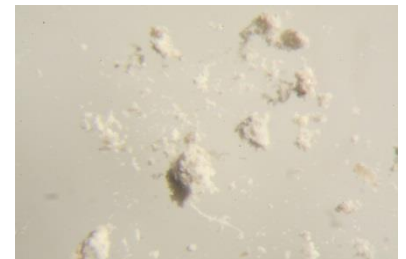
Laboratorio

19.1.2016

**NÄYTE :****Pölynäyte PK7 jälkikuivauskaapista.****TILAAJA :****Taneli Myllykoski, Janne Rimpiläinen****ANALYYSITULOS :**

**Totaalispektri sis. karbonaattia ja hieman hiontapölyaineen tapaista, jonka koostumus jäi epäselväksi.  
Näytteen 450 °C tuhka 86,9 %, joka oli pelkästään karbonaattia.**

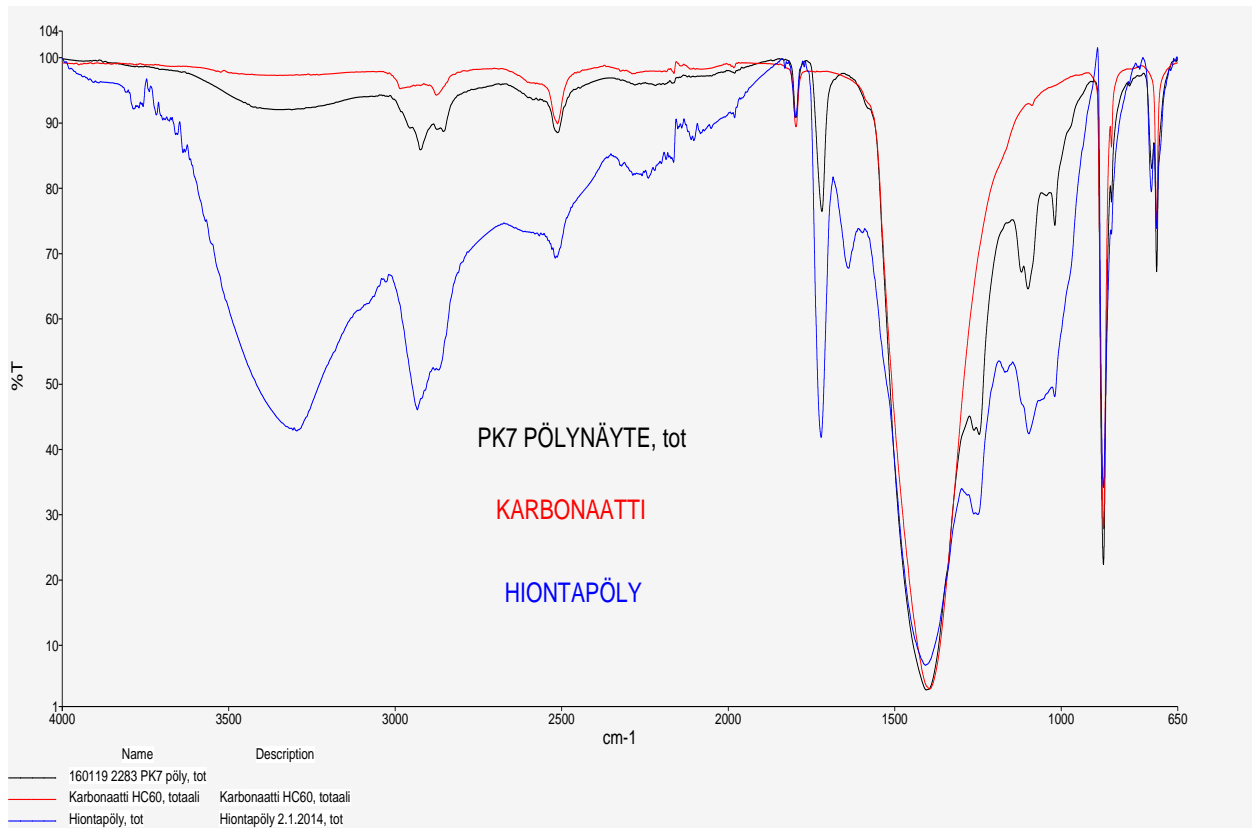
**Alimmissa kuvissa pienosia, kuitua? ym. jotka liian pieniä ja karbonaatin päällystämiä, ettei voinut analysoida.**

**KUVAT :****Kuvan leveys 16 mm****Kuvan leveys 2 mm****Kuvan leveys 1 mm****Kuvan leveys 1 mm****Kuvan leveys 2 mm**



**IR-SPEKTRIT :**

2(2)

**TEKIJÄ(T) :****V. Auno****JAKELU :****Taneli Myllykoski, Janne Rimpiläinen, Pirjo Jortama**