

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Paperitekniikan koulutusohjelma  
Paperitekniikka

Opinnäytetyö

Mikko Reentie

ONLINE-PÄÄLLYSTYKSEN MITTAUKSET

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2008

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

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikka

Reentie, Mikko

Online-päällystyksen mittaukset

Opinnäytetyö

49 sivua

Työn ohjaaja

DI Arto Nikkilä

Työn teettäjä

ACA Systems Oy, valvojina Jaakko Rintamäki ja Toni Vuorenmaa

Toukokuu 2008

Hakusanat

vesiretentio, päällystys, mittaussuomenetelmät

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on tehty ACA Systems Oy:lle. ACA Systems on maailmanlaajuisesti toimiva yritys, joka valmistaa mittalaitteita päällystyspastaan ja paperin huokoisuuden analysointiin. Tunnetuimpia tuotteita ovat ACAV-viskosimetrit.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ACA Systems Oy:n kehittämän Portable DWR -laitteen toimintaa tehdasolosuhteissa. Portable DWR -laitteella mitataan päällystyspastaan vesiretenttiota dynaamisissa olosuhteissa. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tutkia eri pastakomponenttien ja pohjapaperin on-line-huokoisuuden vaikutusta päällystyspastaan vesiretentioon.

Vesiretenttiolla tarkoitetaan pastaan kykyä pidättää vettä tai nestefaasia itsessään päällystyksen aikana, kun pasta on kosketuksissa pohjapaperin pinnan kanssa. Hyvä vesiretentio tarkoittaa sitä, että pasta pidättää vettä itsessään hyvin eli pastaan kuiva-ainepitoisuus päällystystapahtuman aikana on stabiili. Vesiretenttion yksikkö on  $g/m^2$ .

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin kahdella M-Real Oyj:n tehtaalla. Kokeellisessa osuudessa tutkittiin toisella tehtaalla pohjapaperin huokoisuuden ja toisella tehtaalla eri pastakomponenttien vaikutusta pastaan dynaamiseen vesiretentioon.

Portable DWR -laite todettiin luotettavaksi ja toimivaksi laiteeksi, jonka avulla voidaan määrittää nopeasti päällystyspastaan dynaaminen vesiretentio, myös tehdasolosuhteissa. Mittausjaksojen aikana laite toimi moitteettomasti ja tulosten toistettavuus oli hyvä.

Mittaustulosten perusteella saatiin tietoa eri sideaineiden ja pigmenttien vaikutuksesta päällystyspastaan dynaamiseen vesiretentioon. Pohjapaperin huokoisuuden vaikutuksesta vesiretentioon saatiin käytännön syistä vain rajallisesti tietoa.

Mittaustulosten perusteella suositellaan toisella tehtaalla pastareseptin optimointia laadun, ajettavuuden ja kustannusten suhteen. Toiselle tehtaalle suositellaan lisämittauksia, joilla saadaan lisää tietoa pohjapaperin huokoisuuden vaikutuksesta vesiretentioon.

## ABSTRACT

The target of this thesis was to test Portable Water Retention measurement (Portable DWR) in the mill scale trials. The portable DWR is a new device for measuring coating color water retention value under dynamic conditions developed by ACA Systems Oy. The second target of this thesis was to make the DWR trials and to test the interactions between the different coating color components and the porosity of base paper.

The water retention value is the coating color's ability to retain water or fluid phase under the coating process while the coating color touches the surface of base paper. The water retention value of coating color is good when the coating color holds the fluid phase well and the solids content of the coating color is stable during the coating process. The unit of water retention value is  $\text{g/m}^2$ .

The mill trials showed that the Portable DWR is a reliable and workable device for the measurement of water retention value under dynamic conditions. The measurement of water retention value with the Portable DWR is fast and simple, also in mill trials. The repeatability of the Portable DWR results was also good.

The results show how different binders and pigments interact with the water retention of the coating color. For practical reasons the experiments gave only limited information on base paper's porosity interact with water retention.

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 PÄÄLLYSTYS	6
2.1 Pastan valmistus	6
2.1.1 Panostoinen prosessi	6
2.1.2 Jatkuva toimiva prosessi	7
2.2 Pastan konekierto	8
2.2.1 Konesäiliö	9
2.2.2 Sihtaus	9
2.2.3 Ilmanpoisto	10
2.2.4 Pastan laadun on-line-mittaus	12
2.3 Teräpäällystysmenetelmät	13
2.3.1 Sivelytela-applikointi	14
2.3.2 Lyhytviipymäapplikointi	16
2.3.3 Suutinapplikointi	19
2.3.4 Kaavintamenetelmät	22
3 PASTAN REOLOGIA	23
3.1 Reologian vaikutukset päällistykseen	24
3.2 Reologiaan vaikuttavat tekijät	25
4 VESIRETENTIO	25
4.1 Vesiretention aiheuttamat ongelmat	26
4.2 Vesiretention mekanismi ja vesiretention vaikuttavat tekijät	27
4.3 Vesiretention mittaaminen eri menetelmillä	28
5 PDWR-LAITE	32
6 TYÖN SUORITUS	34
6.1 Mittausjakso Tehtaalla A	34
6.2 Mittausjakso Tehtaalla B	35
7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	36
7.1 Tehtaan A tulosten tarkastelu	36
7.2 Tehtaan B tulosten tarkastelu	39
7.2.1 Sideaine 3-osuuden vaikutus vesiretention	39
7.2.2 Pigmenttien 2 ja 3 vaikutus vesiretention	39
7.2.3 Konekiertojen vesiretention	41
7.2.4 Sideaine 1 ja 2- osuuden vaikutus vesiretention	43
7.2.5 Pigmentti 1 ja 3- osuuden vaikutus vesiretention	44
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	45
8.1 Tehtaana A johtopäätökset	45
8.2 Tehtaan B johtopäätökset	46
8.3 Johtopäätökset ACA Systemsin PDWR-laitteesta	47
LÄHDELUETTELO	48

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty ACA Systems Oy:lle. Se on maailmanlaajuisesti toimiva mittalaittevalmistaja, jolla on markkinointi ja palveluorganisaatioita lähes 20 maassa. ACA Systems valmistaa mittalaitteita päällystyspastan ja paperin huokoisuuden analysointiin. Tunnetuimpia tuotteita ovat ACAV-viskosimetrit. ACA Systems Oy on perustettu vuonna 1985, ja se sijaitsee Sotkumassa, Polvijärvellä. /11/

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ACA Systems Oy:n kehittämän Portable DWR (Dynamic Water Retention) -laitteen toimintaa tehdasolosuhteissa. Portable DWR -laitteella mitataan vesiretentiota dynaamisissa olosuhteissa. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tutkia eri pastakomponenttien ja pohjapaperin on-line-huokoisuuden vaikutusta päällystyspastan dynaamiseen vesiretentionon.

Tämän opinnäytetyön kokeellisessa osassa oli kaksi opinnäytetyön tekijää. Opinnäytetyön kokeellinen osuus on tehty yhdessä Sami Fransmanin kanssa. Hänen kanssaan on myös kirjoitettu opinnäytetyön luvut 6, 7 ja 8.

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin kahdella M-Real Oyj:n tehtaalla. Kokeellisen osuuden tavoitteena oli tutkia toisella tehtaalla pohjapaperin huokoisuuden vaikutusta pastan dynaamiseen vesiretentionon ja toisella tehtaalla eri pastakomponenttien vaikutusta pastan dynaamiseen vesiretentionon.

## 2 PÄÄLLYSTYS

### 2.1 Pastan valmistus

Päällystyspastan suunnittelussa on huomioitava useita tekijöitä, erityisesti on tunnettava painomenetelmän tai painomenetelmien asettamat vaatimukset. On tunnettava myös pohjapaperin ominaisuuksien vaikutus lopulliseen painatustulokseen, pastan ja pastakomponenttien vaikutus paperin ominaisuuksiin sekä tuotantolaitteiden asettamat vaatimukset. Myös taloudelliset tekijät ovat merkittävässä asemassa pastaa suunniteltaessa. /3/

Pastan valmistukseen kuuluu raaka-aineiden vastaanotto ja varastointi, varsinainen valmistusprosessi sekä valmiin pastan käsittely ja syöttö päällystysasemalle. Pastaa voidaan valmistaa useilla eri menetelmillä. Yleisin menetelmä on valmistaa sideaineliuos ja pigmenttiliete erikseen ja tämän jälkeen yhdistää nämä seokset keskenään. Pasta voidaan valmistaa myös liuottamalla sideaine veteen ja tämän jälkeen liettämällä kuiva pigmentti sideaineliuokseen. Pasta voidaan valmistaa myös liuottamalla sideaine ja liettämällä pigmentti yhtäaikaaisesti. Pastan valmistusprosessi voidaan suorittaa joko panostoimisena prosessina tai jatkuvatoimisena prosessina. /3/

#### 2.1.1 Panostoiminen prosessi

Panostoimisessa valmistusprosessissa pastan eri komponentit syötetään mikseriin halutussa järjestyksessä. Yleensä komponentit sihdataan ennen kuin ne pumpataan mikseriin, sihtauksella pyritään välttämään epäpuhtauksien pääsy mikseriin. Mikserissä pastan komponentit sekoittuvat homogeeniseksi seokseksi, päällystyspastaksi. Tärkeää pastan valmistuksessa on hyvä annostelutarkkuus, oikea annostelujärjestys sekä tarpeeksi voimakas ja oikeanlainen sekoitus. /6, 15/

Annostelumäärät mitataan yleensä syöttölinjan virtausmittarilla tai mikserin yhteydessä olevan vaa'an avulla. Joissain tapauksissa voidaan käyttää myös magneettisia virtausmittareita tai annostelupumppuja. Pastan komponentit

syötetään pastareseptin mukaisessa järjestyksessä mikseriin, saostumaan pyrkivät komponentit syötetään yleensä kiertolinjan kautta. Komponenttien annostelujärjestyksessä on joitakin pääsääntöjä, joita on hyvä noudattaa, mutta mahdollisia annostelujärjestyksiä on yleensä monia. Annostelujärjestys vaikuttaa myös pastan vesiretentioon ja viskositeettiin. /6, 15/

Panostoiminen pastanvalmistus aloitetaan yleensä punnitsemalla mikseriin reseptin mukainen määrä pigmenttilietettä. Seuraavaksi annostellaan vesiliukoiset sideaineet. Vesiliukoiset sideaineet, erityisesti PVA, lisäävät viskositeettia ja mikserin tehontarve kasvaa. Vesiliukoisten sideaineiden sekoituttua lisätään muut lisäaineet ja lopuksi lateksit. /3/

Annosteluvaiheen päätyttyä pastaa sekoitetaan mikserissä reseptin mukaisesti 10–30 minuuttia, kokonaispanosaika on tällöin noin 30–60 minuuttia. Mikseristä valmis pasta johdetaan varastosäiliöihin. /15/

## 2.1.2 Jatkuvatoiminen prosessi

Jatkuvatoimisessa prosessissa päällystyspastan komponentit syötetään mikseriin jatkuvina virtoina. Myös valmis pasta poistuu mikseristä jatkuvalla virtauksella. Jatkuvatoiminen prosessi rakentuu tehokkaan mikserin ympärille. Pastan komponentit johdetaan mikseriin kokoojaputken kautta. Kokoojaputkessa on sekoittimet jokaisen lisäyspisteen jälkeen. /15/

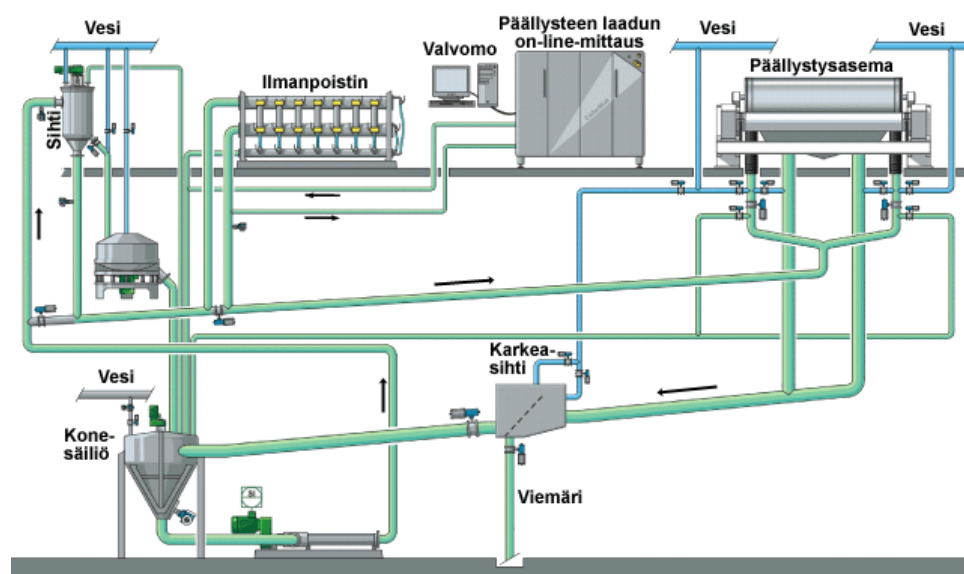
Jatkuvatoimisessa prosessissa komponenttien lisäysjärjestystä voidaan muokata muuttamalla lisäyspisteiden paikkoja kokoojaputkessa. Komponenttien annostelua säädetään useimmiten massavirtamittareilla. Joidenkin komponenttien annosteluun voidaan käyttää magneettisia virtausmittareita tai annostelupumppuja.

Jatkuvatoimisessa prosessissa ei käytetä varastosäiliöitä vaan pasta ohjataan suoraan konesäiliöihin. Pastan komponenttien annostelunopeutta ohjataan konesäiliöiden pinnankorkeuden perusteella. Kun pastan kulutus on alhainen, mikseriin syötetään vähemmän raaka-aineita. /6, 15/

Jatkuvatoimisen prosessin kokonaishyötysuhde lajinvaihtotilanteissa on huomattavasti parempi kuin panostoimisissa prosesseissa. Lajinvaihtotilanteiden tehostumisen lisäksi yksi jatkuvatoimisen prosessin suurimmista eduista on mahdollisuus muokata pastareseptiä ajon aikana tarpeen mukaan. Nykyisten jatkuvatoimisten prosessien luotettavuus ja annostelutarkkuus on jo niin hyvä, että jatkuvatoimisten prosessien uskotaan yleistyvän tulevaisuudessa. /6, 15, 16/

## 2.2 Pastan konekierto

Jokaisella päällystysyksiköllä on oma konekiertonsa. Pastan konekierron tärkein tehtävä on toimittaa pastaa päällystysasemalla luotettavasti ja sopiva määrä. Konekierron muita tehtäviä ovat pastan varastointi ja sekoittaminen, pastan kierrätys ja kierrätettävän pastan puhdistus. Yksinkertaisimmillaan konekiertoon kuuluu vain konesäiliö, pumppu ja syöttöputkisto päällystysasemalle ja paluuputkisto asemalta konesäiliöön. Nykyisin konekiertoon kuuluu usein myös painesihtaus syöttölinjassa ja karkeasihtaus paluulinjassa. Myös ilmanpoistin, jäähdytysjärjestelmät ja pastan on-line-mittaus kuuluvat yhä useammin pastan konekiertoon. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen nykyaikainen pastan konekierto eri laitteineen. /6, 15/



**Kuva 1** Tyypillinen pastan konekierto /15/



Tyypillistä useimmille päällystysprosesseille on, että vain noin 5 %–10 % päällystysasemalle pumpatusta pastasta jää paperin tai kartongin pintaan ja loput pastasta palaa paluukiertoa pitkin konesäiliöön. Joissakin uusimmissa päällystysasemissa pastan paluukierto on minimoitu niin, että vain pieni osa asemalle syötetystä pastasta palaa konesäiliöön. Pienempien virtausmäärien ansiosta koko konekierto on saatu rakennettua huomattavasti pienempään tilaan. /6, 15/

### 2.2.1 Konesäiliö

Konesäiliö toimii pastan konekierrossa pastan varastona, jonka tehtävänä on varmistaa, että pastaa on jatkuvasti saatavilla päällystysasemalle toimitettavaksi. Konesäiliö toimii puskurivarastona esimerkiksi vaihdettaessa pastan syöttö varastosäiliöstä toiseen. Konesäiliön pinta pidetään yleensä vakiona pinnankorkeussäädön avulla. Säiliössä voi olla myös jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmä, jonka avulla pastan lämpötila pidetään haluttuna. Konesäiliössä on yleensä sekoitin, jonka tehtävänä on pitää pasta liikkeessä ja homogeenisena. Sekoittimia on erityyppisiä sekoitettavan pastan viskositeetin ja säiliön muodon mukaan. Useimmiten korkean viskositeetin omaavia pastoja sekoitetaan suurilla ankkurityyppisillä sekoituselimillä, joiden pyörimisnopeus on alhainen. /1, 15/

### 2.2.2 Sihtaus

Sihtauksessa pastasta pyritään poistamaan epäpuhtaudet ja ylisuuret hiukkaset. Konekiertoon tuleva pasta on pääsääntöisesti puhdasta, mutta päällystysasemalla käydessään pasta kuivuu ja siihen voi tarttua kuituja paperirainasta. Epäpuhtaudet täytyy poistaa pastasta mahdollisimman tarkasti, koska ne aiheuttavat teräviiruja ja muita päällystevikoja. /6, 15/

Pastan konekierrossa sihtaukseen käytetään yleensä painesihdejä. Ne sijaitsevat konekierrossa konesäiliön jäljessä eli pasta pumpataan konesäiliöstä painesihtien kautta eteenpäin. Konekierron painesihtien rakokoot ovat yleensä alueella 50–300 µm. Rejektin poistetaan painesihdeistä yleensä noin 4–8 tunnin välein, rejektin poisto pyritään ajoittamaan yleensä katkotilanteisiin jos mahdollista. Kun rejektin poistetaan katkotilanteessa, vältetään painevaihteluiden aiheuttamat mahdolliset päällystemäärän heilahtelut. /6, 15/

Konekierroissa, joissa on kaksivaiheinen sihtaus, painesihdin rejektin johdetaan jatkuvalla syötöllä tärysihdille ja tärysihdin aksepti puolestaan johdetaan takaisin konesäiliöön. Kaksivaiheisella sihtauksella voidaan vähentää runsaasti pastahäviöiden ja kuidun määrää konekierrossa. Kaksivaiheisessa sihtauksessa myös painesihtin pysyy puhtaana pidempään ja huoltotarve vähenee. /15/

Pastan paluukierrossa käytetään usein karkeasihtauksia katkotilanteiden varalle. Karkeasihdin tarkoituksena on estää katkon aikana paperinpalasten kulku konesäiliöön. Jotkin karkeasihtityypit poistavat rejektin automaattisesti katkon päätyttyä. /15/

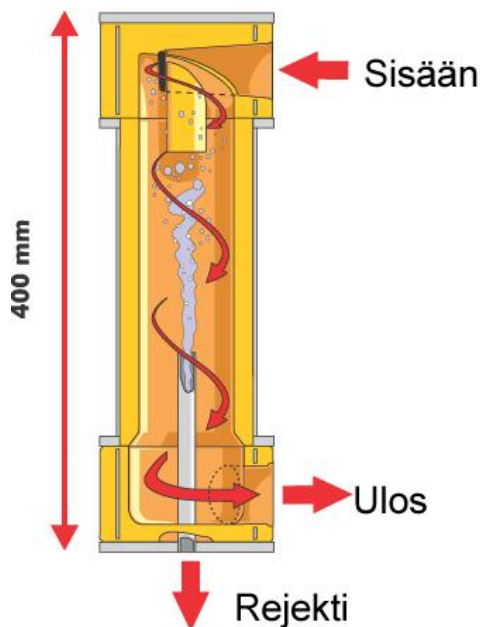
### 2.2.3 Ilmanpoisto

Kaikkia ilman vaikutuksia päällystysprosessissa ei tunneta, mutta ilman vaikutukset ovat yleensä negatiivisia tai parhaassakin tapauksessa vain neutraaleja. Ilma saa päällystyspastan vaahtoamaan konekierrossa ja pahimmillaan se aiheuttaa ylivuodon konesäiliössä. Ilman epäillään vaikuttavan negatiivisesti ajettavuuteen, erityisesti suurilla nopeuksilla. Ilma saattaa myös heikentää päällysteen peittävyttä ja kasvattaa pastan viskositeettiä. /6/

Kaikkein ilmeisin ilman aiheuttama ongelma ovat päällystämättömät kohdat paperissa, ilmiö tunnetaan nimellä 'skipping'. Ongelma on yleinen erityisesti jet-applikoinnilla varustetuilla päällystysasemilla, ja se tulee siitä, kun ilmakupla kulkeutuu pastan mukana rainaan ja kaavauksessa ilmakuplan kohdalta poistuu kaikki pasta. /6/

Ilmaa on perinteisesti torjuttu pastassa kalliilla ja ympäristölle haitallisilla kemikaaleilla. Kemikaalit voivat myös aiheuttaa ongelmia offset-painatuksessa. Pastan ilmapitoisuuteen vaikuttaa myös konekierron rakenne ja putkistoratkaisut. Konesäiliön pinnan tulisi olla aina riittävän korkealla, ettei sekoitin vatkaisi ilmaa pastan sekaan. Myös pastan paluuputket tulisi aina johtaa konesäiliössä pinnan alapuolelle. Nykyisin ilmaa torjutaan kuitenkin usein erillisellä ilmanpoistimella. /6, 15/

Suurimmat ilmakuplat saadaan poistettua painesihdeillä. Pienemmät ilmakuplat voidaan poistaa ilmanpoistimella, jonka toiminta perustuu ilman ja pastan väliseen tiheuseroon ja keskipakovoimaan (kuva 2). Ilmanpoistimen rejekti eli ilmapitoinen jae johdetaan takaisin konesäiliöön. Ilmanpoistin tulisi sijoittaa aina painesihtien ja päällystysaseman väliin kuten kuvassa 1, koska ilmanpoistimen pienen halkaisijan omaavat syklonit tukkeutuvat helposti pienistäkin paperinpaloista, jos niitä ei ole pastasta poistettu. /6, 15/



**Kuva 2** Ilmanpoistimen toimintaperiaate /15/

Ilmanpoistimen merkitys on lisääntynyt, ja erityisesti Jet-päällystysasemien virheetön toiminta vaatii ilmanpoistimen käyttöä. Yli 1 mm:n halkaisijaltaan oleva kupla aiheuttaa hyvin todennäköisesti päällystysvirheen. Kokoluokan 0,2–1,0 mm ilmakuplat eivät yksinään aiheuta päällystysvirheitä, mutta ilmakuplat yhtyvät

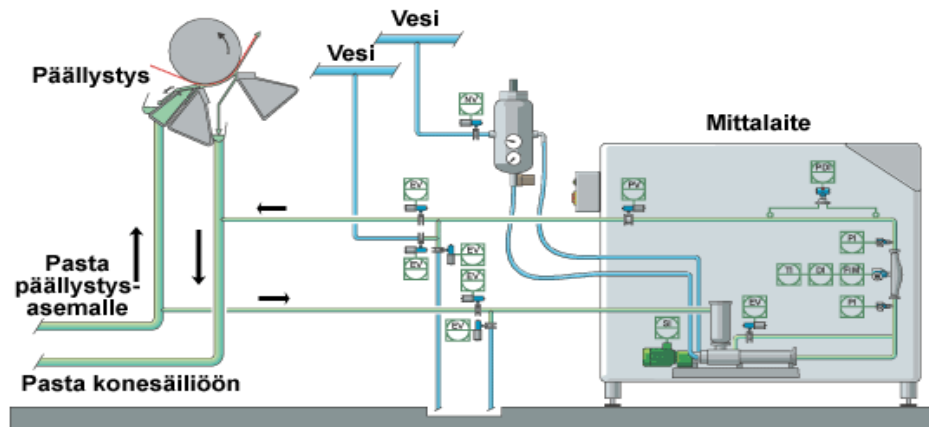
helposti suuremmiksi kupliksi. Ilmanpoistimet onkin useimmiten suunniteltu siten, että ne erottavat 0,2 mm suuremmat ilmakuplat pastasta.

#### 2.2.4 Pastan laadun on-line-mittaus

Perinteisesti päällystyspastan laatua on seurattu ottamalla konekierrosta pastanäytteitä esimerkiksi kerran vuorossa. Pastanäytteestä on sitten laboratoriossa mitattu halutut suureet. Tyypillisesti pastasta on seurattu kuiva-ainepitoisuutta, pH-arvoa, lämpötilaa ja matalan leikkausnopeuden viskositeettia. /15/

Päällystysmenetelmien kehityksen ja ajonopeuksien kasvun myötä kasvaa tarve mitata ja myös säätää pastan ominaisuuksia jatkuvatoimisesti. Pastan laadun on-line-mittaus mahdollistaa päällystysprosessissa tapahtuvien muutosten ennakoinnin. Jatkuvatoiminen mittaus antaa myös mahdollisuuden vähentää laadunvaihtelua ja hukkapastan määrää. /15/

Pastan jatkuvatoimisella mittausjärjestelmällä (kuva 3) voidaan mitata pastan kuiva-ainepitoisuus, lämpötila, tiheys, ilmapitoisuus ja viskositeetti pienillä leikkausnopeuksilla. Pasta johdetaan konekierrosta on-line-mittalaitteen pumpun imupuolelle. Mittalaitteen pumppu on varustettu taajuusmuuttajalla, jolla voidaan säätää pastan virtausta mittalaitteen putkistossa. Mittalaitteen putkistossa sijaitsevalla coriolis-massavirtamittarilla mitataan pastan tiheyttä, lämpötilaa ja massavirtausta. Mittalaitteen säätöventtiilillä putkisto voidaan paineistaa, jolloin pastassa olevan ilman vaikutus mittaustuloksiin eliminoiduu. Pastan kuiva-ainepitoisuus määritetään laskemalla todellisesta, ilmattomasta tiheydestä ja pastan koostumuksesta. Pastan ilmapitoisuus määritetään mittaamalla tiheys kahdella eri painetasolla. /15/



**Kuva 3** Pastan laadun on-line-mittalaite konekierrassa /15/

Mitattu pasta palautetaan konekiertoon. Mittalaitteen virtausmäärä on niin pieni, että se ei häiritse konekierron toimintaa eikä aiheuta konekierrassa painevaihteluita. /15/

### 2.3 Teräpäälystysmenetelmät

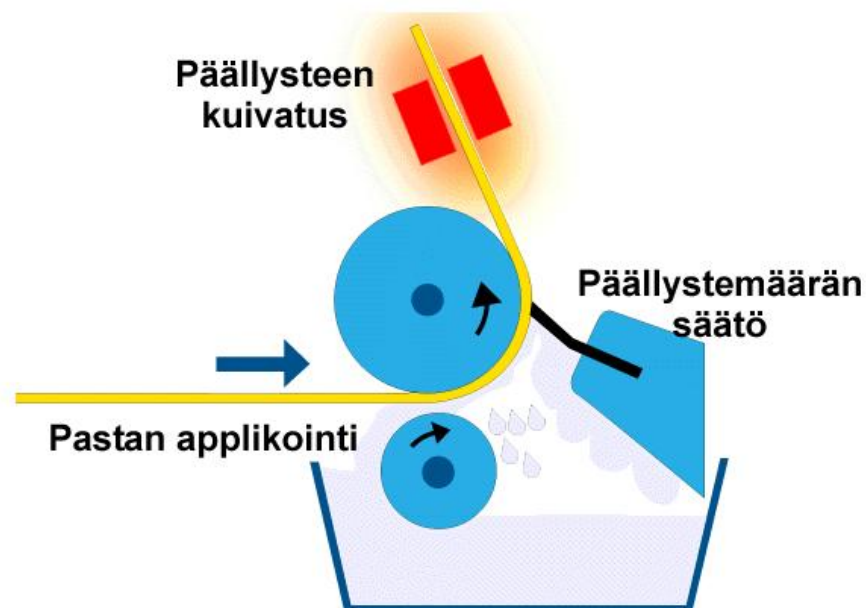
Päälystystapahtumassa on perinteisesti kaksi päävaihetta: päälysteen applikointi ja päälysteen tasoitus. Verho- ja spray-päälystysmenetelmissä nämä kaksi vaihetta on kuitenkin yhdistetty. Eri päälystysmenetelmien erona on usein applikointitapahtuman ja siinä tapahtuvan penetraation erilaisuus. Penetraatio tarkoittaa päälystyspasta ja erityisesti pasta sisältämän veden ja sideaineiden tunkeutumista pohjaradan huokosiin. Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain teräpäälystysmenetelmiä. Verho-, spray- ja filminsiirtopäälystystä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. /3/

Teräpäälystys on yleisin käytössä oleva pigmenttipäälystysmenetelmä. Teräpäälystysasemia on erityyppisiä. Käytössä on sivelytela-applikoinnilla, lyhytviipymäapplikoinnilla ja suutinapplikoinnilla varustettuja teräpäälystysasemia. Teräpäälystys voidaan jakaa useisiin eri vaiheisiin, joita ovat applikointi, pastan viipymä paperilla tai kartongilla ennen kaavausta, ylimääräisen pastan kaavinta päälystemäärän säätämiseksi ja kuivatus. Näillä kaikilla vaiheilla on merkitystä päälystyksen laatuun ja ajettavuuteen. /3, 15/

### 2.3.1 Sivelytela-applikointi

Sivelytelapäälystyks on kaikkein laajimmin käytetty päälystysmenetelmä paperiteollisuudessa. Sivelytela-applikoinnin on todettu soveltuvan lähes kaikille paperi- ja kartonkilajeille. Menetelmää käytetään kartongin päälystyksen alle 500 m/min nopeuksista aina LWC-paperin päälystyksen yli 1500 m/min nopeuksiin. /5/

Kuvassa 4 on esitetty sivelytelapäälystimen toimintaperiaate. Päälystysyksikössä on kaksi kumipäälysteistä telaa, joilla on eri halkaisijat. Kuvassa suurempi tela on nimeltään vastatela, ja pienempi tela on aplikointi- eli sivelytela. Kummallakin telalla on oma sähkökäyttönsä. Vastatelan tehtävänä on tukea paperirataa päälystyksen aikana. Se pyörii samalla nopeudella kuin paperikone tai erillinen päälystyskone. Vastatelan halkaisija on tyypillisesti melko suuri, koska suurella telalla saavutetaan mahdollisimman suora ja stabiili tuki paperiradalle aplikoinnin ja kaavauksen aikana. Vastatela on yleensä kiinnitetty kiinteästi päälystyskoneen runkoon tai päälystysaseman omaan runkoon. Muut päälystysaseman osat ovat liikuteltavia ja niiden sijaintia vastatelaan nähden voidaan säätää. /5/



**Kuva 4** Sivelytelapäälystimen toimintaperiaate /15/

Applikointitela on tyypillisesti halkaisijaltaan noin 30 %–40 % vastatelan halkaisijasta. Aplikointitela sijaitsee vastatelan alapuolella joko suoraan

alapuolella tai hieman sivussa. Applikointitelaa voidaan liikutella ja täten voidaan säätää telojen välistä etäisyyttä ja applikointipainetta. Tyypillisesti päällystystapahtuman aikana telojen välinen rako on noin 0,5–1,5 mm ja applikointipaine noin 0,3–1,0 bar. Applikointitelan tehtävänä on nostaa päällystyspasta applikointitelan alapuolella sijaitsevasta seosaltaasta vastatelan tukeman paperi- tai kartonkiradan pintaan. Applikoinnissa radan pintaan jäävän pastakerroksen paksuuteen vaikuttaa telojen välisen raon suuruus, pastan ominaisuudet, applikointitelan pyörimisnopeus ja telojen halkaisijat sekä kovuudet. Tyypillisesti applikoidun kerroksen paksuus on noin 200–250 g/m<sup>2</sup>. Telojen välisen applikointiraon on oltava aina täynnä pastaa, jotta saavutettaisiin hyvä päällystystulos. Jos applikointitelan nopeus on liian alhainen, applikointirako ei täyty riittävästi, mikä aiheuttaa päällystämättömiä laikkuja. Käytännössä applikointitelan nopeus on yleensä 15 %–25 % koneen nopeudesta. /3, 5/

Sivelytelapäällistyksessä pastan applikointi tapahtuu tyypillisesti melko korkean paineen alaisena (0,3–1,0 bar), tästä johtuen pohjarata kostuu voimakkaasti. Pohjaradan kostuminen applikointinipissä aiheutuu painepenetraatiosta. Nipistä lähtiessään pastakerros halkeaa kahteen osaan, toinen osa pastasta jatkaa applikointitelan pinnassa takaisin seosaltaaseen. Toinen osa jatkaa paperiradan mukana kaavaukseen. Suuren applikointipaineen lisäksi sivelytelapäällystimille on tyypillistä melko pitkä matka applikoinnin ja kaavauksen välillä. Tällä noin 0,5 metrin matkalla applikointinipistä kaavinterälle tapahtuu myös jonkin verran kapillaaripenetraatiosta aiheutuvaa kostumista. /3,5/

Päällystysaseman täytyy pystyä täyttämään kaksi päävaatimusta: sen täytyy levittää pasta tasaisesti paperin pintaan ja pystyä säätämään haluttu päällystemäärä valitulla vaihteluvälillä ja vallitsevissa olosuhteissa. Päällystyspastan vedenpoistolla, jota kuvataan vesirentiolla, on merkittävä vaikutus päällystekerroksen tasaisuuteen ja päällystemäärään. Applikointinipin paine muodostaa ensimmäisen päällystyspigmenttikerroksen paperin pintaan. Tämä kerros antaa melko tasaisen ja yhtenäisen huokoisuuden ja virtausvastuksen seuraaville päällystyksen vaiheille eli viipymääjälle ja kaavaukselle. Täten pohjapaperin huono formaatio ja epätasainen huokoisuus- ja absorptiokykyjakauma eivät ole erityisen kriittisiä ominaisuuksia sivelytelapäällistyksessä. Suuri määrä päällystyspastaa, josta on poistunut vesi

applikoinnin ja viipymääjan aikana, auttaa myös saavuttamaan suuria päällystemääriä, jopa yli  $15 \text{ g/m}^2$ . /5/

Toisaalta liian suuri päällystyspastan vedenpoisto voi rajoittaa sivelytelapäällystimen käyttöä. Alhaisen neliömassan pohjapapereilla pastan nestefaasin penetroituminen pohjapaperin kuiturakenteeseen heikentää paperin lujuusominaisuuksia. Paperin lujuusominaisuuksien heikentyminen lisää katkoja päällystysasemilla, täten sivelytelapäällystimellä päästään vain rajalliseen ajettavuuteen alhaisilla neliömassoilla. Tästä huolimatta sivelytelapäällystimellä saavutetaan parempi laatu kuin lyhyemmän viipymääjan päällystysmenetelmillä, kuten lyhytviipymä- eli short dwell-päällystimillä. /5/

Ohuiden paperien lujuuksien heikentämisen lisäksi sivelytela-applikoinnin vedenpoisto pastasta voi rajoittaa suurinta käyttökelpoista pastan kuiva-ainepitoisuutta. Koska applikoinnin aikana pastasta poistuu osa sen sisältämästä nestefaasista, pasta saattaa olla jo entuudestaan liian paksua kaavaukseen ja tämä aiheuttaa suuria teräkuormia tai viiruja. Tässä tapauksessa pastaa täytyy laimentaa ja tämä taas vaatii tavallista suurempaa kuivatuskapasiteettia ja lisää kuivatuskustannuksia. Tämän ilmiön seurauksena sivelytelapäällystimillä on yleensä vaikea saavuttaa alhaisempia päällystepaksuuksia kuin  $6-7 \text{ g/m}^2$ . /5/

Ajonopeuksien kasvaessa sivelytelapäällystysmenetelmän ongelmina ovat erityyppiset roiskeet ja päällystekerroksen halkeaminen nipin jälkeen. Suurilla ajonopeuksilla esiintyy myös pintajännitysaaltoja, jotka näkyvät lopputuotteessa päällysteen vanaisuutena. /3/

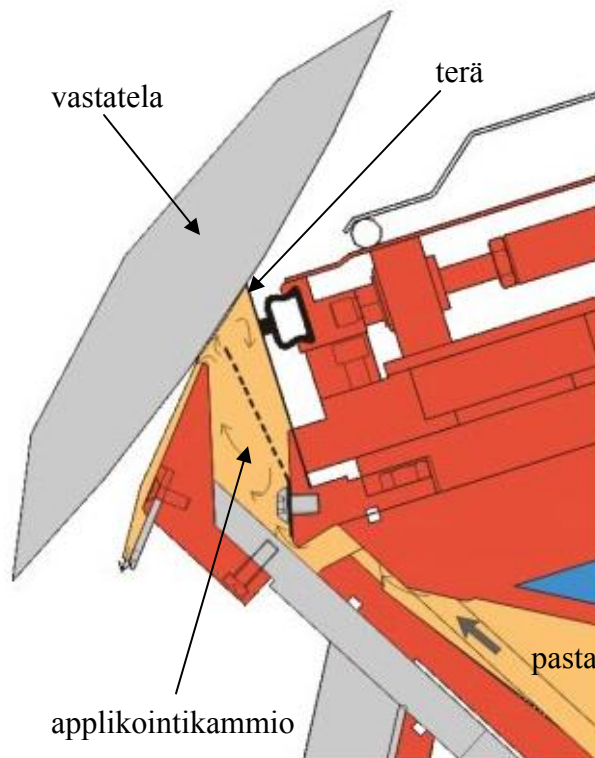
### 2.3.2 Lyhytviipymäapplikointi

Lyhytviipymäapplikointi eli short dwell -applikointi kehitettiin 1970-luvun lopulla. Tavoitteena oli kehittää päällystysasema, jolla voitiin vähentää ratakatkoja päällystettäessä heikkoja pohjapapereita sen ajan suurimmilla ajonopeuksilla. /5/



Kuvassa 5 on esitetty sivelytelapäällystimen rakenne ja toimintaperiaate. Lyhytviipymäpäällystysaseman pääosat ovat kaavausterä, applikointikammio ja vastatela. Applikointikammion yhden sivun muodostaa terä ja toisen sivun vastatelan tukema pohjarata. Lyhytviipymäapplikoinnissa pasta johdetaan pastanjakelujärjestelmän läpi applikointikammioon kammion pohjassa olevan raon kautta. Tuore päällystyspasta liittyy applikointikammiossa vallitsevaan pyörteeseen ja sekoittuu kammiossa jo olevaan pastaan. Kammion massatasapainoa ylläpidetään ns. säätöreunan kärjen ja pohjapaperin välisestä raosta tapahtuvan paluuvirtauksen avulla. Paluuvirtauksella on myös ratkaisevan tärkeä tehtävä eristää ilma applikointikammioista. Suurilla ajonopeuksilla pohjaradan rajapinnassa kulkee paljon ilmaa, joka pyrkii applikointikammioon paluuvirtauksen raon kautta. Paluuvirtauksen raon ja terän välillä pohjaradan pinnassa olevan päällystyspasta nopeus kiihtyy pohjaradan nopeuteen, ja ylimääräinen pasta kaavataan pois kaavinterällä. Kaavinterä jättää pohjaradan pintaan vain halutun paksuisen kerroksen pastaa. Ylimääräinen kaavattu pasta jää applikointikammioon ja sekoittuu kammioon tulevaan tuoreeseen pastaan ja täten prosessin kierto jatkuu.

/3, 5/



**Kuva 5** Lyhytviipymäpäällystimen toimintaperiaate /15/

Lyhytviipymäapplikoinnin tärkein erityispiirre on, että se heikentää vähemmän pohjaradan lujuuksia ja vaatii pienempiä teräkuormia päällystemäärän säätöön kuin pidemmän viipymäajan päällystysmenetelmät, kuten sivelytelapäällystin. Tästä syystä lyhytviipymäpäällystysasema aiheuttaa vähemmän ratakatkoja, mikä on erityisesti havaittavissa alhaisen neliömassan pohjapapereilla ja pienen päällystemäärän lajeilla. /5/

Lyhytviipymäpäällystyksessä pohjapaperin kastuminen on melko vähäistä. Tämä aiheutuu lyhyen viipymäajan ja maltillisen applikointipaineen yhdistelmästä. Tyypillisesti lyhytviipymäpäällystimen viipymämatka paluuvirtauksen raon ja terän välillä on noin 30–50 mm. Ajonopeuden ollessa 1000–1500 m/min tämä vastaa noin 1,2–3,0 ms:n viipymäaika. Tyypillisen sivelytelapäällystimen viipymämatkan ollessa noin 600 mm, lyhytviipymäpäällystimen viipymäaika on alle 10 % sivelytelapäällystimen viipymäajasta. Tämä on tärkein yksittäinen tekijä, joka aiheuttaa pohjapaperin vähäisemmän kastumisen ja täten pohjaradan lujuuksien vähäisemmän heikentymisen päällystyksen aikana. /5/

Applikointikammion paine on tyypillisesti 10–20 kPa. Kammion painetta voidaan säätää syöttömäärän ja paluuvirtauksen raon avulla. Paluuvirtauksen säätöraon suuruus on yleensä 3–7 mm. Tuotanto-olosuhteissa lyhytviipymäpäällystysasemilla käytetään harvoin alle 3 mm:n rakoa, joten applikointikammion paineet pysyvät maltillisina. /3, 5/

Koska lyhytviipymäpäällystyksessä viipymämatka on lyhyt, tapahtuu pohjapaperin kuitujen turpoaminen osittain vasta kaavausterän jälkeen. Kuitujen turpoaminen terän jälkeen karhentaa kaavinterällä silotettua pintaa. Tästä syystä lyhytviipymäpäällystysasemalla saavutetaankin huonompi päällysteen sileys kuin sivelytelapäällystysasemalla. /3/

Lyhytviipymäpäällystyksessä saatava suurin päällystemäärä on yleensä 2–3 g/m<sup>2</sup> pienempi kuin vastaavissa olosuhteissa sivelytelapäällystimellä saavutetaan. Tämä aiheutuu lyhytviipymäpäällystimen alhaisemmasta applikointipaineesta, lyhyemmästä viipymäajasta ja pohjapaperin kuitujen vähäisemmästä turpoamisesta. Päällysteen poikkiprofiili huononee olennaisesti 11 g/m<sup>2</sup> suuremmilla

päällystemäärillä. Alhaiset päällystemäärät saavutetaan kuitenkin helpommin kuin sivelytelapäällystimellä, koska pohjarataa ei tarvitse rasittaa käyttämällä yhtä suuria teräkuormia. /3/

Lyhytviipymäpäällystyksen ongelmana, erityisesti suurilla ajonopeuksilla, on päällysteen vanaisuus, jonka uskotaan johtuvan applikointikammion epästabiileista virtauksista ja kastumislinjan epästabiiliudesta. Vanaisuusongelmaa pienentää uudemmissa lyhytviipymäpäällystysasemissa oleva patoterä. Se tiivistää applikointikammion etuseinän ja pakottaa pohjaradan lähellä olevan pastan virtaamaan laminaarisesti. /3/

### 2.3.3 Suutinapplikointi

Suutinapplikointimenetelmä kehitettiin 1990-luvun alussa. Ajonopeuksien kasvaessa jatkuvasti ilmeni vaikeuksia ylläpitää vaadittu laatutaso olemassa olevalla tekniikalla, kuten sivelytela- ja lyhytviipymäpäällystimillä. Suutinapplikointia kehitettäessä tavoitteena oli vanaisuuden poisto, lyhytviipymäapplikoinnin ajettavuus ja sivelytela-applikoinnin laatu. /3, 5/

Suutinapplikointia kehitettäessä oli kaksi eri kehitysvaihetta ennen kuin nykyiseen suutinapplikointityyppiin päästiin. Yksi kehitysversio on esitasoituselimellä varustettu suutinapplikointimenetelmä. Tässä päällystysmenetelmässä applikointi tapahtuu lyhytviipymätyyppisellä applikointikammionlailla. Tämä applikointikammio korvaa sivelytelapäällystimissä käytettävän applikointitelan. Viipymäaika on sama kuin sivelytelapäällystimissä. Ajatuksena on applikointitelan käytön sijaan applikoida tasainen ja ohut kerros pastaa pohjaradan pintaan. Esitasoituselimenä käytetään joko terää tai sauvaa. Lopullinen kaavaus suoritetaan teräpalkilla, kuten sivelytelapäällystyksessäkin. Applikoidun pastan määrä on oleellisesti pienempi kuin sivelytelalla applikoitaessa. Tämän ja applikoidun päällystekerroksen tasaisuuden takia kaikki roiskeet ja päällystekerroksen halkeamisesta johtuvat kuvioinnit viipymävyöhykkeellä eliminoituivat. Koska viipymäaika on yhtä pitkä

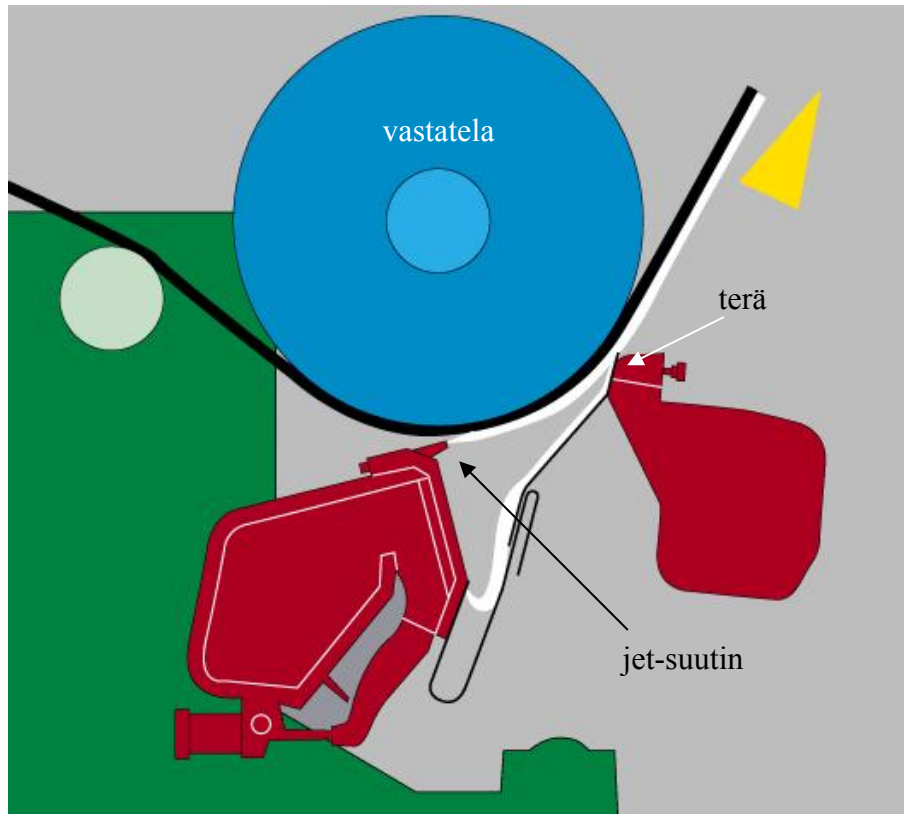
kuin sivelytelapäälystimillä, esitasoituselimellä varustetulla suutinapplikoinnilla saavutetaan erittäin tasainen päällysteen pinta suurillakin ajonopeuksilla. /5/

Esitasoituselimellä varustetuissa suutinapplikointipäälystimissä oli kuitenkin monia ongelmia, joiden vuoksi tämän menetelmän käyttö ei yleistynyt. Applikointikammion ja esitasoituselimen sijainti lähellä teräpalkkia aiheutti ahtautta ja tilanpuutetta. Applikointielimen ja teräpalkin säätäminen ja huoltaminen oli hankalaa. Toinen vakava ongelma esitasoituselimellä varustetuissa suutinapplikointipäälystimissä on kaksi kiinteää pistettä vastatelalla. Tietyissä olosuhteissa pohjarata löystyy esitasoituselimen ja kaavausterän välillä ja ratakiireyden hallinta tällä välillä on mahdotonta yhteisen vastatelan takia. Tällöin raina vekkautuu helposti kaavausterälle. Tämä ongelma voidaan ratkaista kaksoisvastatela-aseamalla, jonka ensimmäisellä vastatelalla pasta applikoidaan radan pintaan ja toisella vastatelalla päällystemäärä säädetään halutun suuruiseksi kaavausterän avulla. Kaksoisvastatela-asema vaatii kuitenkin suuremman tilan ja on kalliimpi investointi, koska siihen tarvitaan kaksi vastatela. Kaksoisvastatela käytetään kuitenkin jonkin verran kartonkien päällystämiseen, koska pitkän viipymämatkan ansiosta tällä menetelmällä päästään suuriin päällystepaksuuksiin. /5, 15/

Samalla kun esitasoituselimellä varustettuja suutinapplikointipäälystimisiä kehitettiin, suoralla jet-suuttimella varustetut päällystysasemat kokivat merkittävän uudelleentulemisen 1990-luvun puolivälissä. Tämä menetelmä oli jo laajasti käytössä Japanissa. /5/

Kuvassa 6 on esitetty suutinapplikointipäälystimen rakenne ja toimintaperiaate. Jet suutinapplikointilaite muodostuu suuttimesta, jonka huuliaukko on säädettävissä välillä 0,6–2,0 mm. Suutin sijaitsee vastatelan alapuolella, suunnilleen samalla kohdalla kuin applikointitela sivelytelapäälystimessä. Suuttimen huulen ja vastatelan välinen etäisyys on tyypillisesti säädettävissä välillä 5–20 mm. Suuttimen muoto muodostaa päällystyspastasta suihkun, jonka nopeus määräytyy suuttimen huuliaukon suuruuden ja pastan virtausnopeuden perusteella. Suuttimesta tullessaan pastasuihku iskeytyy vastatelan tukemaan pohjarainaan. Pastasuihkun puhtaan ja tasaisen iskeytymisen aikaansaamiseksi on tärkeää, että

pohjaradan nopeus on aina suurempi kuin suihkun nopeus. Tyypillisesti pohjaradan ja suihkun nopeuksien suhde on välillä 2–6. /5/



**Kuva 6** Suutinapplikoitipäällystimen toimintaperiaate /15/

Suoran suutinapplikoinnin etuna on, että päällystyspastan applikoinnissa ei tapahdu päällystekerroksen halkeamista, eikä applikoinnissa ole ylivirtausta. Pastasuihku on suuttimesta ulos tullessaan yhä laminaarinen, tasainen ja tasalaatuinen. Pohjaradan ja suihkun nopeuserosta aiheutuen pastasuihku venyy tullessaan pohjaradan pintaan. Täten pohjaradan pintaan tulee tasalaatuinen, ohut kerron pastaa. /5/

Suutinapplikoitipäällystysasemassa on monia säädettäviä muuttujia, joilla päällystys voidaan säätää halutunlaiseksi. Pastan syöttömäärää muuttamalla voidaan säätää applikoidun pastan määrää. Suuttimen huuliaukon suuruutta muuttamalla voidaan säätää pastasuihkun nopeutta. Pastasuihkun ja pohjaradan välistä törmäyskulmaa muuttamalla voidaan hienosäätää applikoitisuihkua takaisinvirtauksen ja suihkun heijastumisen estämiseksi. /5/

### 2.3.4 Kaavintamenetelmät

Teräpäälystysmenetelmissä päällystemäärää säädetään kaavinterän voimatasapainoa ja siten terän rainaan vaikuttavaa voimaa muuttamalla. Kaavinterään vaikuttaa voimia terän kärjen alla ja kaapimisalueella. Viistetyllä kaavinterällä näiden alueiden välinen raja on lähellä kaavinterän etureunaa, jossa applikoitu pastakerros jakaantuu pohjaradan pintaan jäävään osaan ja poiskaavattavaan osaan. Pienkulmapäälystyksessä käytettävällä viistämättömällä terällä on olemassa vastaava piste, mutta sen sijaintia ei voida määrittää niin tarkasti, koska taipuneessa terässä ei ole nurkkaa. /3/

Kaapimisalueella terään kohdistuu törmäävän pastan aiheuttama impulssivoima, joka aiheutuu poiskaavattavan pastan massavirran suunnanmuutoksista sen törmätessä terään. Impulssivoima pinta-alayksikköä kohti muodostaa patopaineen. Terän alla vaikuttavat hydrodynaaminen voima, pohjaradan kuitujen tukivoima ja kitkavoima. Hydrodynaaminen voima aiheutuu kitkallisesta virtauksesta kahden tason välisessä kiilamaisessa raossa. Hydrodynaamisen voiman suuruus on voimakkaasti riippuvainen teräkulman suuruudesta. /3/

Teräpäälystyksessä päällystysmenetelmät jaotellaan teräkulman suuruuden perusteella suurkulma- ja pienkulmapäälystykseen. Suurkulmapäälystyksessä terän kärkikulma on tyypillisesti välillä 25–50°. Suurkulmapäälystyksessä päällystemäärää säädetään muuttamalla terän kuormitusta siten, että rainaan kohdistuva voima muuttuu. Suurkulmapäälystyksessä kuormitusta lisättäessä päällystemäärä pienenee. /3/

Pienkulmapäälystyksessä kaavinterän kärkikulma on 0–15°. Siinä päällystemäärän säätö perustuu hydrodynaamisen voiman suuruuden suoraan riippuvuuteen kaavinterän kärkikulmasta. Päällystemäärää säädetään muuttamalla kaavinterän ja pohjaradan välistä kulmaa. Tällöin terän kärkialueella vaikuttava voima muuttuu vaikuttaen samalla terän ja pohjaradan väliseen etäisyyteen. Kärkikulmaa voidaan muuttaa joko kääntämällä teräpalkkia tai muuttamalla kuormitusletkun painetta. Kärkikulman pienentäminen ja kuormituspaineen kasvattaminen lisäävät päällystemäärää. /3/

### 3 PASTAN REOLOGIA

Reologia tarkoittaa oppia materiaalin muodonmuutoksesta ja virtauskäyttäytymisestä mekaanisen rasituksen alaisuudessa. Materiaalin reagointi riippuu rasituksen tyypistä ja suuruudesta. Nesteet jaetaan reologian perusteella newtoniaalisiin ja ei-newtoniaalisiin sekä viskoottisiin ja viskoelastisiin nesteisiin. /3, 8/

Newtoniaalisten nesteiden viskositeetti pysyy vakiona eri olosuhteissa. Tällaisia nesteitä ovat vain pienimolekyyliset nesteet, kuten vesi. Päälystyspastat ovat hyvin harvoin newtoniaalisia. Hyvin laimeat pigmenttilietteet, joiden kuiva-ainepitoisuus on vain joitakin prosentteja, käyttäytyvät newtoniaalisesti. /3, 4/

Ei-newtoniaalisten nesteiden viskositeettiin vaikuttaa käytetty leikkausnopeus ja rasitusaika. Päälystyspasta ja sen raaka-aineet ovat yleensä ei-newtoniaalisia. Tämän takia päälystyspastalle on hyvä määrittää viskositeettiprofiili, jotta tiedetään, miten pasta käyttäytyy eri leikkausnopeusalueilla. Sama pasta voi käyttäytyä eri tavoilla eri leikkausnopeusalueilla. /3, 4/

Leikkausohenevan eli pseudoplastisen pastan viskositeetti pienenee leikkausnopeuden noustessa. Tämä johtuu pigmenttipartikkeleiden orientoitumisesta virtauksen suuntaisesti, polymeeriketjujen oikenemisestä virtauksen suuntaan ja heikkojen rakenteiden hajoamisesta pastassa. /3/

Leikkauspaksunevan eli dilatanttisen pastan viskositeetti puolestaan kasvaa leikkausnopeuden noustessa. Pastat, joiden kuiva-ainepitoisuus on suuri, ovat yleensä dilatanttisia. Tämä johtaa usein pastan viskositeetin kasvun myötä viiruihin päälysteessä. Dilatanssia syntyy kun pastassa on väliainetta juuri ja juuri voitelemaan systeemiä. Kun pastan rakenne häiriintyy leikkauksen vuoksi, rakenne pyrkii laajenemaan eikä väliaine enää riitä voitelemaan välitilaa. Tällöin virtaus vaikeutuu ja tämän seurauksena viskositeetti kasvaa. /3/

Viskositeettiin vaikuttaa myös rasituksen kesto. Ajan vaikutusta viskositeettiin kuvaavat käsitteet tiksotrooppisuus ja reopektisyys. Tiksotropia tarkoittaa käyttäytymistä, jossa nesteen viskositeetti alenee rasituksen keston myötä. Päälystyspastat ovat yleensä tiksotrooppisia. Reopektisyys on tiksotropian vastakohta eli viskositeetti kasvaa rasituksen keston myötä. Useimmiten reopektisyys ei kuitenkaan ole todellista käyttäytymistä, vaan johtuu esimerkiksi pastan kuiva-ainepitoisuuden noususta tai ilmapitoisuuden lisääntymisestä mittauksen aikana. /3/

### 3.1 Reologian vaikutukset päälystykseseen

Päälysteen reologiset ominaisuudet vaikuttavat pastan ajettavuuteen päälystysasemalla. Pastan ajettavuudella pyritään mahdollisimman tehokkaaseen ja häiriöttömään tuotantoon. Eli käytännössä pastan reologiset ominaisuudet pyritään saamaan sellaisiksi, että päästään suuriin ajonopeuksiin ilman päälysteen laadun heikkenemistä. /4/

Reologia vaikuttaa yhdessä vesiretention kanssa ainakin päälystyspastan käyttäytymiseen pastan konekierrossa, pastan ajettavuuteen päälystysasemalla ja päälystemäärän hallintaan. Reologia ja vesiretention vaikuttavat myös päälysteen rakenteeseen ja laatuun. Näiden lisäksi reologia vaikuttaa kemikaalien käyttöön ja pastojen sideainepitoisuuksiin. /3/



### 3.2 Reologiaan vaikuttavat tekijät

Päällystyspastan reologisia ominaisuuksia on yleensä vaikea ennustaa, koska pastan koostumus on monimutkainen. Pastan reologisiin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat:

- kiinteän faasin tilavuusosuus
- hiukkasten muoto ja koko
- hiukkasten pakkautumiskyky ja kokojakauma
- liukoisten polymeerien määrä ja tyyppi
- hiukkasten keskinäiset vuorovaikutukset. /4/

Pastan ilmapitoisuus vaikuttaa myös merkittävästi pastan viskositeettiin. Pastan sisältämät ilmakuplat käyttäytyvät kiinteän aineen tavoin ja nostavat kiinteän faasin tilavuusosuutta. Täten pastan viskositeetti kasvaa ilmapitoisuuden noustessa. /3/

## 4 VESIRETENTIO

Päällystyspastan vesiretentio tarkoittaa pastan kykyä pidättää vettä tai nestefaasia itsessään päällystyksen aikana kun pasta on kosketuksissa paperin pinnan kanssa. Hyvä vesiretentio tarkoittaa sitä, että pasta pidättää vettä itsessään hyvin eli pastan kuiva-ainepitoisuus päällystystapahtuman aikana on stabiili. Jos vettä poistuu pastasta helposti, vesiretentio on huono. Joissakin päällystysprosesseissa huono vesiretentio voi olla hyväkin asia. Vesirention yksikkö on  $g/m^2$ . /10, 15/

Päällysteen kiinnittyminen pohjarataan edellyttää, että tietty vesi- ja sideainemäärä imeytyy hallitusti pohjan huokosiin. Veden tukeutuminen pohjarataan päällystystapahtuman aikana johtuu pääasiassa ulkoisen paineen aiheuttamasta painepenetraatiosta. Painepenetraatiossa päällystyspastasta imeytyy pohjapaperiin vettä ja sideaineita. Päällystyksen aikana tapahtuu myös jonkin verran kapillaaripenetraatiosta johtuvaa imeytymistä. Ilman ulkoista painetta tapahtuvan kapillaaripenetraation vaikutus päällystyksen aikana on kuitenkin melko pieni,

koska kapillaaripenetraatio vaatii huomattavasti pidemmän vaikutusajan kuin painepenetraatio. /3, 4/

#### 4.1 Vesiretention aiheuttamat ongelmat

Päällystyspastan vesiretention liittyy monia ongelmia. Ongelmia esiintyy, kun vesiretention on liian huono tai liian hyvä. /4/

Liian huono vesiretention aiheuttaa ainakin seuraavanlaisia ongelmia:

- Kuiva-ainepitoisuus nousee nopeasti ennen kaavinterää ja tämän seurauksena kaavittavan kerroksen alaosassa esiintyy dilatanssia. Dilatanssi johtaa huonoon ajettavuuteen, päällystemäärän säätöongelmiin ja päällysteen pinnan laadun heikkenemiseen.
- Sideaineet vaeltavat veden mukana ja tämän seurauksena lähelle paperin ja päällysteen rajakerrosta muodostuu sideaineköyhä kerros. Tämä sideaineköyhä kerros kasvattaa palstautumisriskiä.
- Päällystyspastan koostumus ja ominaisuudet muuttuvat pastan konekierrossa.
- Konekierrossa oleva pasta köyhtyy vesiliukoisista sideaineista, kun konekierron pastan kuiva-ainepitoisuutta kontrolloidaan lisäämällä vettä.
- Veden imeytyminen pohjapaperiin heikentää pohjapaperin lujuusominaisuuksia. Ongelma on suurin päällystettäessä ohuita pohjapapereita. /4/

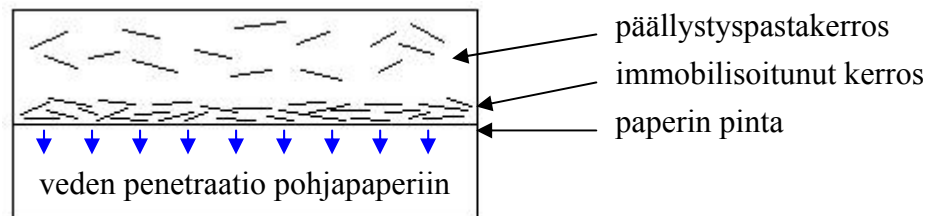
Liian hyvä vesiretention puolestaan aiheuttaa ainakin seuraavia ongelmia:

- Päällysteen heikko sitoutuminen pohjarataan voi aiheuttaa päällystekerroksen irtoamisen.
- Päällysteen kuivatus vaikeutuu, kun vesi on liian hyvin sitoutunut päällystyspastaan. /4/

## 4.2 Vesiretention mekanismi ja vesiretention vaikuttavat tekijät

Pastan vesiretention on riippuvainen hyvin monesta tekijästä. Pohjapaperin ominaisuudet, kuten huokoisuus ja pintakemia vaikuttavat pohjapaperiin imeytyvän veden määrään. Vesiretention vaikuttavat myös päällystysaseman olosuhteet, kuten aseman tyyppi, ajonopeus, applikointipaine ja viipymäaika. Pastan komponenteista ainakin pigmentit ja sideaineet vaikuttavat merkittävästi vesiretention. Tärkeä merkitys on myös pastan ja pohjapaperin lämpötiloilla. /7, 9/

Kuvassa 7 on esitetty vesiretention toimintamekanismi. Kun päällystyspasta applikoidaan pohjapaperin pintaan, pastan sisältämä nestefaasi alkaa penetroitumaan pohjapaperiin ja tämän seurauksena pohjapaperin ja päällystekerroksen rajapintaan muodostuu immobilisoitunut suodoskakkukerros. Immobilisoituneen kerroksen kuiva-ainepitoisuus nousee ja suodoskaku tiivistyy, koska pastan nestefaasi on penetroitunut pohjapaperiin. Tästä johtuen immobilisoitunut kerros aiheuttaa painehäviön veden tunkeutuessa tiiviin suodoskakun läpi pohjapaperiin. /9/



**Kuva 7** Päälystyspastan nestefaasin penetroituminen pohjapaperiin

Pastan vedenpoiston nopeuteen vaikuttaa ajavien voimien summa ja immobilisoidussa kerroksessa tapahtuva painehäviö. Vedenpoiston ajavina voimina toimivat pohjapaperin absorptiokyky ja ulkoinen paine. Painehäviö immobilisoidussa kerroksessa on riippuvainen pastan nestefaasin viskositeetista ja suodoskakun läpäisevyydestä. /9/

Nestefaasin viskositeetti on pääasiassa riippuvainen päällystyspastassa käytettävistä sideaineista ja sideainemääristä. Koska sideaineet ja sideainemäärät valitaan usein päällystetyn lopputuotteen laadun näkökulmasta, vesiretention

säätämiseen käytetään usein viskositeettia lisääviä aineita. Tällaisena paksuntajana voidaan käyttää esimerkiksi karboksyyliimetyyliselluloosa (CMC). Käytännössä vesirention kasvattamista paksuntajien avulla rajoittaa päällystyspastan viskositeetin liiallinen kasvu. Tehdasolosuhteissa paksuntajien vaikutus vesirentioon voidaan kuitenkin usein optimoida valitsemalla systeemi, jossa päällystyspastan ja pastan nestefaasin viskositeettien suhde on mahdollisimman alhainen. /3, 7, 9/

Suoduskakun läpäisevyyteen vaikuttavat pastassa käytettävät pigmentit ja pigmenttien pakkautumistiheys suoduskakun muodostuessa. Levymäisistä pigmenteistä ja pienen hiukkaskoon partikkeleista muodostuu tiheämpi immobilisoituneen kerroksen rakenne kuin pallomaisista pigmenteistä ja suuren hiukkaskoon partikkeleista. Esimerkiksi kaoliinipartikkelit muodostavat tiheämmän kerroksen kuin kalsiumkarbonaattipartikkelit ja täten painehäviö immobilisoidussa kerroksessa on suurempi ja tämän seurauksena vesirentio parempi. Pigmenttien pakkautumistiheyteen vaikuttaa pigmenttityypin lisäksi kolloidinen vuorovaikutus päällysteen tiivistyessä. Pigmenttien riittämätön dispergoituminen, voimakkaasti vuorovaikuttavat sideaineet tai pastan sähköstaattinen epävakaus voi tämän vuoksi johtaa alhaiseen vesirentioon. Jotkut näistä kolloidisista vuorovaikutuksista ovat leikkausherkkiä ja eivät täten välttämättä vaikuta vesirentioon päällystysprosessin dynaamisissa olosuhteissa. /4, 9/

### 4.3 Vesirention mittaaminen eri menetelmillä

Vesirention mittaamenetelmät voidaan jaotella staattisiin ja dynaamisiin menetelmiin sekä mitattavan ominaisuuden perusteella suoriin ja epäsuoriin menetelmiin. Dynaamisissa menetelmissä päällystyspasta on liikkeessä mittauksen aikana. Staattisissa menetelmissä pasta ei ole liikkeessä, eikä pastaan täten kohdistu leikkausvoimia mittauksen aikana. Suorissa staattisissa menetelmissä määritetään päällystyspastasta pohjapaperiin penetroituneen nestefaasin määrä yleensä gravimetrisesti. Suorat staattiset menetelmät perustuvat päällystyspastan suodattamiseen ulkoisen paineen vaikutuksen alaisena. Epäsuorat staattiset

menetelmät mittaavat muita ominaisuuksia, joista heijastuu pohjapaperiin penetroituneen nestefaasin määrä. Epäsuorissa staattisissa menetelmissä mitattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi sähkönjohtokyky, ultraäänen läpäisy, pinnan kiilto ja pastan viskositeetti. Dynaamiset epäsuorat menetelmät perustuvat useimmiten pastan kuiva-ainepitoisuuden nousun mittaamiseen tai erityyppisiin raaputuskokeisiin laboratorio- tai pilot-päällystyskoneilla tapahtuvien koeajojen aikana. Suorissa dynaamisissa menetelmissä määritetään leikkausvoimien vallitessa, virtaavissa olosuhteissa, pohjapaperiin tunkeutuvan nestefaasin määrä gravimetrisesti. /9/

Epäsuoria staattisia menetelmiä vesiretention määrittämiseksi on useita. Yksi tunnetuimmista menetelmistä on S.D. Warren menetelmä. Tämä menetelmä perustuu päällystyspastan kanssa kosketuksissa olevan pohjapaperin sähkönjohtokyvyn mittaamiseen. Sähkönjohtokyky nousee nestefaasin siirtyessä pohjapaperiin. Menetelmän heikkoutena on, että päällystyspasta, joilla on eri elektrolyyttipitoisuus, ei voida verrata keskenään. S.D. Warren menetelmä on kuitenkin suosittu, koska se on nopea ja yksinkertainen. Toinen tunnettu epäsuora staattinen menetelmä on BASF:n kehittämä optiseen mittaukseen perustuva menetelmä. Menetelmässä päällystyspasta värjätään vesiliukoisella väriaineella ja värjätty pasta tuodaan suodatinpaperin pinnalle. Värjätyn pastan värillinen nestefaasi penetroituu suodatinpaperiin. Tämän seurauksena suodatinpaperin valon remissio alenee. Vesiretention määrittäminen perustuu aikaan, joka kuluu, kun suodatinpaperin valon remissio laskee 40 %:iin. /7/

Hyvin yleisesti käytössä oleva suora staattinen menetelmä vesiretention määrittämiseen on Åbo Akademin kehittämä ÅA-GWR-laite. Tässä menetelmässä pastan nestefaasi siirtyy kalvon läpi imukartonkiin tai pohjapaperiin ja nestefaasin määrä määritetään punnitsemalla imukartonki. Pastan vesiretention määrittäminen imukartonkiin vakiopaineessa ja määrättyä aikaa siirtyneen nestefaasin perusteella ja tulos ilmoitetaan grammoina neliometriä kohti. Määrittäminen voidaan säätää välillä 0-2 bar ja määritys aika voidaan säätää halutuksi. Määrittäminen on yleensä melko pitkä (esimerkiksi 90 s). Koska ÅA-GWR-laitteen vesiretention määrittäminen tapahtuu staattisesti, menetelmä ei huomioi leikkausvoimien vaikutusta pastan vesiretention. /13, 14/

Dynaamisen vesiretention määrittämiseen epäsuorasti on kehitetty useita menetelmiä eri yrityksissä. Yksi tällainen vesiretention mittaamenetelmä perustuu ultraääneen. Kun nestefaasi penetroiduu pohjapaperiin, se syrjäyttää pohjapaperin sisältämää ilmaa. Koska ultraääni etenee eri tavalla ilmaa sisältävässä kuivassa paperissa kuin nestefaasin kostuttamassa märässä paperissa, vakio ultraäänisignaali muuttuu kun pastan nestefaasi penetroiduu pohjapaperiin. Ultraäänisignaalin muutoksesta voidaan päätellä pohjapaperiin penetroituneen nesteen määrä. /7/

Yksi epäsuora dynaamisen vesiretention mittaamenetelmä perustuu havaintoon, että pastan kulkiessa kapillaarin läpi, pastan kuiva-ainepitoisuuden muutosnopeus voi kehittyä tietyissä tapauksissa. Tämä vuorostaan aiheuttaa vesikehän kapillaarin seinämään. Virtaus kapillaarin läpi on sen vuoksi suurempi kuin mitä voidaan selittää paine-erolla tai muilla tekijöillä. Tämän luiston vaikutus voidaan mitata ja sen on osoitettu olevan suoraan verrannollinen pastan vesiretention. Suuri luisto tarkoittaa, että pastasta vapautuu vettä helposti eli pastan vesiretention on heikko. /2/

Epäsuoraan dynaamisen vesiretention määrittämiseen voidaan käyttää myös menetelmää, jossa märkä päällystekerros raaputetaan pois pohjapaperin pinnasta välittömästi kaavausterän jälkeen. Immobilisoituneen kerroksen tiheydestä voidaan päätellä pastasta pohjapaperiin penetroituneen nestefaasin määrä. Täten menetelmällä voidaan määrittää pastan vesiretention leikkausvoimien vaikutuksen alaisuudessa. /7/

Yksi epäsuora dynaaminen menetelmä perustuu tarkoitusta varten muunnettuun reometriin, jolla voidaan kuvata pastan immobilisoitumista ja vesiretention. Menetelmällä on mahdollista penetroida vettä päällystyspastasta pohjapaperiin leikkausvoimien ja painetekijöiden vallitessa. /7/

Dynaamista vesiretention määrittämistä voidaan määrittää myös menetelmällä, joka perustuu päällystyspastan kuiva-ainepitoisuuden muutoksen seurantaan laboriopiällystyskoneilla. Tätä menetelmää voidaan käyttää eri tyyppisillä laboriopiällystyskoneilla, esimerkiksi Helicoater-laboriopiällystyskoneella. Menetelmässä otetaan näytteitä päällystyspastasta

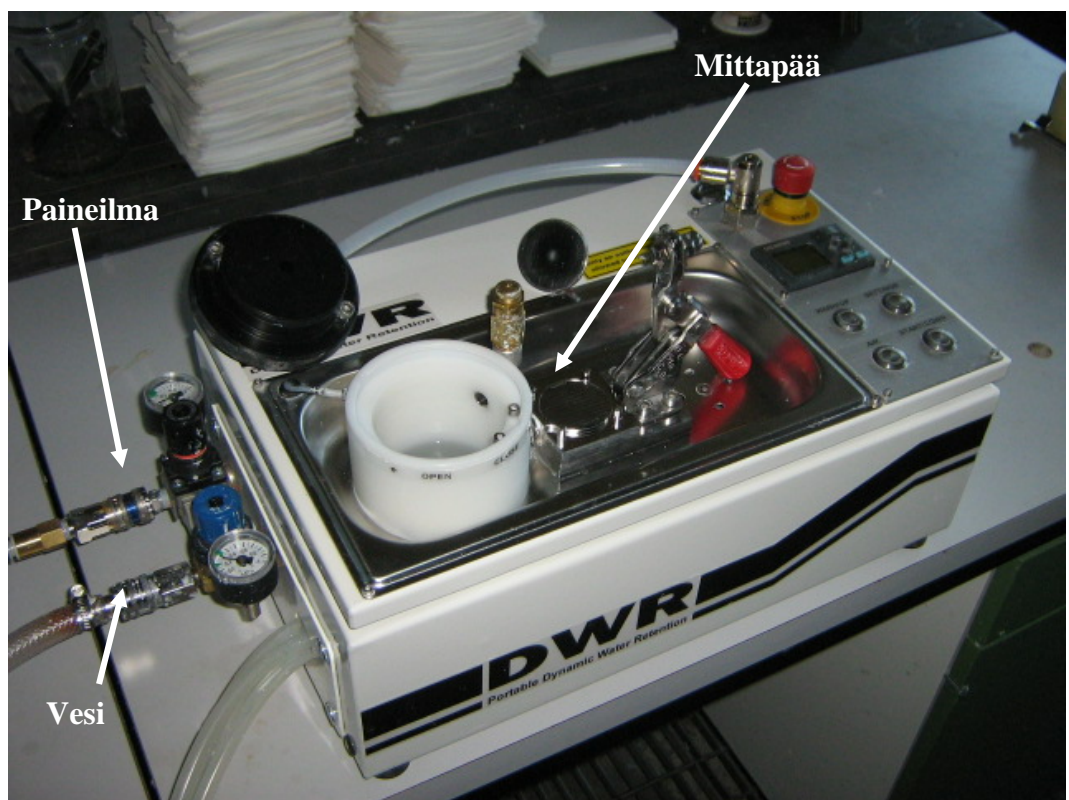
koeajon aikana ja näytteiden kuiva-ainepitoisuus määritetään. Kuiva-ainepitoisuuden muutoksen perusteella voidaan määrittää pastasta pohjapaperiin penetroituneen nestefaasin määrä ja täten pastan vesiretentio. Tämä on yksinkertainen, mutta Helicoateria käytettäessä melko paljon aikaa vievä menetelmä, koska Helicoaterilla ei voi päällystää paperirataa vaan jokaisen näytteenoton välissä on vaihdettava laitteeseen uusi pohjapaperiarkki. Menetelmä on myös herkkä päällystemäärän muutoksille. Päällystemäärä onkin pidettävä vakiona koko koeajon ajan ja päällystemäärän tulisi olla mahdollisimman alhainen. Menetelmää voidaan käyttää eri laboratoriopäällystyskoneilla ja päällystysolosuhteita voidaan muuttaa laboratoriopäällystyskoneesta riippuen eri tavoilla. /7/

Suoria dynaamisia menetelmiä vesiretention määrittämiseen edustavat ACA Systems Oy:n kehittämät DWR-laitteet. DWR-mittalaite on saatavissa lisälaitteena ACA Systemsin ACAV-viskosimetreihin ja erillisenä kannettavana versiona eli Portable DWR-laitteena. Tässä opinnäytetyössä on käytetty ACA Systemsin valmistamaa Portable DWR-laitetta, tästä laitteesta on kerrottu tarkemmin luvussa 5. Vesiretention määrittäminen ACAV-viskosimetreihin saatavalla DWR-lisälaitteella tapahtuu samalla periaatteella kuin luvussa 5 kuvatulla Portable DWR-laitteella.

## 5 PDWR-LAITE

Portable DWR eli PDWR-laite on ACA Systems Oy:n kehittämä siirrettävä laite dynaamisen vesiretention mittaamiseen. PDWR-laite (kuva 8) on kompaktin kokoinen mittalaite, joka voidaan helposti siirtää paikasta toiseen. Laite painaa 5 kg ja laitteen mitat ovat 530 x 330 x 280 mm. Toimiakseen laite tarvitsee vesi- ja paineilmaaliitännät ja virtalähteen (230 V). Laite soveltuu erinomaisesti käytettäväksi tehdasolosuhteissa. /12/

PDWR-laite simuloi paperi päällystyksessä esiintyviä dynaamisia ja staattisia olosuhteita. Laitteen mittauspaine on säädettävissä välillä 0,5 – 2,0 bar. Myös mittausaika on säädettävissä. Laitteella on mahdollista tutkia itse päällystyspastan ominaisuuksien vaikutusta vesiretention ja tämän lisäksi laitteella on mahdollista tutkia pohjapaperin ominaisuuksien vaikutusta vesiretention.



**Kuva 8** ACA Systemsin Portable DWR -laite



Dynaamisen vesiretention mittaaminen PDWR-laitteella on nopeaa ja yksinkertaista. Aluksi mittalaite kalibroidaan vedellä ja säädetään haluttu mittausaika ja paine. Tämän jälkeen pastanäyte kaadetaan pastanäytesäiliöön (kuva 9). Tämän jälkeen pohjapaperinäyte punnitaan ja asetetaan mittapähän (kuva 8) yhdessä suodatinkalvon kanssa, kuvassa 9 esitetyllä tavalla. Suodatinkalvona käytetään Milliporen ISOPORE Membrane Filter-kalvoa. Seuraavaksi mittapään ja pastanäytesäiliön kannot suljetaan ja mittaus käynnistetään. Lopuksi pohjapaperinäyte punnitaan ja punnitustulosten perusteella lasketaan vesiretentioarvo. Mittauksen jälkeen laite puhdistetaan automaattisen puhdistus-sekvenssin avulla.



**Kuva 9** Portable DWR -laitteen pastanäytesäiliö ja mittapää

## 6 TYÖN SUORITUS

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

### 6.1 Mittausjakso Tehtaalla A

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

1- ja 2-asettien pastan konekiertojen pastanäytteet otettiin konekierron konesäiliöistä. Varastosäiliön pastanäytteet otettiin kolmen tunnin välein varastosäiliöstä E5. Näytteet otettiin kaikista mittauspisteistä näyttekauhalla. Näytteiden lämpötila ja kuiva-ainepitoisuus mitattiin välittömästi näytteenoton jälkeen. Tämän jälkeen pastanäytteet sihdattiin sihtipussin avulla. Pohjapaperista leikattiin pohjapaperinäytteet tarkoitukseen suunnitellulla leikkurilla. Tämän jälkeen pohjapaperinäytteet punnittiin ja vesiretentiomittaukset suoritettiin PDWR-laitteella luvussa 5 kuvatulla tavalla.

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

## 6.2 Mittausjakso Tehtaalla B

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

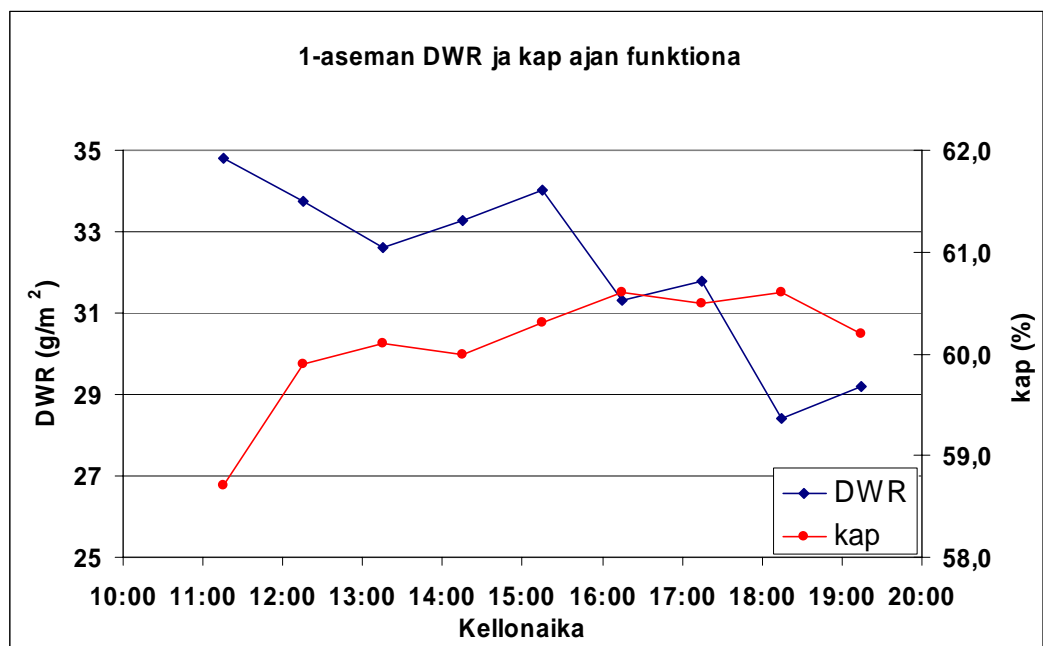
Tehtaalla B tehtiin mittausjakson aikana muutoksia pastareseptiin, joilla selvitettiin eri pastakomponenttien vaikutusta pastan dynaamiseen vesirentioon. Ensimmäisenä mittauspäivänä tutkittiin sideaineen 3 vaikutusta vesirentioon. Seuraavana päivänä tutkittiin pigmenttien 2 ja 3 osuuden muutoksen vaikutusta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

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

## 7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

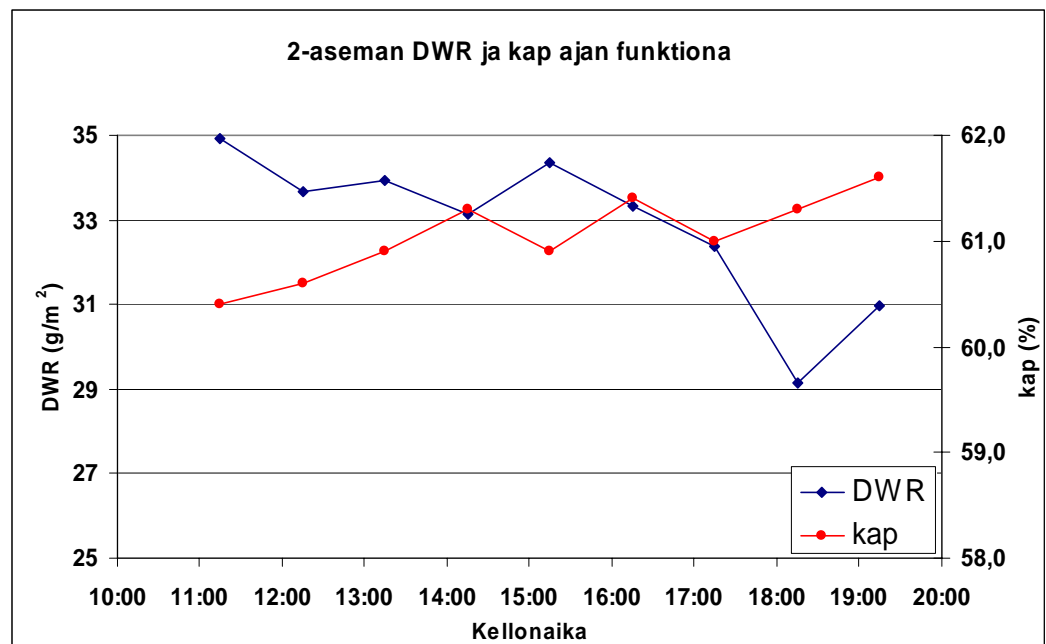
### 7.1 Tehtaan A tulosten tarkastelu

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty 1-aseman ja 2-aseman pastojen dynaamiset vesiretentiot ja kuiva-ainepitoisuudet eri mittausajankohtina. Kuvista on havaittavissa yleisellä tasolla, että kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa vesiretentioarvo pienenee eli vesiretentio paranee. Koska kuiva-ainepitoisuuden muutos on pienehkö, muutokset vesiretentiossa mittausajankohtien välillä ovat melko lieviä ja täten mittausvirheen osuus muutoksesta on suuri.



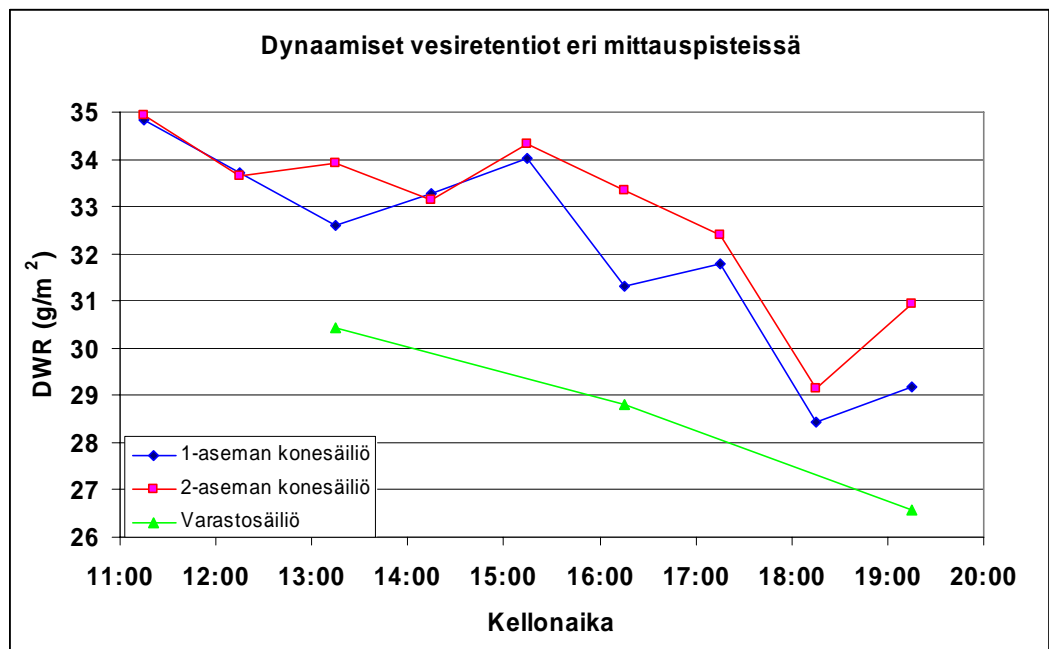
**Kuva 10** 1-aseman dynaaminen vesiretentio ja kuiva-ainepitoisuus ajan funktiona

Kuten kuvista 10 ja 11 on havaittavissa, 2-aseman kuiva-ainepitoisuus on koko mittausjakson ajan korkeammalla tasolla kuin 1-aseman kuiva-ainepitoisuus. Pastakeittiön tavoitekuiva-ainepitoisuus oli mittausjakson aikana 57,0 %. Kuten kuvista 10 ja 11 on nähtävissä, todelliset kuiva-ainepitoisuudet asemien konekierroissa ovat korkeammat kuin pastakeittiön tavoitekuiva-ainepitoisuus.



**Kuva 11** 2-aseman dynaaminen vesiretentio ja kuiva-ainepitoisuus ajan funktiona

Kuvassa 12 on esitetty eri mittauspisteiden dynaamiset vesiretentiot eri mittausajankohtina. Mittausjakson aikana on havaittavissa laskeva trendi dynaamisissa vesiretentioarvoissa. Varastosäiliön pastan vesiretentioarvo on laskenut mittausjakson aikana selkeästi, tämän seurauksena myös asemien vesiretentioarvot ovat laskeneet. Varastosäiliön vesiretentioarvo on selkeästi alemmalla tasolla kuin asemien vesiretentioarvot.

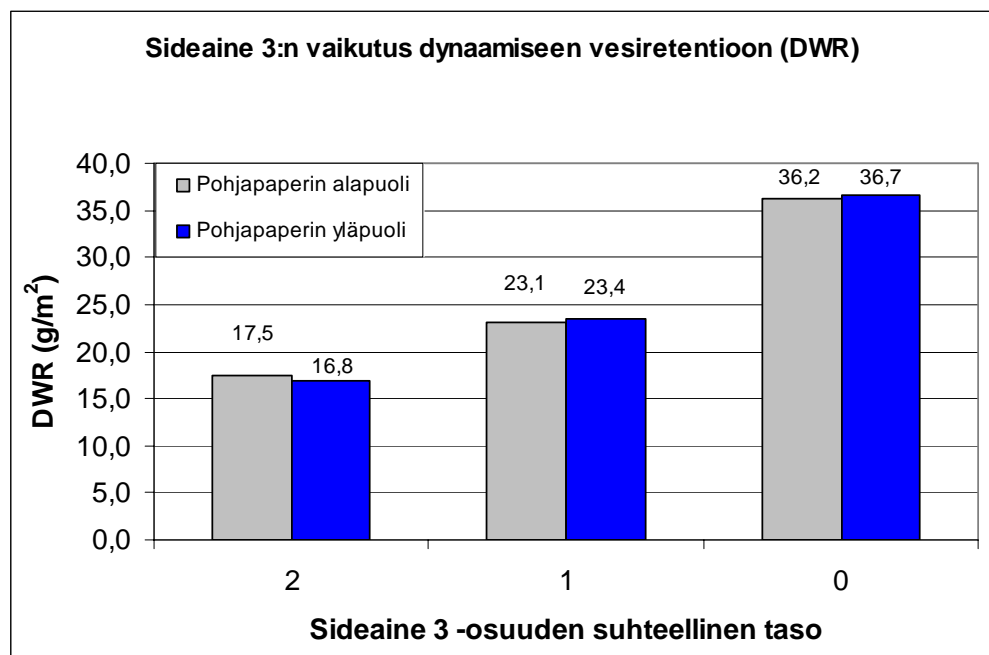


**Kuva 12** Dynaamiset vesiretentiot ajan funktiona kussakin mittauspisteessä

## 7.2 Tehtaan B tulosten tarkastelu

### 7.2.1 Sideaine 3-osuuden vaikutus vesiretentioon

25.3.2008 tutkittiin sideaine 3- osuuden vaikutusta pastan vesiretentioon. Kuvasta 13 on selkeästi havaittavissa sideaine 3- osuuden muutoksen vaikutus pastan dynaamiseen vesiretentioon. Alkuperäisenä referenssinä käytettiin tehtaalla käytössä olevan pastareseptin sideaine 3- osuutta, joka oli suhteellisella tasolla 2. Kuvasta 13 on myös havaittavissa, että mittaustulosten perusteella ei pystytä toteamaan eroja paperin ala- ja yläpuolien vesiretentioarvoissa. Kuvasta 13 voidaan todeta, että sideaine 3:n vähentäminen kasvattaa päällystyspastan vesiretentioarvoa eli vesiretentio heikkenee.

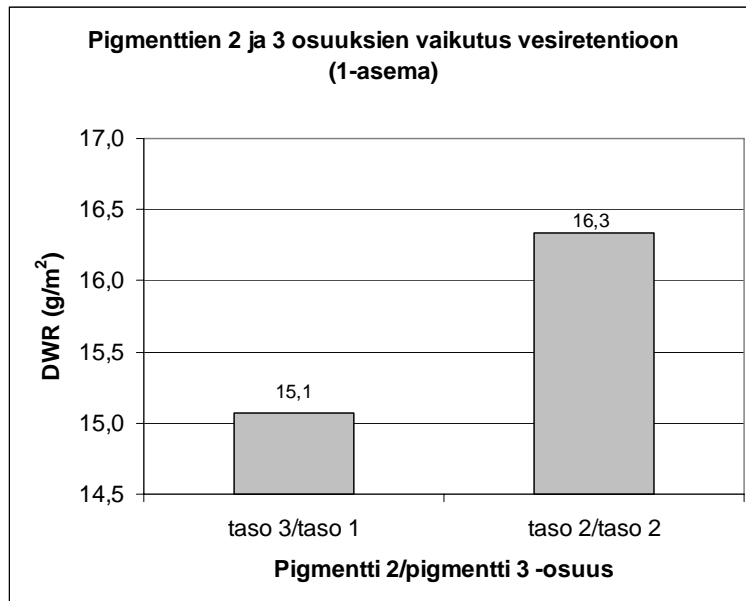


**Kuva 13** Sideaine 3-osuuden vaikutus dynaamiseen vesiretentioon

### 7.2.2 Pigmenttien 2 ja 3 vaikutus vesiretentioon

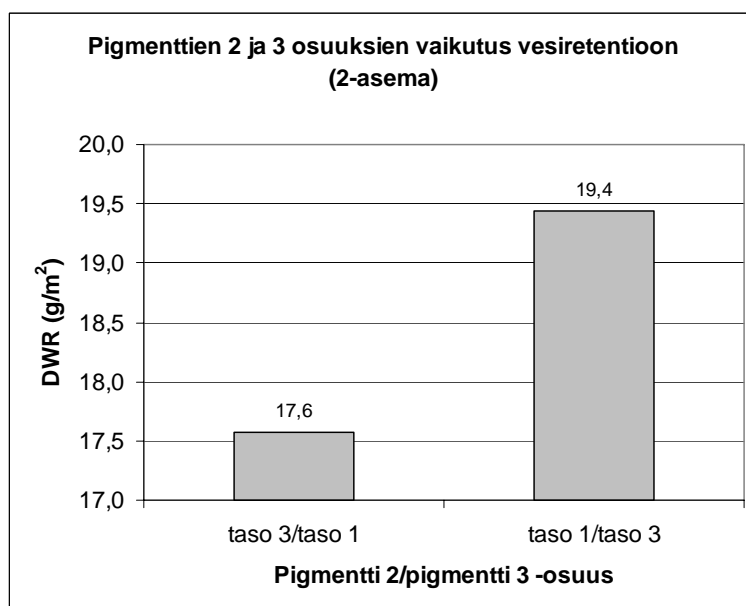
Tässä osiossa tutkittiin pigmenttien 2 ja 3 vaikutusta pastan vesiretentioon. Koeajossa muutettiin pigmenttien 2 ja 3 - osuuksia päällystyspastassa, pigmenttien 2 ja 3 kokonaisuuden kuitenkin ollessa vakio. Kuvassa 14 on esitetty 1- aseman pastan vesiretentioarvossa tapahtunut muutos, kun pigmenttien 2 ja 3 osuuksia on muutettu. Pigmentti 2- osuutta on pienennetty ja pigmentti 3- osuutta on kasvatettu.

Pigmentti 2- osuuden pienentäminen ja Pigmentti 3- osuuden nostaminen kasvattaa pastan vesiretentioarvoa hieman eli vesiretentio heikkenee.



**Kuva 14** Pigmenttien 2 ja 3 vaikutus vesiretentioon (1-asema)

2- asemalla pigmentti 2- osuutta laskettiin hieman enemmän ja vastaavasti pigmentti 3- osuutta kasvatettiin saman verran. Kuvassa 15 on havaittavissa, että pigmentti 2- osuuden vähentäminen ja pigmentti 3- osuuden nostaminen kasvattaa selkeästi vesiretentioarvoa eli vesiretentio heikkenee.

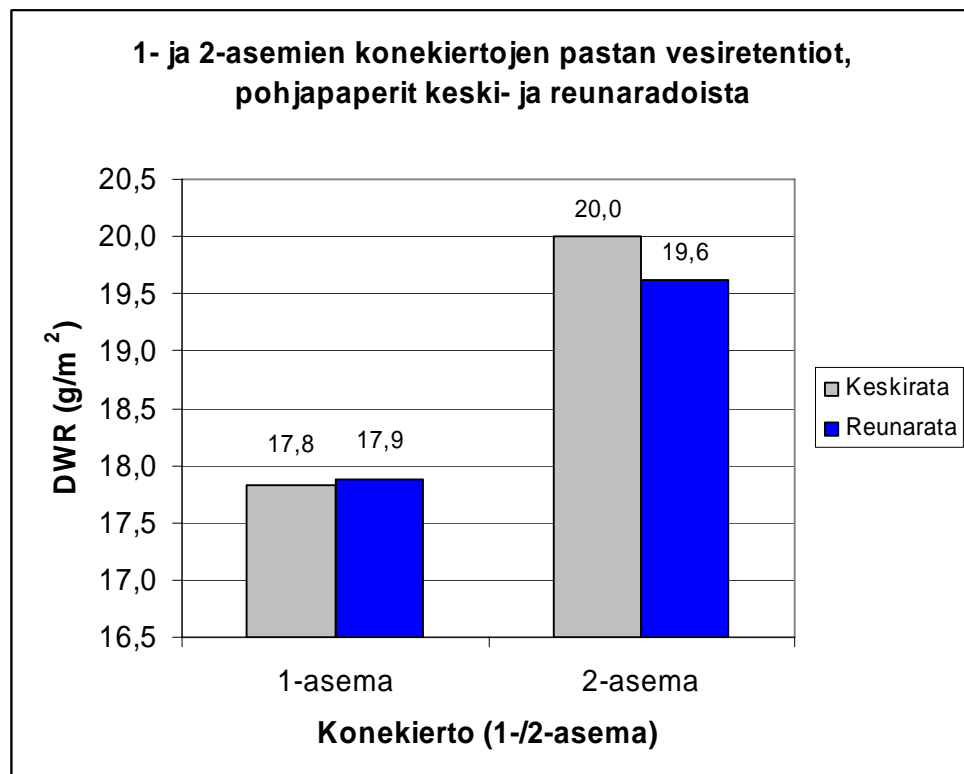


**Kuva 15** Pigmenttien 2 ja 3-osuuden vaikutus vesiretentioon (2-asema)



### 7.2.3 Konekiertojen vesiretentiot

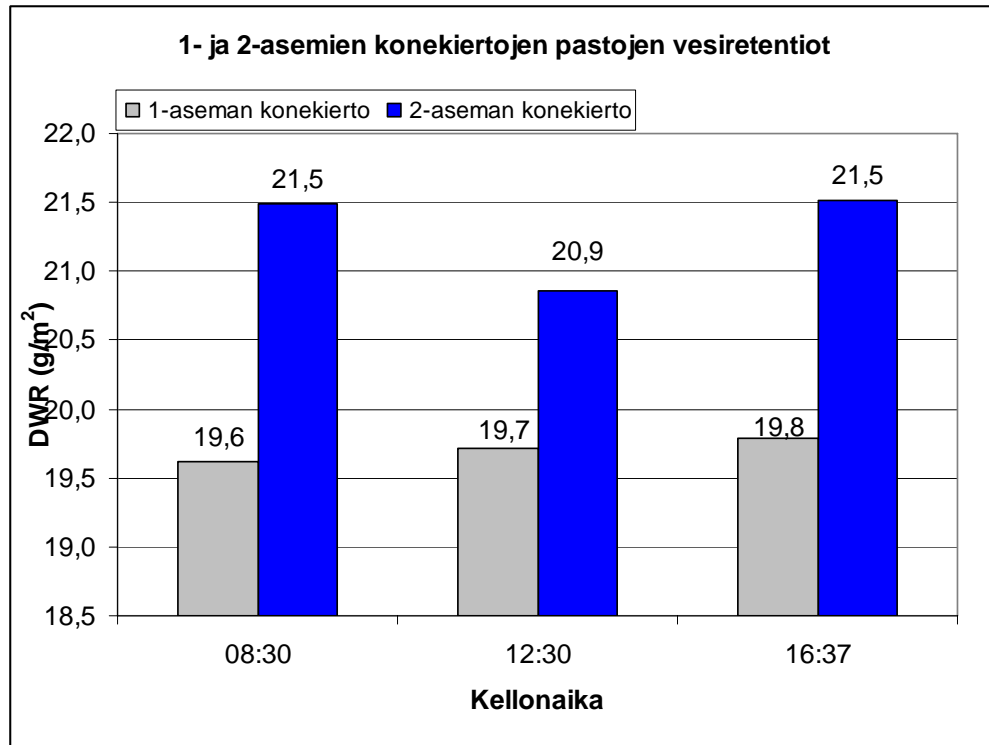
Konekiertojen vesiretentioneita tutkittiin ottamalla näytteitä 1- ja 2- asemien konekiertoista 26. ja 27. maaliskuuta 2008. Samalla tutkittiin myös pohjapaperin keski- ja reunaradan välistä eroa vesiretention suhteen. Kuvasta 16 on nähtävissä selkeä ero 1- ja 2- asemien välillä pastan vesiretentioneissa. Keskiradan ja reunaradan välillä ei ole havaittavaa eroa.



**Kuva 16** 1- ja 2- asemien konekiertojen pastojen vesiretentiot, pohjapaperina keski- ja reunaratanäytteet

Kuvasta 17 on havaittavissa jälleen ero 1- ja 2- asemien välillä pastojen vesiretentioneissa. Mittausjaksojen aikana 1- ja 2- asemien konekiertojen pastojen kuiva-ainepitoisuudet poikkesivat hieman toisistaan, 1- aseman pastan kuiva-ainepitoisuuden ollessa jatkuvasti noin 1 % - yksikön korkeampi kuin 2- aseman. Tämä selittää osaltaan eroa 1- ja 2- asemien konekiertojen pastojen vesiretentioneissa. Mittaustuloksista voidaan myös todeta, että konekiertojen pastojen vesiretentiot säilyvät samalla tasolla koko mittausjakson ajan, pastaeriin

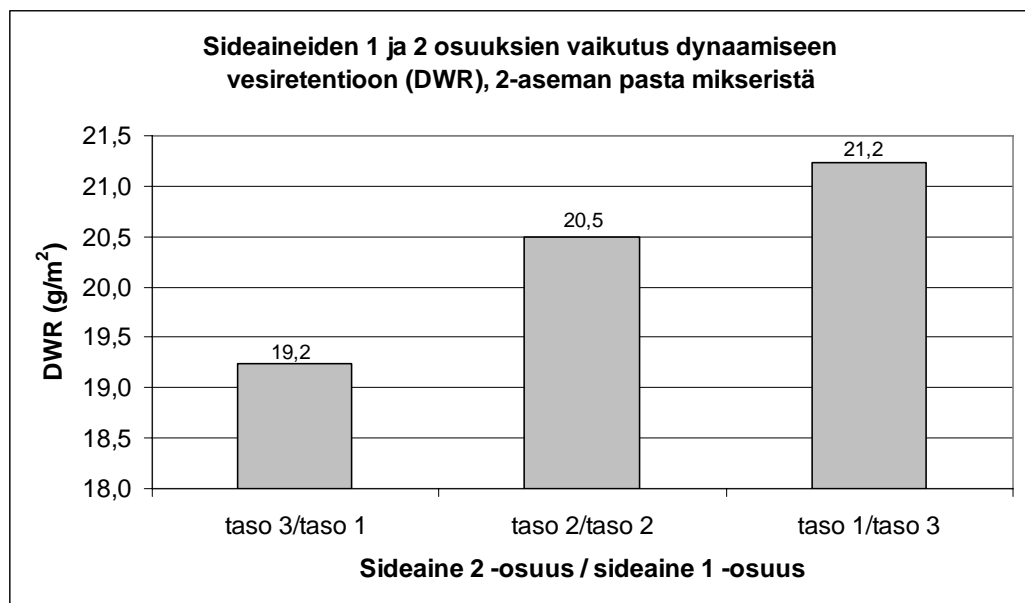
tehdystä muutoksista huolimatta. Kuvan 17 mittaustulokset on mitattu 27.3.2008, jolloin tehtiin muutoksia sideaine 1 ja 2- osuuteen ja pigmentti 1 ja 3- osuuteen.



**Kuva 17** 1- ja 2-asemien konekiertojen pastan vesiretentiot

#### 7.2.4 Sideaine 1 ja 2- osuuden vaikutus vesiretentioon

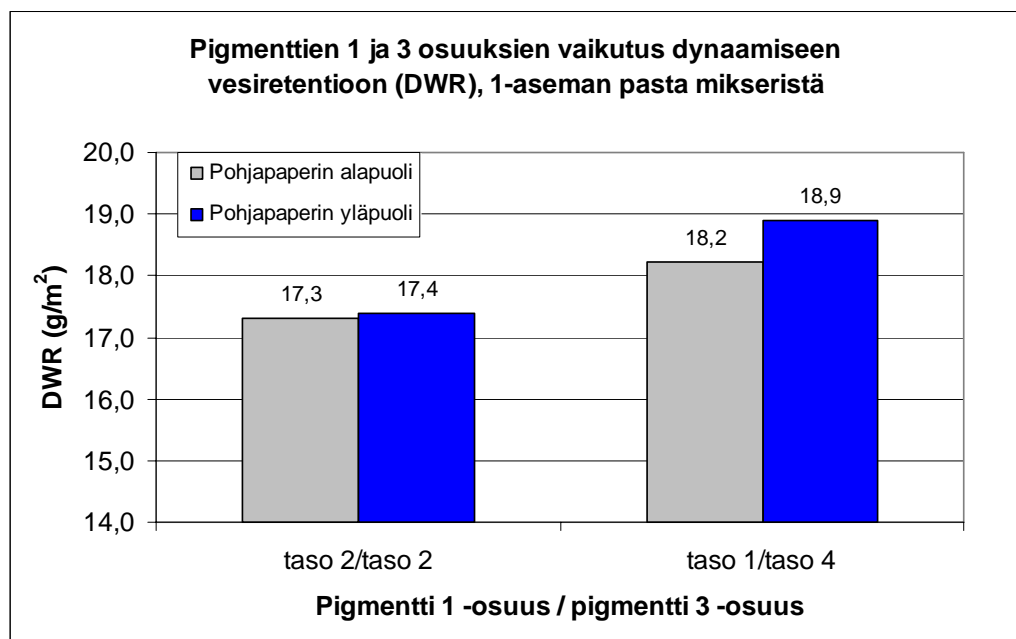
27.3.2008 tutkittiin sideaine 1 ja 2- osuuden vaikutusta pastan vesiretentioon. Koeajossa sideaine 2- osuutta pienennettiin ja sideaine 1- osuutta kasvatettiin kuvassa 18 esitettyjen tasojen mukaisesti. Kuvasta 18 voidaan todeta, että sideaine 2- osuuden pienentäminen ja sideaine 1- osuuden nostaminen kasvattaa vesiretentioarvoa eli vesiretentio huononee.



**Kuva 18** sideaine 1 ja 2-osuuden vaikutus vesiretentioon

### 7.2.5 Pigmentti 1 ja 3- osuuden vaikutus vesiretention

27.3.2008 suoritetuissa mittauksissa tutkittiin myös pigmentti 1/pigmentti 3 - osuuden vaikutusta pastan vesiretention. Pigmentti 1 -osuutta pienennettiin ja pigmentti 3- osuutta nostettiin. Mittaukset suoritettiin pohjapaperin ylä- ja alapuolilla. Kuvasta 19 on nähtävissä, että pigmentti 1 -osuuden vähentäminen ja pigmentti 3 -osuuden nostaminen kasvattaa pastan vesiretentionarvoa hieman eli vesiretention heikkenee. Kuvasta 19 voidaan myös havaita, että pohjapaperin ylä- ja alapuolen välillä ei ole merkittävää eroa pastan vesiretention suhteen.



**Kuva 19** Pigmenttien 1 ja 3-osuuden vaikutus vesiretention

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 8.1 Tehtaana A johtopäätökset

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

Tehtaalla A oli alun perin tarkoitus tutkia yhteyttä on-line-huokoisuuden ja dynaamisen vesirention välillä. Käytännön syistä käytössä oli kuitenkin vain yksi lajinvaihtotilanteessa ajettu pohjapaperinäyte. Pohjapaperista mitattu on-line-huokoisuus oli tasolla 1060 ml/min. Vertailunäytteiden puuttuessa, yhteyttä dynaamisen vesirention ja on-line-huokoisuuden välillä ei voitu osoittaa.

Jatkotoimenpiteinä suositellaan lisämittauksia tehtaalla A. Lisämittauksissa tulisi olla käytettävissä useita eri pohjapapereita, joista on mitattu on-line-huokoisuus. Lisämittauksista saadun datan perusteella voitaisiin vertailla eri huokoisuusalueen pohjapapereiden vaikutusta pastan dynaamiseen vesirentioon. Pidempiaikaisemmalla seurannalla voitaisiin myös tutkia pohjapaperin huokoisuuden vaihtelun vaikutusta pastan vesirentioon.

## 8.2 Tehtaan B johtopäätökset

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

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että sideaine 3:n vähentäminen kasvattaa päällystyspastan vesirentioarvoa eli pastan vesirentio heikkenee. Sideaine 3-osuuden puolittaminen alkuperäisestä osuudesta (taso 2) kasvattaa vesirentioarvoa noin 30 % ja sideaineen 3 poistaminen kokonaan kasvattaa vesirentioarvon yli kaksinkertaiseksi alkuperäiseen verrattuna.

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

Konekiertojen vesirentioita tutkittiin ottamalla näytteitä 1- ja 2-asemien konekiertoista. Mittaustulokset osoittavat, että 1-aseman pastan vesirentioarvo on noin 10 % alhaisempi kuin 2-aseman pastan vesirentioarvo. Mittaustuloksista voidaan myös todeta, että konekiertojen pastojen vesirentiot säilyvät samalla tasolla koko mittausjakson ajan, pastaeriin tehdyistä muutoksista huolimatta. Tämä selittyy sillä, että pastaeriin tehdyt muutokset eivät välittömästi vaikuta konekierron pastan koostumukseen.

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

Viimeisissä mittauksissa tutkittiin pigmenttien 1 ja 3 vaikutusta pastan vesirentioon. Pigmentin 1 osuutta pienennettiin ja pigmentin 3 osuutta kasvatettiin. Mittaukset osoittavat, että pigmentti 1-osuuden vähentäminen ja pigmentti 3-osuuden nostaminen kasvattaa hieman pastan vesirentioarvoa eli

vesiretentio heikkenee. Tuloksista selvisi myös, että pohjapaperin ylä- ja alapuolen välillä ei tämän tutkimuksen perusteella voida havaita eroa vesirentention suhteen.

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

### 8.3 Johtopäätökset ACA Systemsin PDWR-laitteesta

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

## LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

- 1 Arjas, Antti (toim.), Suomen Paperi-insinööriyhdistyksen oppi- ja käsikirja III, Paperin valmistus, osa 2, 2. täysin uudistettu painos. Oy Turun Sanomat/Serioffset. Turku 1983.
- 2 Eklund, Dan, Teollisuuden keskuslaboratorion tiedonantoja, High-solids coating colors. Rheology and water retention. The Finnish Pulp and Paper Research Institute. 1979.
- 3 Häggblom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka, Kemiallinen metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin valmistus. 3. tarkistettu painos. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 2003.
- 4 Lamminmäki, Taina, Päällystystekniikka, Puu-21.106 Luentomoniste, Otaniemi 1995.
- 5 Linnonmaa, Jukka – Trefz, Michael, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Chapter 24, Pigment coating techniques. Fapet Oy. Helsinki 2000.
- 6 Mäkinen, Martti, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Chapter 22, Coating color preparation. Fapet Oy. Helsinki 2000.
- 7 Pitkänen, Maija – Rutanen, Anne, A Helicoater method for dynamic water retention. Paperi ja Puu – Paper and Timber, Vol.83/No.1/2001, s. 42–44.
- 8 Roper, John, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Chapter 31, Rheology of pigment slurries and coating formulations. Fapet Oy. Helsinki 2000.
- 9 Salminen, Pekka – Toivakka, Martti, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Chapter 32, Consolidation of coating layer. Fapet Oy. Helsinki 2000.
- 10 Suutari, Päivi, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Chapter 35, Quality control. Fapet Oy. Helsinki 2000.



Sähköiset lähteet

- 11 ACA Systems Oy. [www-sivu]. [viitattu 13.5.2008] Saatavissa: <http://www.aca.fi/>
- 12 DWR – Portable Dynamic Water Retention Analyzer. [sähköinen dokumentti]. [viitattu 13.5.2008].
- 13 Kaltec Scientific, Inc. [www-sivu]. [viitattu 15.4.2008] Saatavissa: <http://kaltecsci.com/products/gwrs/gwr.html>
- 14 Keskuslaboratorio Oy, KCL. [www-sivu]. [viitattu 15.4.2008] Saatavissa: [http://www.kcl.fi/page.php?page\\_id=272](http://www.kcl.fi/page.php?page_id=272)
- 15 KnowPap 9.0. Paperitekniikan, paperitehtaan automaation ja prosessinhallinnan oppimisympäristö.
- 16 Metso Paper Oy. [www-sivu]. [viitattu 13.5.2008] Saatavissa: <http://www.metsopaper.com/MP/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-030410-2256C-0562C>