

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Tutkintotyö

Maija Annila

PÄÄLLYSTEEN REOLOGIAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2006

DI Arto Nikkilä
UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari, DI Jukka Kivivasara

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Annala, Maija

Tutkintotyö

70 sivua

Työn ohjaaja

DI Arto Nikkilä

Työn teettäjä

UPM-Kymmene Oyj Tervasaari, valvojana DI Jukka Kivivasara

Kesäkuu 2006

Hakusanat

pintaliimaus, päällystyspasta, reologia, vesiretentio, viskositeetti

TIIVISTELMÄ

Päättötyön tarkoituksena oli esittää perustietämystä reologiasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Työssä tutkittiin neljän Tervasaaresta noudetun pintaliiman sekä neljän reseptin mukaan valmistetun pintaliiman reologiaa mittaamalla liimojen viskositeetit ja vesiretentiot. Päällysteen reologia vaikuttaa vesiretention kanssa mm. päällystyspastaan käyttäytymiseen konekierrossa, pastaan ajettavuuteen päällystyslaitteella, päällystemäärän hallintaan sekä päällysteen rakenteeseen ja laatuun. Päällysteen reologian tunteminen on siten hyvin tärkeää optimoitaessa pintaliimoja sekä kehitettäessä uusia reseptejä.

Päällysteen reologiaa voidaan arvioida viskositeetti- ja vesiretentiomittauksilla. Viskositeettimittauksissa keskityttiin korkean leikkausnopeuden viskositeettiin, sillä ne korreloivat parhaiten päällystysprosessin todellisia olosuhteita. Mittaukset suoritettiin ACAV A4 ja A2 -laitteilla. Vesiretentiot mitattiin sekä staattisella (Åbo Akademi -gravimetric water retention) että dynaamisella (ACAV A4 DWR) menetelmällä. Kolmesta liimasta määritettiin myös venymäviskositeetti ACAV A2 -laitteella.

Mittauksista ACAV A2:lla saadut tulokset osoittautuivat hyödyllisemmiksi arvioitaessa pintaliimojen reologista käyttäytymistä korkeilla leikkausnopeuksilla. ACAV A4 -laitteella tehdyistä viskositeettimittauksista ei voinut päätellä pintaliimojen käyttäytymistä pintaliimausprosessissa, mutta liimojen viskositeettitasojen vertailu oli mahdollista. Tulosten tulkinnan perusteella löydettiin mahdollisia ratkaisuja ajo-ongelmien vähentämiseen sekä reseptien kehittämiseen.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical engineering

Annala, Maija

Engineering Thesis 70 pages

Thesis Supervisor Arto Nikkilä (M.Sc.)

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

June 2006

Keywords coating colour, rheology, surface sizing, viscosity, water retention

ABSTRACT

Target of this study was to describe the rheology of coating colours and the matters affecting it. The rheology of four coating colours used in Tervasaari and four recipes were studied by measuring their viscosities and water retentions. It's important to know the rheological behaviour of coating colour since it affects along with water retention to runnability of coater, control of target coat weight and quality and structure of coating. Rheology can be estimated by measuring viscosity and water retention of the coating colour.

Measurements of high shear rate viscosity were done with ACAV A2 and ACAV A4 devices. Water retentions were measured with both static (Åbo Akademi - gravimetric water retention) and dynamic (ACAV A4 DWR) method. Extensional viscosity was measured from three coating colours with ACAV A2.

The measurement done with ACAV A2 turned out to be more useful when the rheological behaviour of coating colours in high shear rates was estimated. The measurements done with ACAV A4 don't express the rheological behaviour in high shear rates, but they can be used when comparing viscosity levels of coating colours. There were some conclusions found to runnability problems and development of recipes with interpretation of results.

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
KIRJALLINEN OSA	5
1 JOHDANTO	5
2 TAUSTATIETOA	6
2.1 Tervasaari	6
2.2 Tarran taustapaperi	7
3 PINTALIIMAUS	8
3.1 Yleistä	8
3.2 Päällystypastan pääkomponentit	9
3.3 Pintaliimaukseen vaikuttavat tekijät	11
3.4 Filmiliimapuristin	12
3.4.1 Toimintaperiaate	12
3.4.2 Filmin muodostaminen applikointitelan pinnalle	13
3.4.3 Filminsiirtopäällystyksessä esiintyviä ongelmia	15
4 PÄÄLLYSTEEN REOLOGIA	24
4.1 Viskositeetti	24
4.2 Viskoelastisuus	27
4.3 Venymäviskositeetti	28
4.4 Vesiretentio	30
5 PÄÄLLYSTEKOMPONENTTIEN REOLOGISET OMINAISUUDET	32
5.1 Kaoliini	32
5.2 Kalsiumkarbonaatti	33
5.3 Lateksit	33
5.4 Polyvinyylialkoholi (PVA)	35
5.5 Tärkkelys	36
5.6 Karboksimeetyyliselluloosa (CMC)	36
5.7 Hydroksietyyliiselluloosa (HEC)	38
6 REOLOGIAN MITTAAMINEN	39
6.1 Brookfield-viskosimetri	40
6.2 Rotaatioviskosimetrit	40
6.3 Kapillaariviskosimetrit	41
6.4 Slit-viskosimetrit	42
6.5 Vesirentiomittarit	44
7 REOLOGIAMITTAUSTEN TULKINTA	45
KOKEELLINEN OSA	48
8 TYÖN TAUSTA JA TARKOITUS	48
9 TYÖN SUORITUS JA MITTAUSMENETELMÄT	48
9.1 Tutkitut pintaliimat	48
9.2 Vesirentiomittaukset	49
9.3 Viskositeettimittaukset	51
10 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	53
10.1 Vesiretentio	53
10.2 Kapillaariviskositeetti	54
10.3 Slit-viskositeetti	60
10.4 Venymäviskositeetti	63
10.5 Pintaliiman vanhennuskoe	64
11 VIRHEARVIOINTI	66
12 JOHTOPÄÄTÖKSET	67
LÄHTEET	69

KIRJALLINEN OSA

1 JOHDANTO

Työ suoritettiin UPM Kymmene Oyj:n Tervasaaren tehtaalle. Paperikoneilla, joille työ suoritettiin, valmistetaan tarran taustapaperia, jota kutsutaan myös irroke- tai release-paperiksi. Tarran taustapaperi on valmistettu kemiallisesta massasta, sen toinen puoli on pintaliimattu ja se on voimakkaasti superkalanteroitu.

Pintaliimauksen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman yhtenäinen ja tiivis filmi paperin pintaan, jonka tehtävänä on tarjota hyvä alusta pinnan silikoinnille jatkojalostuksessa. Pintaliiman reologiset ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka hyvä peitto pintaliimauksessa on saavutettavissa. Niillä on myös suora vaikutus pintaliiman ajettavuuteen. Pintaliiman reologiaa voidaan arvioida monimutkaisilla mittauksilla, joista luotettavin on korkean leikkausnopeuden viskositeetti.

Tämän työn tavoitteena oli tarjota perustietämystä tehtaalla käytössä olevista pintaliimoista sekä arvioida joidenkin uusien eri kehitysvaiheessa olevien pintaliimareseptien ja aineiden vaikutusta pintaliiman reologiaan. Uusien reseptien onnistunut säätäminen mm. ajettavuuden kannalta vaatii tietoa pintaliimojen reologisista ominaisuuksista. Reologian tuntemisen avulla voidaan myös löytää ratkaisuja käytössä olevien pintaliimojen ajettavuusongelmiin.

Työ jakaantuu kahteen osaan: kirjalliseen ja kokeelliseen. Kirjallinen osa tarjoaa perustietämystä päällystyksen reologiasta, sen mittaamisesta ja tulosten tulkinnasta. Kirjallisessa osuudessa kuvataan myös tarrapaperikoneilla käytössä oleva pintaliimausmenetelmä sekä joitain prosessissa tyypillisesti esiintyviä ongelmia.

Kokeellinen osuus suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoululla. Osa mittauksista suoritettiin ACA Systems Oy:n laboratorioissa Polvijärvellä. Mittaukset tehtiin ACAV A4 ja ACAV A2 viskosimetreillä, joilla päästään hyvin korkeisiin leikkausnopeuksiin. Pintaliimoista mitattiin staattinen ja dynaaminen vesiretentio, viskositeetti kapillaarin ja slitin avulla, sekä osasta liimoja venymäviskositeetti.

Tulokset tulkittiin ja niiden perusteella tehtiin johtopäätöksiä pintaliimojen kehittämisestä.

2 TAUSTATIETOA

2.1 Tervasaari

UPM-Kymmene Oyj on maailman johtavia metsäteollisuusyrityksiä ja painopaperin valmistajia. Yhtiön päätuotteita ovat painopaperit, jalostusmateriaalit ja puuteollisuuden tuotteet. Tervasaari kuuluu UPM:ssä hieno- ja erikoispaperitoimialaan ja on maailman suurimpia erikoispaperitehtaita (kuva 1). Tehtaalla on kaksi tarrantaustapaperia valmistavaa konetta, paperikoneet viisi ja kahdeksan. Niiden yhteenlaskettu kapasiteetti tekee Tervasaaresta maailman suurimman tarran taustapaperin valmistajan. Muita tehtaalla valmistettavia tuotteita ovat säkkipaperit, kirjekuoripaperit sekä muut erikoispaperit. Tehdaskokonaisuuteen kuuluu myös sellutehdas, jossa valmistetaan valkaisuamatonta sulfaattisellua säkki- ja purumassana sekä SAP (Semi Alkaline Pulp) -sellua. /4/



Kuva 1 UPM-Kymmene Oyj Tervasaaren yksikkö /22/

2.2 Tarran taustapaperi

Tarralaminaatin taustapaperi eli irrokepaperi tai release-paperi suojaa tarrapaperin liimapintaa. Sen pitää myös irrota helposti tarrapaperista. Tarralaminaatin taustapaperina käytetään joko pigmenttipäällystettyä voimapaperia tai tiivistä superkalanteroitua glassine-tyyppistä voimapaperia. Taustapaperille päällystetään ohut silikonikerros joko laminoinnin yhteydessä tai erillisessä päällystysyksikössä ennen laminointia. Silikonoidusta taustapaperista tarrat voidaan helposti irrottaa lopullista käyttöä varten. /21/

Irrokepaperin yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on sen pinnan sileys. Silikoni ei pysty täysin peittämään paperin pintaa, jos pinta on liian karhea. Tällöin irrotusominaisuudet heikkenevät. Irrotusominaisuudet heikkenevät myös, jos laminaatin liima-aine pääsee liian suurien huokosten vuoksi kosketuksiin paperin kuitujen kanssa. Irrokepaperin pinnan huokoisuuden tulee olla mahdollisimman pieni, jotta silikoni ei tunkeutuisi paperin sisäosiin, vaan jäisi pinnalle helpottamaan tarran irrotusta. Mitä pienemmät pintahuokokset ovat, sitä pienemmällä silikonin kulutuksella saadaan tasainen silikonifilmi ja silikonin kalliin hinnan vuoksi myös säästetään kustannuksia. /3/

Taustapaperin pitää olla kemiallisesti sopiva silikonipäällysteelle. Taustapaperilta vaaditaan myös hyvää mittapysyvyyttä ja riittävää lujuutta, jotta paperi kestää kostutusten ja kuivausten vaikutukset. Taustapaperin neliömassa on yleensä välillä 50–90 g/m². /21/

Glassine-tyyppinen voimapaperi on pintaominaisuuksiltaan erittäin tiivis ja läpinäkyvä paperi, jolla on korkea kiilto ja tiheys sekä hyvät lujuusominaisuudet. /3/ Glassine-tyyppisen irrokepaperin valmistuksessa käytetään voimakasta jauhatusta ja kalanterointia. Glassine-tyyppistä taustapaperia käytetään paljon etiketointikoneissa, joissa etikettien kulkua ohjataan valokennojen avulla. Tällöin irrokepaperin on oltava läpinäkyvää, jotta etikettien ja irrokepaperin välille saadaan riittävä ero IR-säteilyyn perustuvalla laitteistolla tehtävää tarran tunnistusta varten. /21/

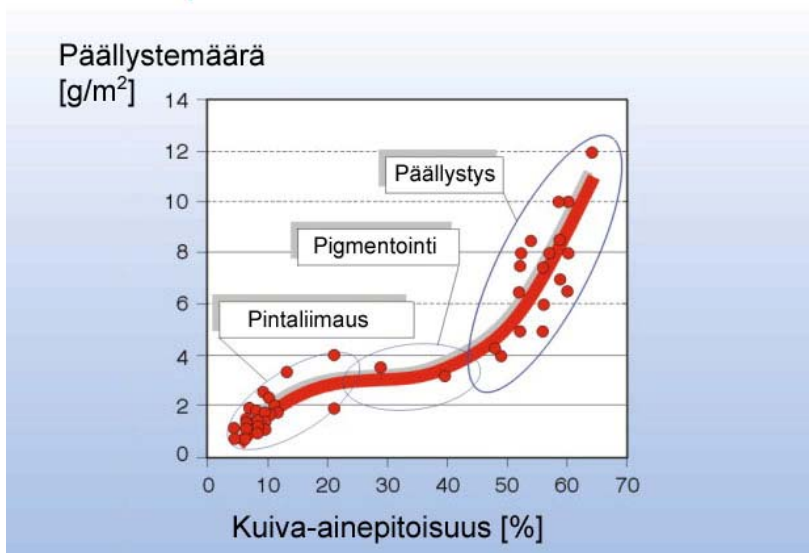
3 PINTALIIMAUS

3.1 Yleistä

Paperin ja kartongin pintakäsittelymenetelmät voidaan jakaa pintaan siirtyvän aineen määrän ja pintakäsittelyaineen koostumuksen mukaan kolmeen eri menetelmään: päällystykseen, pintaliimaukseen ja pigmentointiin.

Päällystettäessä paperin tai kartongin pintaan levitetään päällystyspasta, joka sisältää pigmenttiä (esim. kaoliini, talkki, karbonaatti), sideainetta (esim. tärkkelys, lateksit) ja erilaisia apuaineita. Pintaliima taas ei sisällä lainkaan pigmenttiä ja pigmentoinnissa paperin tai kartongin pintaan siirtyvä päällystemäärä on hyvin pieni (1,0–2,0 g/m²) (kuva 2). /21/

Filmipuristinten toimintaikkunat



Kuva 2 Päällystykseen, pigmentoinnin ja pintaliimauksen erot /21/

Pintaliimausta käytetään hienopapereille, päällystettäville raakapapereille ja kartongeille. Pintaliimaus suoritetaan tavallisesti paperikoneessa filmiliimapuristimessa ja kartonkikoneissa lammikkoliimapuristimissa. Koneet on sijoitettu niin kauas kuivatusosalle, että paperi tai kartonki on riittävän kuivaa

kestämään liimauksen. /21/ Yleensä liimapuristin on sijoitettu kuivausosastolle siten, että sen jälkeen on noin kolmasosa kokonaiskuivatuskapasiteetista jäljellä /3/.

Pintaliimauksen tavoitteena on parantaa paperin tai kartongin lujuusominaisuuksia, kuten sisäistä lujuutta tai pintalujuutta Paperin lujuusominaisuuksia parannetaan lisäämällä kuitujen välisiä sidoksia vesiliukoisilla polymeereillä, usein tärkkelyksellä. Lisäksi pintaliimauksella muutetaan muitakin paperin ominaisuuksia haluttuun suuntaan:

- tason suuntaisten lujuuksien parantaminen (pois lukien repäisyjuuus)
- huokoisuuden pienentäminen
- absorptio-ominaisuuksien muuttaminen
- mittapysyvyyden parantaminen
- sileyden parantaminen
- kiillottuvuuden parantaminen. /21/

Pintaliimauksen ansiosta voidaan käyttää entistä enemmän myös halvempia ja lujuudeltaan heikompia massoja sekä täyteaineita /3/.

3.2 Päällystyspastan pääkomponentit

Pigmentit

Päällystyspastat koostuvat useista komponenteista. Pigmenttien tehtävänä on peittää paperin tai kartongin pinta, parantaa optisia ominaisuuksia ja toimia painoväriä absorboijana. /21/ Päällystyspastassa voi olla joko yhtä pigmenttiä tai yleisemmin useampia pigmenttejä. Pigmenttien osuus kuivasta päällystemäärästä on n. 80–95 m-% tilanteesta riippuen. Pigmentit ovat yleensä erilaisia mineraaleja, kaoliini ja kalsiumkarbonaatti ovat yleisimpiä. Pigmentit ovat päällysteissä hyvin pieninä partikkeleina. Käytännössä lähes kaikkien pigmenttipartikkelien koko on alle 10 µm. /6/

Sideaineet

Toinen tärkeä komponentti päällystyspastassa on sideaine. Sideainekomponentti koostuu yleensä sideaineiden yhdistelmästä, yleisimmin kahdesta eri sideaineesta. Sideaineiden päätarkoitus on sitoa päällysteen partikkelit pohjapaperiin ja toisiinsa. Se toimii siis liiman tavoin. Sideaineiden osuus päällystyspastassa on n. 5–20 m-% pastan kuivamassasta. /6/ Osa sideaineista vaikuttaa myös pastan viskositeettiin ja juoksevuusominaisuuksiin sekä pastan vesiretentioon. Tärkeimmät sideaineet ovat lateksit ja tärkkelykset. Polyvinyylialkoholi (PVA) on hyvän sidoskyvyn omaava sideaine, jota käytetään tyypillisesti apusideaineena tai myös yksinään erikoispastoissa. /21/

Sideaineita valittaessa joudutaan ottamaan huomioon useita eri tekijöitä. Valinta tehdään esimerkiksi päällystysaseman tyypin ja nopeuden, painomenetelmän, pigmenttikoostumuksen, päällystekerrosten lukumäärän ja monien muiden tekijöiden perusteella. Sideaineen hinta tulee myös huomioida, sillä se voi olla jopa yli 10-kertainen pigmentteihin verrattuna. /21/

Paksuntajat

Paksuntajia voidaan lisätä pastaan muokkaamaan reologiaa ja vesiretentiota kasvavaan suuntaan. Paksuntajilla voi olla myös hyviä sitomisominaisuuksia, jolloin niitä kutsutaan apusideaineiksi. Paksuntajat voivat olla täysin synteettisiä tai ne voivat koostua luonnon polymeereistä. /6/ Hyvin yleinen paksuntaja on karboksimeetyyliselluloosa (CMC), joka toimii osittain myös sideaineena /21/. Paksuntajien osuus pastan kuiva-aineesta on tyypillisesti vain muutama massaprosentti /6/.

Lisäaineet

Pastassa on lukuisia lisäaineita, joilla on erilaisia toiminnallisia rooleja. Näitä lisäaineita kutsutaan usein lempinimellä "tippakemikaalit", koska niiden annostelumäärä on hyvin pieni, yleensä alle 1 %:in kuiva-ainemassasta. Lisäaineilla on lukuisia eri tehtäviä, kuten esimerkiksi pigmenttien avustaminen dispergoinnissa, optisten ominaisuuksien tai värisävyn säätö, pH:n säätö, kuiva- tai

märkälajuuden parantaminen, voiteluaineena toimiminen, vaahtoamisen estäminen tai vaahdon poisto, kalanteroitavuuden parantaminen ja liman torjunta. /6, 21/

3.3 Pintaliimaukseen vaikuttavat tekijät

Pintaliimaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat pohjapaperin laatu, pintaliiman ominaisuudet sekä pintaliimauslaite. Pohjapaperin laatu vaikuttaa lähinnä liiman tunkeutumiseen paperin sisälle. Mitä huokoisempi ja karheampi paperi on, sitä enemmän liimaa tunkeutuu paperin sisälle. Jauhatuksen lisääntyessä, eli huokoisuuden pienentyessä pintaliiman määrä paperissa pienenee. Myös neliömassan kasvaessa pintaliiman määrä paperissa lisääntyy 100 g/m²:iin asti, jonka jälkeen neliömassalla ei enää ole vaikutusta. Pintaliiman imeytymiseen voidaan vaikuttaa pohjapaperin kosteudella. Kosteaa paperi imee pintaliimaa kuivempaa paremmin, imeytymisen maksimimäärä on kuitenkin kosteusalueella 5–12 %. /21/

Pintaliiman määrä vaikuttaa ensisijaisesti paperin pintalujuuteen, mutta myös palstautumislujuuteen ja jäykkyyteen. Liiman kuiva-ainepitoisuudella voidaan vaikuttaa liiman tunkeutumiseen paperin sisälle. Mitä korkeampi liiman kuiva-ainepitoisuus on, sitä enemmän liimaa jää paperin pintaan. Pintaliiman viskositeetilla voidaan myös vaikuttaa liiman imeytymiseen. Mitä viskoottisempaa liimaa käytetään, sitä enemmän liimaa jää paperin pintaan. /21/

Pintaliimauslaitteilla vaikutetaan yleensä vain pintaliiman määrään paperissa. Filmiliimapuristimen tapauksessa pintaliiman määrää paperissa voidaan kasvattaa lisäämällä pintaliiman määrää applikointitelan pinnalla. Lisäys täytyy saada vietyä paperiin asti. Applikointitelalla olevan pintaliiman määrään voidaan vaikuttaa käytetyn sauvan koolla ja jonkin verran myös paineella. Käyttämällä korkeaa liiman kuiva-ainepitoisuutta ja karkeaa sauvaa saadaan pintaliimaa enemmän rainan sisään. /21/

3.4 Filmiliimapuristin

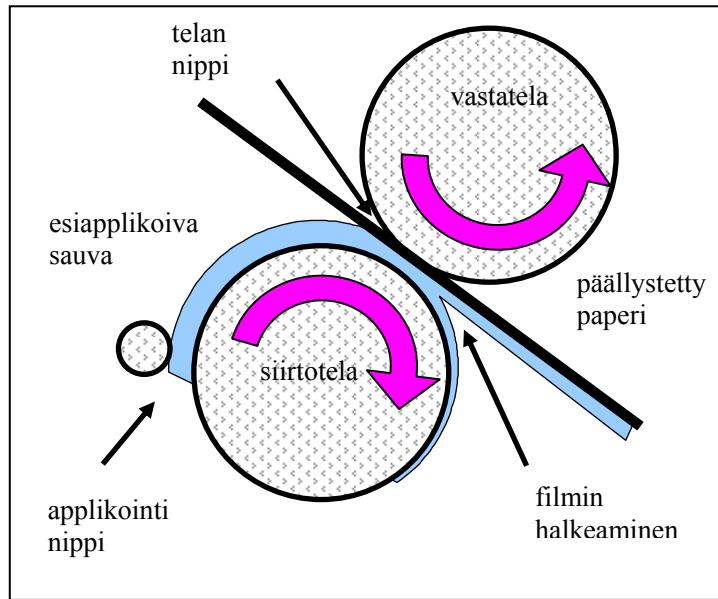
3.4.1 Toimintaperiaate

Paperin pintaliimaus tehdään yleensä filmiliimapuristuksella (kuva 3).



Kuva 3 Filmiliimapuristin radan molemminpuoliseen pintaliimaukseen /21/

Filmiliimapuristus on kaksivaiheinen prosessi. Ensin pyörivän applikointitelan pinnalle muodostetaan päällystekerros, joka siirretään paperirainan pinnalle telojen muodostamassa nipissä. Tämän jälkeen filmi puristetaan paperirainaan telojen välisessä nipissä (kuva 4). Viivakuorma nipissä on luokkaa 20–40 kN/m. Liimassa oleva vesi alkaa siirtyä paperirataan paineen vaikutuksesta, ja samalla telanpinnan ja paperin välissä olevan märkäfilmin kuiva-aine alkaa nousta, ja siihen muodostuu jähmettynyt vyöhyke. Liimafilmi halkeaa nipin jälkeen, jolloin tietty osa filmistä siirtyy paperirainan pintaan. Tyypillisesti 70–90 % päällysteestä siirtyy paperin pinnalle ja 10–30 % jää applikointitelan pinnalle. /21/



Kuva 4 Filminsiirtopäälystysksen periaate /7/

Paperin molemmat puolet voidaan päälystää yhtä aikaa, jolloin päälystekerros applikoidaan kummankin applikoititelan pinnalle. Puupitoisien painopaperien tapauksessa on laadun ja ajettavuuden kannalta järkevämpää päälystää molemmat puolet kahdella peräkkäin sijoitetulla filminsiirtopäälystymellä. Päälystekerroksen muodostamiseen telan pinnalle käytetään telaa, terää, urasauvaa tai sileää sauvaa.

/21/

3.4.2 Filmin muodostaminen applikoititelan pinnalle

Filmiliimapuristuksessa pintaliimafilmi applikoidaan nippitelan pinnalle joko urasauvan, sileän sauvan tai eräissä tapauksissa pienkulmaterän avulla.

Urasauva

Urasauvaa käytettäessä applikoititelan pinnalle siirtyvän pastan määrä on verrannollinen urien ja telan pinnan väliin jäävään vapaaseen tilaan. Toisin sanoen mitä suurempi on urien halkaisija, sitä suurempi päälystemäärä siirtyy applikoititelan pinnalle. Yleisimmin käytetty halkaisija on 35 mm. Tyypillisesti halkaisijat ovat välillä 20–50 mm. Sauvaa pyöritetään hitaasti, jotta se kuluisi tasaisesti. Samalla poistuvat sauvalle tulevat partikkelit, jotka voisivat tukkia

päällystevirtauksen ja aiheuttaa päällysteeseen juovia tai naarmuja. Päällystemäärä riippuu myös applikointitelan kovuudesta. Päällystemäärä kasvaa telan päällystettä pehmenettäessä, kun muut olosuhteet pidetään muuttumattomina. Päällystemäärään voidaan myös vaikuttaa rajoitetusti muuttamalla sauva-asetelman takana olevan kumiletkun ilmanpainetta. /21/

Urasauvan kuluminen tulee ottaa huomioon pigmentin valintaa tehtäessä. Pigmentin viskositeetilla ei ole suurta merkitystä päällystefilmin muodostamiseen urasauvaa käytettäessä. Yleensä viskositeetit vaihtelevat välillä 200–800 mPas (Brookfield, 100 rpm), mutta myös suuruusluokkaa 1000–1200 mPas olevia viskositeetteja on käytetty onnistuneesti. Pastan kuiva-aineen noustessa yli 60–65 %:n ja päällystemäärän ollessa yli 10 g/m² ongelmaksi muodostuu "appelsiinikuvioisuus", joka heikentää päällysteen laatua oleellisesti. Jos kuiva-ainepitoisuus on taas alle 40 %, päällyste muuttuu epätasaiseksi suurilla nopeuksilla johtuen veden voimakkaasta penetroitumisesta pohjapaperiin. Pastan vesiretention pitää siis olla hyvä erityisesti kuiva-ainepitoisuuden ollessa pieni. /21/

Sileä sauva

Sileitä, halkaisijaltaan 14–60 mm sauvoja käytetään päällystefilmin muodostamiseen samoista syistä kuin urasauvaakin. Sileän sauvan etu urasauvaan verrattuna on sen hitaampi kuluminen. Pastan siirtyminen applikointitelan pinnalle saadaan aikaan telan pintaan kohdistuvan hydrodynaamisen voiman avulla. Koska applikointitelaan kohdistuvaa painetta voidaan säätää helposti, on sileän sauvan käyttö mahdollista ajettaessa suuren kuiva-ainepitoisuuden omaavia pastoja laajalla päällystemääräalueella ja suurilla nopeuksilla. Tavoitepäällystemäärän saavuttaminen voidaan varmistaa ajon aikana säädön avulla. Päällystefilmin paksuuteen vaikuttavat jossakin määrin koneen nopeus ja pastan viskositeetti suuren leikkausnopeuden alaisena. Päällystemäärä kasvaa nopeuden kasvaessa erityisesti, kun pastan viskositeetti on suuren leikkausnopeuden alaisena. Tyypillisesti pastan viskositeetit (Brookfield, 100 rpm) vaihtelevat välillä 400–1200 mPas sileää sauvaa käytettäessä. Koneen nopeuden tai pastan viskositeetin ollessa pieni, täytyy sauvan halkaisijaa kasvattaa, jotta tietty päällystemäärä saavutettaisiin. /21/

Valmistettaessa PVA/CMC -päälystettyä ja superkalanteroitua irrokepaperia, on sileä sauva ainoa vaihtoehto päälysteen annosteluun konenopeuksilla yli 600 m/min. Suuri etu korkean konenopeuden ja korkean kuiva-ainepitoisuuden lisäksi on paperin valmistukseen tarvittavan kalliin liiman alentunut määrä. Tähän vaikuttaa liiman suuri viskositeetti, joka pitää liiman paperin pinnassa. Paperin toinen puoli käsitellään yleensä tärkkelyksellä, jolla saavutetaan tarvittava läpikuultavuus ja käyrityksen kontrollointi ja säästetään lisää kemikaaleja. /6/

3.4.3 Filminsiirtopäälystyksessä esiintyviä ongelmia

Filminsiirtopäälystyksessä päälystyspastan tärkeimmät ominaisuudet ovat vesiretentio ja korkean leikkausnopeuden viskositeetti. Jos veden poistumisen nopeus on liian hidas, nipin ulostulossa esiintyy sumuamista. Jos vesi poistuu liian nopeasti, päälystyspasta voi kuivua applikointisauvalle. /17/

Liian matala viskositeetti korkeilla leikkausnopeuksilla johtaa epätasaiseen päälystemäärään, liian korkea viskositeetti taas aiheuttaa sumuamista sauvalta. Suhteellisen korkea viskositeetti saattaa kuitenkin ehkäistä sumuamista ja appelsiinikuvion syntymistä. Uusia päälystysresepteitä kehitettäessä onkin hyvin tärkeää testata sekä vesiretentio että korkean leikkausnopeuden viskositeetti. /17/

Pisaroiminen sauva/tela -nipissä

Pisaroinniksi kutsutaan tilannetta, jossa sauvan ja telan välisestä nipistä irtoaa ajotilanteessa pieniä pastapisaroita. Ennen varsinaista pisarointia sauva/tela -nipin jättöpuolelle muodostuu pieniä pastahelmiä, jotka jättävät ohuen viirun filmiin. Yleensä tässä vaiheessa paperiin ei aiheudu laatuviikaa, mutta erityisesti pienillä päälystemäärillä on viirujen todettu näkyvän päälystysjäljessä. Seuraavassa vaiheessa pastapisarat irtoavat sauva/tela -nipistä liaten sauvakehdon yläpinnan. Kun pisarat ovat hyvin isoja, lähtee osa pisaroista filmin mukaan aiheuttaen selvästi erottuvia pastaläiskiä paperissa. /13/

Pisarointi riippuu ensisijaisesti pastan reologiasta, mutta siihen voidaan vaikuttaa myös koneen konstruktiolla sekä ajo-olosuhteilla. Seuraavaan luetteloon on kerätty tärkeimmät tekijät, joilla pastan pisarointia voidaan ehkäistä:

päällystyspasta

- levymäisten pigmenttien osuuden pienentäminen
- päällystemäärän nostaminen
- kuiva-ainepitoisuuden laskeminen
- korkean leikkausnopeuden viskositeetin laskeminen
- lämpötilan nostaminen

konstruktio

- telan pehmentäminen
- PU- tela kumitelan sijaan
- sauvan koon kasvatus

ajo-olosuhteet

- nopeuden vähennys
- kuormapaineen vähennys
- sauvan pyöritysnopeuden kasvatus. /13/

Pisarointia esiintyy, kun ajetaan korkeilla konenopeuksilla pieniä päällystemääriä ja käytetään korkeita pastan kuiva-ainepitoisuuksia. Tällöin sauvan ja telan välisessä nipissä on korkea leikkausnopeus. Kun pisarointia esiintyy, joudutaan pastan kuiva-ainepitoisuutta laskemaan, mikä ei päällysteen laadun kannalta ole edullista. Kuiva-ainepitoisuuden laskeminen voi toisaalta aiheuttaa muita ajettavuusongelmia, esimerkiksi pastan sumuamista nipin jälkeen. /13/

Konstruktiiivisista keinoista sauvan pyörimisnopeuden lisäys on kaikkein tehokkain vaihtoehto pisaroinnin vähentämiseksi. Nostamalla sauvan kehänopeus tasolle 0,3 m/s on pisarointi loppunut useimmissa tapauksissa. Pehmeämmän telan ja isompihalkaisijaisen sauvan käyttö pidentävät sauva/tela -nippiä, millä on koetulosten perusteella positiivinen vaikutus pisarointiin. Pidemmän sauva/tela -nipin positiivinen vaikutus pisaroinnin vähentämisessä perustuu pastan

viskositeetin aikariippuvuuteen. Pastan viskositeetti ei ehdi lyhyessä nipissä laskea niin alas, kuin se laskee pitkässä nipissä tai pienillä koneen nopeuksilla. Sauvakoon suurentamien toisaalta pidentää nippiä, mutta toisaalta sauvan pintanopeuskin on suurempi ison halkaisijan omaavalla sauvalla, eli vaikutus on sama kuin käytettäisiin suurempaa pyörimisnopeutta. Sauvan koon ja telan kovuuden muuttamista ei yleensä voida käyttää, sillä sauvan halkaisijan kasvattaminen ja pehmeämmän telapinnoitteen käyttö vaativat matalamman pastan kuiva-ainepitoisuuden, mikä ei yleensä ole laadun kannalta suositeltavaa. /13/

Sumuaminen tela/tela -nipissä

Filminsiirtopäälystyskoneiden ajettavuus on herättänyt keskustelua konenopeuksien ylittäessä 1300 m/min nopeuden. Yleisesti uskotaan, että päälystyspastan sumuaminen nipissä estää tekniikan käytön suurilla päälystemäärillä ja korkeilla konenopeuksilla. /6/

Nipin jälkeinen sumuaminen aiheutuu todennäköisesti siitä, että halkeavassa filmissä muodostuu filamentteja, jotka katketessaan aiheuttavat sumuamista /13/. Päälysteen halkeamiseen applikointinipin jälkeen vaikuttaa pastassa tapahtuva veden poistuminen ja sitä seuraava pastan jakautuminen kahteen erilliseen kerrokseen – liikkuvaan ja liikkumattomaan. Päälystefilmin halkeaminen tapahtuu todennäköisimmin kohdassa, jossa z-suuntainen lujuus on pienin, eli päälystekerroksen liikkuvassa kerroksessa (nestefaasi). /21/ Jos liikkuva kerros on liian paksu, se saattaa aiheuttaa sumuamista rainan vapautuessa nipistä /6/. Pastalla, jolla on hyvä vesiretentio, halkeava kerros on paksumpi. Sumuaminen voidaan ymmärtää halkeavan filmipaksuuden funktiona. Hyvä vesiretentio kasvattaa vapaasti liikkuvaa kerrosta ja samoin tapahtuu, jos päälystemäärää kasvatetaan tai pastan kuiva-ainepitoisuutta lasketaan. /13/

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että sumuamisen riski pienenee käytettäessä korkeaa kuiva-ainepitoisuutta. Ajettavuutta onkin parannettu nostamalla päälystyspastan kuiva-ainepitoisuutta, nostamatta kuitenkaan viskositeettia. Myös pigmentin koko ja kokojakauma vaikuttavat liikkumattoman kerroksen

pakkautumiseen, koska ne määräävät nestefaasin paksuuden. /6, 21/ Seuraavaan luetteloon on kerätty sumuamisen ehkäisemiseksi soveltuvia keinoja:

päällystyspasta

- kuiva-ainepitoisuuden nosto
- viskositeetin pienennys
- päällystemäärän vähennys
- pakkautuvien pigmenttien määrän vähennys

prosessiolosuhteet

- nipin paineen nosto
- telojen välinen nopeusero
- kasvatettu kontaktipinta paperin ja päällysteen välillä
- kovemmat telapinnoitteet
- pienemmät konenopeudet

pohjapaperi

- absorption kasvatus
- neliöpainon kasvatus
- huokoisuuden kasvatus /6/.

Päällysteen sumuaminen nipissä kasvaa eksponentiaalisesti sekä koneen nopeuden, että päällysteen määrän funktiona. Jotta sumuamista saataisiin vähennettyä, täytyy pastan kuiva-ainepitoisuutta kasvattaa. Tällöin liikkuvan kerroksen (nestefaasi) paksuus pienenee ja sumuamisen riski pienenee. Yleensä on mahdollista kasvattaa päällystemäärää 1 g/m^2 lisäämällä kuiva-ainepitoisuutta 1 %. Myös koneen nopeutta voidaan nostaa noin 100 m/min lisäämällä kuiva-ainepitoisuutta 1 %:lla, kun päällystemäärä on $10 \text{ g/m}^2/\text{puoli}$. /6/

Konstruktiivisia tekijöitä, jotka vaikuttavat pastan sumuamiseen nipissä, ovat telojen kovuudet, linjapaine ja radan vienti. Kovilla teloilla ja korkealla linjapaineella saadaan paremmat tulokset sumuamisen suhteen, koska pasta saadaan siirrettyä paremmin paperiin. Pastan siirtoprosenttiin ja sitä kautta sumuamiseen voidaan vaikuttaa myös paperin ja pastan välisellä kontaktiajalla.

Mikäli koneen nopeus on matala tai rata on kontaktissa pitkään telan kanssa, on pastan sumuaminen vähäisempää. /13/

Pohjapaperi on yksi sumuamiseen vaikuttava muuttuja. Pohjapaperin absorptio-ominaisuuksien tai huokoisuuden laskiessa pienenee pastan siirtoprosentti ja sumuamis riski kasvaa. Toisaalta tällöin päällystemäärän tarvekin on pienempi. Vastaavasti jos pohjapaperissa on toispuoleisuutta, pohjapaperin tiiviimpi puoli pyrkii sumuamaan enemmän. /13/

Silmillä havaittavan sumuamisen määräksi on arvioitu 10 g/60 s/A4, eli A4-kokoiselle arkille kertyvän pastan määrä minuutissa on 10 g. Kymmenen metriä leveällä koneella se tarkoittaa karkeasti noin 700 kg pastan menetystä päivittäin, joten sumuamisen ehkäisemisellä saadaan aikaan selviä säästöjä. /6/

Kuivuminen telalle

Pastan kuivuminen telapinnoille on käänteinen ilmiö pastan sumuamiselle. Kuivumista esiintyy, kun päällystysfilmi on kokonaan liikkumattomassa muodossa paperin ja telan pinnalla. Tällöin liikkuvan kerroksen puute vaikeuttaa tasaista filmin halkeamista. Filmin halkeaminen tapahtuu paperin ja päällysteen rajapinnassa ja kuiva päällystekerros keräytyy nopeasti telan pintaan. Kuivan päällystypastan kertyminen telalle voi aluksi näkyä juovina, jotka voivat lopulta kehittyä paksuksi, yhtenäiseksi kerrokseksi. Jotta tilanne voitaisiin välttää, täytyy pastan kuiva-ainepitoisuus ja vesiretentio optimoida. /6/

Pigmentin valinnalla on suuri vaikutus päällystysfilmin liikkumattoman kerroksen ominaisuuksiin. Kaoliinin käyttö pienentää suurinta mahdollista kuiva-ainepitoisuutta, jota voidaan käyttää ilman, että pasta kuivuu telan pinnalle. CaCO₃-pigmenteillä ei taas ole niin suurta vaikutusta kuivumisilmiöön. Yleisesti ottaen prosessin ja päällystypastan ominaisuudet, jotka lisäävät taipumusta sumuamiseen nipissä, pienentävät telalle kuivumisen riskiä. /6/ Telalle kuivumista on havaittu prosesseissa, joissa jokin seuraavista ominaisuuksista on esiintynyt yksin tai yhteisvaikutuksessa:

- korkea kuiva-ainepitoisuus
- alhaiset konenopeudet (≤ 1200 m/min)
- päällystyspastalla alhainen vesiretentio
- korkea levymäisten pigmenttien tai pehmeiden polymeerisideaineiden määrä
- pieni päällystemäärä (≤ 5 g/m²) yhdistettynä huokoiseen pohjapaperiin
- korkea lineaarinen nippipaine tai telan kovuus
- korkea pohjapaperin ja/tai päällystyspastan lämpötila /6/.

Telalle kuivumisesta päästään eroon pudottamalla pastan kuiva-ainepitoisuutta ja lisäämällä vesiliukoisten sideaineiden määrää. /13/

Kuivunut päällystyspasta on vaaraksi sekä sauvan, että telan pinnalle. Sauvan ja telan pinnan välinen kitka kasvaa huomattavasti, mikä voi tuhota telan pinnan ja naarmuttaa sauvan pintaa. Mikä tärkeämpää, päällystetyn paperin pinnan laatu heikkenee riippuen kertymän määrästä. Jotta vahingot vältettäisiin, pitää juovat tai kuivunut pastakerros poistaa välittömästi. /6/

Appelsiinikuvion muodostuminen

Appelsiinikuvioksi, eli orange peeliksi kutsutaan päällysteen laatuviikaa, missä päällyste on jakautunut epätasaisesti näyttäen appelsiininkuorikuviolta.

Appelsiinikuvio syntyy, kun paperin irrotessa telan pinnasta halkeaminen tapahtuu epätasaisesti. Tärkeimmät appelsiinikuvioon vähentävästi vaikuttavat tekijät ovat:

päällystyspasta

- kuiva-ainepitoisuuden nousu
- viskositeetti laskee
- päällystemäärä laskee

paperi

- absorptio nousee
- karheus nousee
- mekaanisen massan osuus vähenee
- huokoisuus kasvaa
- neliöpaino kasvaa

konstruktio

- nippikuorma vähenee
- telat pehmenevät
- paperin puolien eriaikainen päällystys. /13/

Päällystysfilmin epäsäännöllisen halkeamisen syyt vaikuttavat hyvin monimutkaisilta. Toisinaan appelsiinikuvion syntyminen korreloi sumuamisen kanssa, toisinaan taas ei. Päällysteen lopullinen sileys riippuu sekä filmin halkeamisen aiheuttamasta epäyhtenäisyydestä että päällysteen tasoittumisesta filmin halkeamisen jälkeen. Epätasaisen päällystekerroksen voi aiheuttaa esimerkiksi epätasaisesti applikoitu päällystekerros, applikointisauvalle kuivunut päällystyspasta tai karkea pohjapaperi. Myös hajonneet filamentit aiheuttavat pintavikoja. /17/

Päällystefilmin halkeaminen vaikuttaa olevan tasaisempaa ja sileämpää, kun kuiva-ainepitoisuus on korkea. Myös suhteellisen korkea viskositeetti korkeilla leikkausnopeuksilla vaikuttaa positiivisesti päällystefilmin halkeamisen tasaisuuteen. /17/ Pastatyypin vaikutus on vain vähän appelsiinikuvion syntyyn. Hieman parempia tuloksia on saatu matalammilla pastan viskositeeteilla käyttämällä esimerkiksi tärkkelyksen sijasta lateksia ja CMC:tä. Eri pigmenttien väliset erot ovat myös pienet. Hieman parempia tuloksia on saatu pigmenteillä, joilla on pieni muototekijä ja matala viskositeetti. /13/

Pohjapaperi vaikuttaa merkittävästi appelsiinikuvion syntyyn. Hienopapereilla appelsiinikuvio tulee näkyviin vasta korkeilla päällystemäärillä, koska niillä on yleensä korkea öljyn absorptio. Vastaavasti tiiviillä mekaanista massaa sisältävillä papereilla appelsiinikuvion syntymisen raja on matalalla. Pohjapaperin formaatio

vaikuttaa appelsiinikuvion syntyyn, koska pastan absorboituminen paperiin ei ole tasaista. Flokin kohdalla pasta jää aivan paperin pintaan, mikä näkyy UV-valossa pastassa olevan optisen kirkasteen johdosta vaaleana kohtana. /13/

Konekonstruktioilla voidaan vaikuttaa appelsiinikuvion syntymisrajaan siten, että pehmeillä teloilla voidaan ajaa suurempia päällystemääriä ilman appelsiinikuvion syntymistä kuin kovilla teloilla. Pehmeiden telojen hyvä ominaisuus appelsiinikuvion suhteen johtuu siitä, että nipin maksimipaine on pieni, jolloin pastan penetraatio paperiin on pieni. Paksuilla filmeillä tullaan tilanteeseen, jossa pohjapaperi ei enää vaikuta filmin halkeamiseen, vaan tilanne vastaa virheettömän filmin halkeamista. /13/

Web stealing

Web stealing eli radan varastaminen tarkoittaa hallitsematonta rainan irtoamista teloista nipin jälkeen. Web stealing -ilmiötä esiintyy yleensä vain molempien puolien yhtäaikaisessa pintaliimauksessa tai päällystyksessä, mutta sitä voi ilmetä myös yksipuolisessa päällystyksessä reuna-alueilla. Yleensä web stealing -ilmiö syntyy jo aukeavassa nipissä, missä osa radasta lähtee seuraamaan toista telaa valtaosan radasta seurattaessa toista telaa. Web stealing -tilanne voi syntyä myös siten, että koko rata seuraa ensin toista ja sitten toista telaa. /13/

Paperi seuraa nipin jälkeen sitä telaa, kummalla puolella filmin halkeamisvastus eli halkeamiseen menevä voima on suurempi. Telanipissä pastaan kohdistuu ylipaine, jonka suuruus ja muoto riippuvat mm. linjapaineesta ja telojen kovuudesta. Telanipin loppuessa paperin ja telan välissä on yleensä filmi, jonka halkeaminen aiheuttaa alipaineen. Alipaineen suuruus ilmaisee halkeamiseen tarvittavan voiman. /13/

Web stealingin aiheuttama laatuviika näkyy yleensä konesuuntaisina 5–10 mm leveinä vanoina, jotka voivat olla jopa metrien pituisia. Vanan keskellä päällystemäärä on matalampi kuin reunoilla, mutta päällystemääräerot ovat kuitenkin hyvin pieniä. /13/

Web stealingiin vaikuttavat kaikki nipissä olevat tekijät: paperi, pasta ja ajo-olosuhteet. Kaikkein otollisimmat olosuhteet web stealingille ovat silloin, kun ajetaan saman kovuisilla teloilla suurilla nopeuksilla korkeita päällystemääriä ohuelle pohjapaperille pastalla, jossa on käytetty levymäisiä pigmenttejä. Paperin ollessa samanlaista molemmilta puolilta (absorptio-ominaisuudet, karheus) ei ole mitään tekijää, mikä määräisi paperin seuraamaan tiettyä telaa nipin jälkeen. Tällöin paras keino web stealingin ehkäisemiseksi on tehdä prosessi jollain tavalla toispuoleiseksi, jolloin raina saadaan seuraamaan hallitusti jompaakumpaa telaa. /13/

Eri pigmenteillä on erilaiset ominaisuudet halkeamisen suhteen. Levymäisillä pigmenteillä on korkeampi halkeamisvoima kuin pyöreillä pigmenteillä. Kaoliinipastalla on siis suurempi halkeamisvoima käytännön filmipaksuuksilla kuin karbonaattipastalla. Partikkelien kokojakauman ollessa hyvin kapea, on web stealing pahempaa kuin laajalla kokojakaumalla. /13/

Kokeet ovat osoittaneet, että paperin sileämpi tai vähemmän absorboiva puoli pyrkii pysymään telaa vasten nipin jälkeen. Tämä aiheutuu siitä, että vähemmän absorboivalla puolella nipin jälkeen jää paksu filmikerros halkaistavaksi, jolloin halkeamisvastus on korkeampi kuin hyvin pastaa absorboivalla puolella. /13/

Web stealingia voidaan hallita tietyissä rajoissa myös telojen kovuuksilla ja niiden välisellä nopeuserolla. Mikäli paperin ja toisen telan nopeus on sama ja toista telaa hidastetaan, alkaa rata seurata nopeampaa telaa. Jos käytetään eri kovuisia teloja, alkaa rata seurata kovempaa telaa, koska kovan telan ja rainan välinen kontakti nipissä on parempi kuin pehmeän telan ja rainan. Pehmeän telan pintanopeus ei ole nipissä vakio, koska pehmeä telapinnoite deformatuu nipissä kovaa pinnoitetta enemmän. Tämän vuoksi rainan ja kovan telan välinen kontakti on parempi nipin alueella. /13/

4 PÄÄLLYSTEEN REOLOGIA

Termillä reologia tarkoitetaan oppia materiaalin muodonmuutoksesta (deformaatio) ja virtauskäyttäytymisestä mekaanisen rasituksen alaisena. Jotta paperin päällystysprosessi toimisi halutulla tavalla, on päällystyspastan reologian tunteminen tärkeää. Päällystyspasta on vesipohjainen seos, joka koostuu mineraalipigmenteistä, paksuntajista, sitoista ja muista mahdollisista kemikaaleista. Reologinen monimutkaisuus on seurausta komponenttien vuorovaikutuksesta. /17/ Pastan reologiaan vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kiinteän faasin tilavuusosuus, pastassa esiintyvien hiukkasten muoto ja koko, sekä kokojakauma. Myös hiukkasten pakkautumiskyky sekä liukoisten polymeerien määrä ja tyyppi vaikuttaa pastan reologiaan. /5/

Reologia vaikuttaa mm. pastan käyttäytymiseen konekierrossa, pastan ajettavuuteen päällystyslaitteella, päällystemäärän hallintaan sekä päällysteen rakenteeseen ja laatuun. Päällysteen reologia onkin yksi tärkeimmistä tekijöistä hyvän ajettavuuden kannalta. Sopimaton reologia voi aiheuttaa paperin laadun heikkenemisen; päällysteestä saattaa tulla epätasainen, saattaa syntyä viiruja, naarmuja tai aukkoja, joista päällyste puuttuu kokonaan. Huono reologia saattaa jopa estää päällystyskoneen toiminnan kokonaan. /3, 11/ Kun pastan reologia on kunnossa, on myös ajettavuus yleensä hyvä. Siten taataan tehokas ja häiriötön tuotanto /5/.

4.1 Viskositeetti

Päällystyspastan tärkein reologinen ominaisuus on viskositeetti, jolla tarkoitetaan nesteen sisäistä kitkaa. Nesteen viskositeetin kasvaessa kasvaa myös virtausvastus. Viskositeetti määritellään seuraavalla kaavalla (kaava 1):

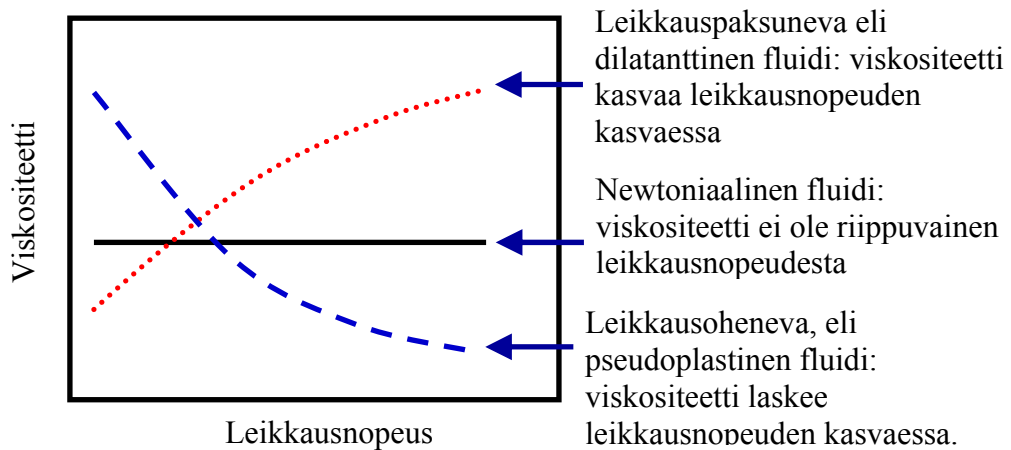
$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1)$$

jossa η on viskositeetti, τ on leikkausjännitys ja γ on leikkausnopeus. Koska leikkausjännityksen yksikkö on Pascal (Pa) ja leikkausnopeuden yksikkö on 1/s, tulee viskositeetin yksiköksi Pascalsekunti (Pas). Yleensä viskositeetin yksikkönä käytetään millipascalsekuntia (mPas), sillä esimerkiksi veden viskositeetti on vain 1 mPas. /6/ Tyypillisen päällystyspastan Brookfield-viskositeetti on puolestaan 1 000–2 000 mPas /1/.

Nesteeet jaetaan tyypillisesti reologiansa mukaan Newtoniaalisiin, ei-Newtoniaalisiin sekä viskoottisiin ja viskoelastisiin nesteisiin. Neste on Newtoniaalinen, jos sillä ei ole viskoelastisia ominaisuuksia, eikä sen viskositeetti ole riippuvainen leikkausnopeudesta tai leikkausajasta. Mikään aine ei ole täysin Newtoniaalinen, mutta esimerkiksi vesi, glyseroli ja jotkut öljyt ovat lähellä ideaalista Newtoniaalista nestettä. /8/ Useimpien materiaalien, mukaan lukien päällystyspастоjen viskositeettiin vaikuttaa käytetty leikkausnopeus ja rasitus aika. /3/

Leikkausohenevan, eli pseudoplastisen pastan viskositeetti pienenee kun leikkausnopeus nousee (kuva 4). Syynä siihen on pigmenttipartikkelien orientoituminen virtauksen suuntaan, jolloin virtausvastus pienenee ja aiheuttaa viskositeetin alenemisen. Myös polymeeriketjujen oikeneminen virtauksen suuntaan ja heikkojen rakenteiden hajoaminen alentavat viskositeettia. Päällystypastat ovat yleensä leikkausohenevia, mutta ne voivat olla tietyillä leikkausnopeuden alueilla myös leikkauspaksunevia. /3, 8/

Leikkauspaksunevan, eli dilatanttisen pastan viskositeetti kasvaa leikkausnopeuden noustessa (kuva 5). Suurimmissa leikkausnopeuksissa pigmenttilietteet ovat yleensä leikkauspaksunevia. Myös pastat, joiden kuiva-ainepitoisuus on suuri, ovat usein dilatanttisia. Kuiva-ainepitoisuuden ollessa suuri on pastassa väliainetta vain juuri ja juuri antamaan voitelua systeemiin. Kun rakenne häiriintyy leikkauksen vaikutuksesta, se pyrkii laajentumaan, eikä väliaine enää riitä välitilan täyttämiseen. Tällöin virtaus vaikeutuu ja viskositeetti kasvaa. Viskositeetin kasvu johtaa usein viiruihin päällysteessä. /3/



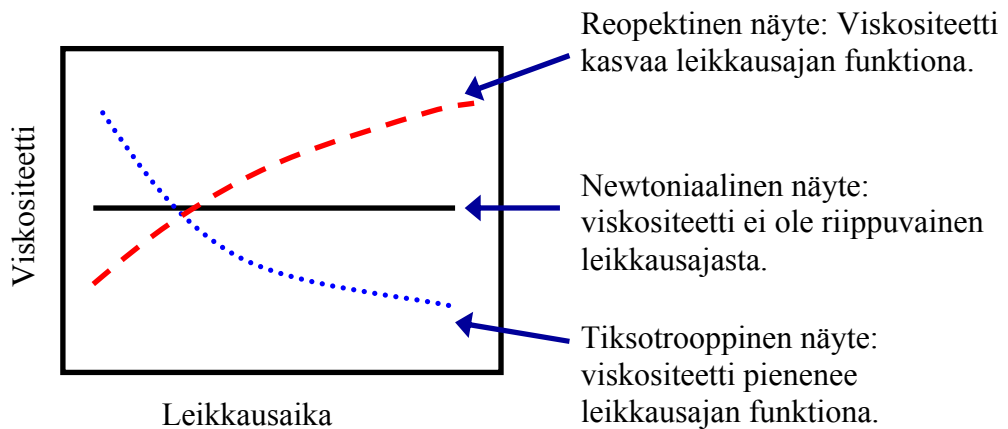
Kuva 5 Leikkausnopeuden vaikutus viskositeettiin /8/

Viskositeetti voi riippua myös leikkausajasta. Ajan vaikutusta viskositeettiin kuvataan käsitteillä tiksotrooppisuus ja reopektisyys. /3/

Tiksotropialla tarkoitetaan käyttäytymistä, jossa viskositeetti alenee rasituksen keston myötä (kuva 6). Yleensä leikkausohenevat aineet ovat myös tiksotrooppisia, sillä kuten leikkausnopeutta nostettaessa, myös leikkausaikaa kasvatettaessa heikot rakenteet hajoavat. /8/

Reopektisyys on tiksotropian vastakohta, eli viskositeetti kasvaa leikkausajan funktiona (kuva 6) /8/. Reopektisyys ei kuitenkaan useimmiten ole todellista käyttäytymistä, vaan johtuu esimerkiksi haihtumisesta tai kuiva-ainepitoisuuden tai pastan ilmapitoisuuden suurenemisesta testin aikana. /3/

Useimmat päällystyspastat ovat tiksotrooppisia alhaisilla leikkausnopeuksilla. Korkeilla leikkausnopeuksilla rakenteet hajoavat välittömästi, joten viskositeetti ei ole aikariippuvainen. /8/



Kuva 6 Leikkausajan vaikutus viskositeettiin /8/

Päällystyspastojen viskositeettia voidaan muuttaa haluttuun suuntaan muuttamalla tiettyjä pastan ominaisuuksia. Viskositeettia voidaan nostaa pienentämällä pigmentin hiukkaskokoa, muuttamalla hiukkasmuotoa pallomaisesta levymäiseksi, kaventamalla pigmentin hiukkaskokojakaumaa ja lisäämällä vesiliukoisia polymeerejä. Myös pastan sisältämä ilma nostaa viskositeettia. Viskositeettia voidaan pienentää lisäämällä helpommin pakkautuvia pigmenttejä. /5/

4.2 Viskoelastisuus

Viskoelastisuus viittaa reologiseen käyttäytymiseen, jossa aineella on sekä viskoottisia, että elastisia ominaisuuksia. Täysin elastinen aine muuttaa muotoaan niin kauan kun se on rasitettuna. Kun rasitus poistetaan, palautuu kappale täysin alkuperäiseen muotoonsa. Esimerkiksi päällystyspastat ovat hyvin elastisia matalilla leikkausnopeuksilla, mutta korkeilla leikkausnopeuden alueilla pastojen rakenteet rikkoutuvat ja ne käyttäytyvät viskoottisten nesteiden tavoin.

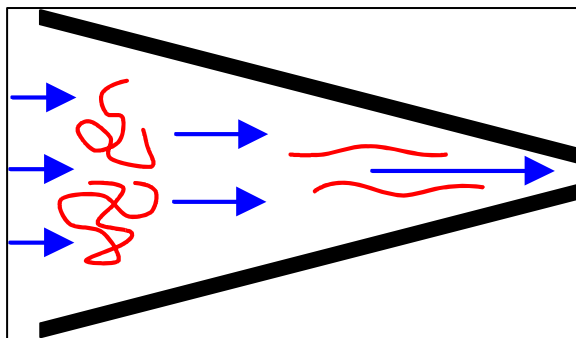
Päällystyspastat ovat siis viskoelastisia aineita. /6, 8/

Päällystyspastojen viskoelastiset ominaisuudet johtuvat pääasiassa pigmentti- ja lateksipartikkelien sekä paksuntajina käytettyjen vesiliukoisten polymeerien, apupaksuntajien sekä vedensitoja-aineiden yhdistymisestä ja saostumisesta. Kaoliinin vaihtaminen karbonaattiin vähentää elastista käyttäytymistä. Kuiva-ainepitoisuuden kasvattaminen lisää elastista käyttäytymistä, koska kasvanut kuiva-

ainepitoisuus lisää partikkelien välisiä vuorovaikutuksia. Lateksin lisäys yleensä vähentää elastista käyttäytymistä. CMC:n tai hydroksietyyliselluloosan (HEC) käyttö lisää elastista käyttäytymistä verrattuna resepteihin, jotka sisältävät tärkkelystä. Myös paksuntajien määrän kasvatus lisää elastista käyttäytymistä. /6/

4.3 Venymäviskositeetti

Venymäviskositeetilla tarkoitetaan kiihtyvän virtauksen vastusta. Virtausnopeus kasvaa supistuvassa virtauskanavassa, jolloin polymeeriketjut venyvät kiihtyvän virtauksen suuntaan (kuva 7). Ketjujen venyminen aiheuttaa energian vähenemistä. /8/ Venymäviskositeetillä on merkittävä rooli paperin päällystysprosessissa, jossa päällystyspasta joutuu kiihtyvien virtausten kohteeksi mm. teräpäällystyksen tapauksessa terän nipissä sekä telojen nipissä /17/.



Kuva 7 Virtausnopeuden kasvu ja polymeeriketjujen venyminen supistuvassa virtauskanavassa /17/

Päällystyspastoissa venymäviskositeetti yhdistetään paksuntajiin. Polymeeriketjut venyvät, kun päällystyspasta joutuu kiihtyvän virtauksen alaiseksi kapenevassa kanavassa. Venymisen vuoksi menetetään tietty energiamäärä, ja tätä energian menetystä kutsutaan venymäviskositeetiksi. Päällystyspastoilla, joissa käytetään tärkkelystä paksuntajana, ei juuri ole venymäviskositeettia. CMC voi aiheuttaa jonkin verran venymäviskositeettia, mutta suurimmat arvot on saatu pastoilla, jotka sisältävät PVA:ta. Vieläkin korkeampia venymäviskositeetteja voidaan saavuttaa käyttämällä tarkoitukseen erityisesti kehitettyjä paksuntajia. /17/

Venymäviskositeettia on mitattu melko vähän, mutta periaatteessa sitä voidaan mitata kapillaariviskosimetrillä tai venymäreometreillä. Molemmissa on ongelmansa; kapillaariviskosimetreillä venymäviskositeetin mittaaminen on vaikeaa ja epätarkkaa, venymäreometreillä taas mittaolosuhteet ovat kaukana prosessin todellisista oloista. /8/ Eräs venymäviskositeetin mittaustapa on aukoreometri. Siinä näyte virtaa lyhyen pyöreän aukon läpi. Näytteen virtausnopeutta aukon läpi kontrolloidaan säätämällä ruiskutuspainetta. Vaikka aukko on yleensä hyvin lyhyt verrattuna sen halkaisijaan, syntyy aukon sisäänkäynnissä aina viskositeetista johtuva painehäviö. Tämän lisäksi pastan virtausnopeus kasvaa rajusti aukon sisäänkäynnillä ja tietty määrä ruiskutuspainesta muuttuu fluidin kineettiseksi energiaksi. Jos näytteellä on huomattavaa venymäviskositeettia, syntyy painehäviöitä kiihtyvän virtauksen vuoksi. Kokonaispainehäviö voidaan ilmaista kaavan 3 avulla:

$$P = P_k + P_v + P_e \quad (3)$$

missä P_k on kineettisen energian aiheuttama painehäviö, P_v on viskositeetin aiheuttama painehäviö ja P_e on venymäviskositeetin aiheuttama painehäviö. Kineettinen energia voidaan laskea kaavan 4 avulla:

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{Q}{\pi \cdot R^2} \right)^2 \quad (4)$$

missä ρ on näytteen tiheys ja R on aukon säde.

Näytteen virtausta aukon läpi kuvataan usein Eulerin numerolla. Se määritellään kaavan 5 mukaan:

$$Eu = \frac{P}{P_k} \quad (5)$$

Mitä korkeampi Eulerin numero on, sitä suurempi on viskositeetin tai venymäviskositeetin aiheuttama painehäviö. Koska osa ruiskutuspainesta muuttuu

aukon sisäänkäynnissä aina kineettiseksi energiaksi, ei Eulerin numero voi olla alle 1. /17/

Teräpäällistyksessä päällystypastan venymäviskositeetin ollessa korkea vaaditaan korkeampia teränkuormia. Tämä on haitallista, kun kyseessä on korkeat konenopeudet ja pienet päällystemäärät. Matalammilla tuotantonopeuksilla venymäviskositeetti voi olla hyödyllistä. Jos päällystypastalla on korkea venymäviskositeetti, korkea päällystemäärä on helpompi saavuttaa ilman vikoja päällysteessä. /17/

Venymäviskositeetin uskotaan olevan haitallista filminsiirtopäällistyksessä. Päällystypastafilmi halkeaa telan nippien auetessa. Tämä aiheuttaa päällystypastafilamenttien syntymisen. Kun filamentit venyvät nipin auetessa, hajoavat ne pieniksi päällystypastapisaroiksi. Jos pastalla on venymäviskoottisia ominaisuuksia, filamentit voivat venyä paljon ennen hajoamistaan, mikä voi ilmetä vakavana sumuamisiongelmana. /17/

Verhopäällistyksessä putoava päällystypastaverho osuu liikkuvaan paperirataan. Päällystypasta joutuu suuren leikkauksen venyvän virtauksen alaiseksi välittömästi kohdattuaan paperiradan. Päällystypastat, joilla on venymäviskositeettia, ovat vakaampia venytettäessä. Tämän vuoksi venymäviskositeetin uskotaan olevan hyödyllistä verhopäällistyksessä päällystekerroksen laadun takia. /17/

4.4 Vesiretentio

Vesirentiolla tarkoitetaan pastan kykyä pidättää itsessään vettä tai nestefaasia. Kun päällystypasta on kontaktissa pohjapaperin kanssa, tietty määrä päällystypastan nestefaasista penetroituu paperirainaan. Päällysteen ankkuroituminen paperirainaan edellyttää, että tietty vesi- ja sideainemäärä imeytyy hallitusti rainaan /5, 10/.

Huonolla vesirentiolla tarkoitetaan sitä, että vesi poistuu pastasta helposti. Liian alhainen vesiretentio voi aiheuttaa ongelmia. Kuiva-ainepitoisuus nousee nopeasti

ennen terää (teräpäällystyksessä), josta aiheutuu huono ajettavuus, päällystemäärän säätöongelmia sekä päällysteen huono pinta. Jos vettä imeytyy paperiin liikaa, vaeltavat sideaineet veden mukana. Vaellus on erityisesti ongelmana liukoisilla sideaineilla kuten tärkkelyksellä. Polymeeridispersioilla ilmiö on heikompi. Vaelluksessa sideaineet kulkeutuvat veden mukana, jolloin päällysteeseen syntyy sideaineköyhiä ja -pitoisia alueita. Erilainen sideainepitoisuus eri päällystekerroksissa huonontaa päällysteen z-suuntaista lujuutta ja aiheuttaa palstautumisriskin. Konekierrossa olevan pastan koostumus ja ominaisuudet voivat muuttua alhaisen vesiretention seurauksena ja pasta köyhtyy vesiliukoisista sideaineista. Myös pohjapaperi heikentyy liiallisen veden imeytymisen takia. Liian korkea vesiretentiokin voi aiheuttaa ongelmia. Päällystekerros voi esimerkiksi irrota pohjarainasta heikon sitoutumisen takia tai päällysteen kuivatus voi vaikeutua. /5/

Kaikilla päällystyspastan komponenteilla on merkitystä vesiretention. Vesiretention vaikutetaan pääasiassa pastan nestefaasin koostumuksella, mutta myös pastan pigmenttityypillä on vaikutusta. Käyttämällä levymäistä pigmenttiä, esimerkiksi kaoliinia kalsiumkarbonaatin sijaan, voidaan vesiretentiota parantaa. Levymäiset partikkelit muodostavat tiiviimmän suodoskakun, jolloin vesi ei pääse penetroitumaan paperiin niin helposti. Pastan vesiretentiota voidaan parantaa myös kasvattamalla vesifaasin viskositeettiä, eli lisäämällä paksuntajia. Jos viskositeetti on liian matala, neste penetroituu helposti partikkelien muodostaman suodoskakun läpi pohjapaperiin. Myös kuiva-ainepitoisuutta kasvattamalla voidaan parantaa vesiretentiota. /10, 21/

Huono vesiretention voi joissain päällystysprosesseissa olla hyvä asia. Esimerkiksi teräpäällystyksessä, käytettäessä suhteellisen suuria päällystysmääriä, voi huono vesiretention helpottaa pastan annostelua terällä. Filminsiirtopäällystysperiaate taas vaatii, että tietty määrä vettä siirtyy pastasta pohjapaperiin. /10/

5 PÄÄLLYSTEKOMPONENTTIEN REOLOGISET OMINAISUUDET

Pintaliiman tehtävänä on sitoa rainassa olevia raaka-aineita itseensä.

Pintaliimauksessa lisätään kuitujen välisiä sidoksia vesiliukoisilla polymeereillä, tyypillisesti tärkkelyksellä. Muita pintaliimauksessa käytettäviä kemikaaleja ovat esimerkiksi erilaiset selluloosajohdannaiset (CMC), polyvinyylialkoholi (PVA), sekä näiden yhdistelmäseokset. /21/

5.1 Kaoliini

Pigmenttipartikkelien muoto, koko ja kokojakauma vaikuttavat pastan reologiaan merkittävästi. Pigmentin hiukkaskoon kasvaessa pastan viskositeetti pienenee ja dilatanssin riski suurenee. Toisaalta myös sideaineen tarve pienenee. Hiukkaskoon kasvaessa liian suureksi päällystetyn paperin opasiteetti ja sileys pienenevät, sekä kiilto alenee. Päällysteen peittokyky myös heikkenee ja painoväriin absorptio kasvaa. Pigmentin levymäisyyden kasvaessa päällysteen viskositeetti suurenee ja pasta osoittaa enemmän pseudoplastista ja tiksotrooppista käyttäytymistä. Päällysteen peittokyky kasvaa ja päällystetyn paperin kiilto ja sileys kasvavat. Toisaalta myös sideaineen tarve kasvaa. /5/

Kaoliini on yleisimmin käytetty pigmentti. Kaoliinipartikkelit ovat litteitä ja levymäisiä, kun taas kalsiumkarbonaatilla on pakkaantuvampi rakenne. Tämän vuoksi kaoliinia sisältävällä pastalla on paljon korkeampi viskositeetti korkeilla leikkausnopeuksilla kuin samassa kuiva-ainepitoisuudessa olevalla kalsiumkarbonaattipastalla. /6/ Suuret kaoliinipartikkelit lisäävät korkean leikkausnopeuden viskositeettia. Päällysteeseen suuret kaoliinipartikkelit vaikuttavat kiiltoa alentavasti ja karkeutta kasvattavasti. Korkean leikkausnopeuden viskositeettia voidaan pienentää lisäämällä pastaan hiukkaskooltaan pienempiä kaoliinipartikkeleita, jotka juuri täyttävät kookkaampien partikkelien väliset huokokset. Pienet partikkelit toimivat tällöin pastassa kuulalaakerien tavoin. Laaja kaoliinipartikkelien kokojakauma parantaa myös pastan vesiretentiota ja on yleensä reologisten ominaisuuksien kannalta kapeaa partikkelikokojakaumaa parempi. /15/ Paljon kaoliinia sisältävillä pastoilla

esiintyy yleensä huomattavasti leikkauspaksunevaa käyttäytymistä johtuen kaoliinin suuresta hiukkaskoosta. /6/

5.2 Kalsiumkarbonaatti

Kalsiumkarbonaatit ovat tärkeitä päällystys- ja täytepigmenttejä.

Kalsiumkarbonaattia esiintyy luonnossa erilaisissa kivilajeissa: liidussa, kalkkikivessä ja marmorissa. Liidusta valmistetun kalsiumkarbonaatin vaaleus on yleensä nykykäyttöön liian alhainen. Karbonaatit ovat pääpiirteissään pyöreähköjä, mutta silti särmikkäitä. Ne eivät siten pysty sulkemaan paperin pintaa kuten levymäiset kaoliinipigmentit. Toisaalta tämä voi olla hyödyksi käyttötarkoituksesta riippuen. /3, 6/

Kalsiumkarbonaateilla saadaan aikaan tiettyjä etuja. Kalsiumkarbonaatti lisää paperin kitkaa, joka on usein tarpeellista arkkien käsittelyn ja rullien muodostamisen kannalta. Karbonaatti lisää myös paperin pinnan mikrohuokoisuutta, joka on eduksi etenkin mustesuihkutulostuksessa. Karbonaatilla saadaan aikaan hyvä kiiltokonstrasti, eli painettu kuva saadaan kiiltäväksi, mutta paperissa ei ole lukemista häiritsevää kiiltoa. Huippukiiltävää pintaa tavoiteltaessa karbonaatti ei ole paras vaihtoehto. /3/

Jauhetulla kalsiumkarbonaatilla on erinomaiset reologiset ominaisuudet johtuen sen rakenteesta. Korvattaessa osa kaoliinista kalsiumkarbonaatilla laskee viskositeetti huomattavasti. Tämän ansiosta on mahdollista nostaa päällystyspastan kuiva-ainepitoisuutta ja ajaa silti korkeilla nopeuksilla ilman ongelmia. /6/

5.3 Lateksit

Lateksit ovat synteettisiä vesidispersioita, jossa veteen on dispergoitu normaalisti halkaisijaltaan 0,1–0,2 µm kokoisia polymeeripalloja. Päällystyslatekseissa esiintyviä monomeereja ovat mm. styreeni, butadieeni, vinyliasettaatti, butyyliakrylaatti ja metyyliimetakrylaatti. Lateksien etuina ovat tasalaatuisuus, helppokäyttöisyys ja hyvä sidoslujuus. Latekseilla on myös hyvä yhteensopivuus

toisten sideaineiden kanssa ja niillä on vähäinen vaikutus päällysteen viskositeettiin ja suurempi sidosvoima verrattuna esimerkiksi tärkkelykseen. Päällysteen kuivuessa polymeeripallot sulautuvat yhteen kalvoksi, jolloin pigmenttipartikkelit sitoutuvat toisiinsa ja pohjapaperiin. /3, 5/

Latekseilla on suhteellisen huono vedenpidätyskyky. Tästä syystä niitä ei käytetä pastojen ainoana sideaineena, vaan niiden ohella käytetään tärkkelystä, CMC:tä tai synteettisiä paksuntajia. Heikon vedenpidätyskyvyn lisäksi lateksien haittoja ovat lämpötilariippuvuus, pH-riippuvuus, vaahtoavuus, herkkyys leikkausvoimille sekä riippuvuus esimerkiksi sinkki- ja alumiini-ioneista. Yleisimmin käytetyt lateksityypit ovat styreeni-butadieeni, akryylilateksit ja polyvinyliasetaatti. /3/

Styreeni-butadieenilateksi (SB-lateksi) on eniten käytetty lateksi. Kovan monomeerin styreenin osuus on yleensä 60 ± 15 % ja pehmeän monomeerin butadieenin osuus on 40 ± 15 %. Styreenimäärän nousu parantaa pinnan kiiltoa ja kovuutta, kun taas butadieenin osuuden kasvu lisää pinnan joustavuutta ja pehmeyttä. SB-lateksit antavat paperille hyvän märkä- ja kuivapintalujuuden. Pinnasta tulee melko tiivis, mikä huonontaa painoväriabsorptiota. Lisäksi SB-lateksit kellastuvat auringossa. /3, 6/

Akryylilateksit antavat päällysteelle hyvän vedenkeston, ovat hajuttomia ja kestävät auringon valoa. Akryylilateksit ovat kirkkaita ja antavat kalanteroitaessa hyvän kiillon. Hinnaltaan ne ovat SB-latekseja kalliimpia. /3/

Polyvinyliasetaattilateksit (PVAc) antavat latekseista huokoisimman päällysteen. Ne kestävät hyvin auringonvaloa ja ovat hajuttomia. Haittana on muita latekseja huonompi sitomislujuus. Polyvinyliasetaattilateksit ovat hyvin polarisoituneita ja hydrofiilisiä. Lisäksi niillä on tapana hydrolysoitua ja tuottaa polyvinyylialkoholia, jolloin niistä tulee entistä hydrofiilisempiä. Nämä ominaisuudet lisäävät päällystyspastan viskositeettiä ja päällysteen huokoisuutta verrattuna SB- ja akryylilateksihin. Toisaalta korkean matalan leikkausnopeuden viskositeetin ja korkean leikkausnopeuden dilatanttisen käyttäytymisen vuoksi polyvinyliasetaattilatekseja ei voida käyttää kovin korkeissa pastan kuiva-ainepitoisuuksissa. /3, 6/

Päällystyspastan reologiaan vaikuttaa lateksin fysikaaliskemialliset ja kolloidiset ominaisuudet. Näitä ovat esimerkiksi kolloidinen kestävyys, mekaaninen kestävyys, partikkelikoko ja -kokojakauma, pinta-aktiiviset ryhmät ja niiden määrä, pH sekä partikkelien muodonmuutoskyky. Koska matala viskositeetti korkeilla leikkausnopeuksilla parantaa päällystyslaitteen ajettavuutta, voidaan ajettavuutta parantaa kasvattamalla lateksien kolloidista kestävyttä, pienentämällä lateksin partikkelikokoa, kasvattamalla pienten partikkelien määrää käytettäessä kaksijakeista lateksia sekä nostamalla pH:ta. /6/

5.4 Polyvinyylialkoholi (PVA)

Polyvinyylialkoholia (PVA) valmistetaan hydrolysoimalla polyvinyyliasetaattia. PVA on ainoa täysin synteettinen sideaine, mikä selittää sen korkean hinnan. PVA:ta käytetään pastoissa lähinnä sen tehokkaan optisen kirkasteen kantominaisuuden takia. Kun PVA:ta on pastassa riittävä määrä, saadaan optisista kirkasteista täysi teho irti ja päällystekerroksen vaaleus maksimoitua. Filmimuodostusominaisuuksiltaan PVA on hyvin tehokas. Lisäksi se antaa erittäin korkean sidosvoiman pastassa. Osittain tästä syystä PVA:ta annostellaan pastaan yleensä melko vähän, luokkaa 0–1 osaa. PVA:n sitoutuessa pigmentteihin saattaa syntyä ajettavuusongelmia, lähinnä viirutusta. Myös tämän vuoksi PVA:ta annostellaan varoen. Pastan valmistuksessa on syytä huomioida PVA:n aiheuttama nk. shokkivaikutus, jolloin se muodostaa sidoksia kaoliinin kanssa ja nostaa viskositeettia voimakkaasti. PVA ei heikennä paperin kiiltoa CMC:n tavoin. Vesiretentiota PVA ei anna yhtä hyvin kuin CMC eikä täten vaikuta juurikaan pastan vesiretention. /20/

PVA mielletään yleensä enemmän sideaineeksi tai optisten kirkasteiden kantajaksi, mutta se toimii pastassa myös paksuntajana. PVA muodostaa vahvoja vetysidoksia kaoliinin kanssa ja voi olla dilatanttinen korkeilla leikkausnopeuksilla. PVA:n rakenteet ovat pseudoplastisia ja hyvin elastisia. PVA lisää tärkkelyksen tavoin vesifaasin viskositeettia. Eniten viskositeetin kasvuun vaikuttavat PVA:n hydrolyysin aste ja molekyylipaino. Korkeammin hydrolysoitunut ja korkean molekyylipainon omaava PVA nostaa päällysteen viskositeettia. Myös ketjuuntuminen vaikuttaa PVA:n reologiaan. /6/

PVA:ta sisältävien päällystyspastojen viskoelastisuus on korkeampi kuin tärkkelystä tai karboksimeetyliselluloosaa (CMC) sisältävien päällystyspastojen viskoelastisuus. PVA lisää pastan viskoelastisuutta adsorboitumalla pigmentteihin. PVA:n polymeeriketjut adsorboituvat kaoliini- ja polystyreenipartikkeleihin muodostaen pitkiä häntiä ja suhteellisen paksun adsorptiokerroksen. Suhteellisen suurissa kuiva-aineen tilavuuskonsentraatioissa PVA:n hännät vaikuttavat toisiinsa hylkimisvoimien kautta ja lisäävät viskoelastisuutta huomattavasti. /16/

5.5 Tärkkelys

Tärkkelys on selluloosan jälkeen yleisimmin esiintyvä polysakkaridi kasvimaaailmassa. Paperiteollisuudessa sitä käytetään monissa kohteissa, esimerkiksi kuivalujuutta lisäävänä aineena massan joukossa, retentioaineena ja päällystykseen sideaineena. /20/

Tärkkelyksen liimausominaisuudet johtuvat glukoosiyksiköiden sisältämistä lukuisista OH-ryhmistä, jotka kykenevät muodostamaan vetysidoksia. Liuoksessa vetysidokset muodostuvat tärkkelyksen ja vesimolekyylien välille. Kun paperiraina kuivataan pintaliiman lisäyksen jälkeen, vesi poistuu tärkkelysliuoksesta ja erittäin lujat vetysidokset muodostuvat tärkkelyksen ja muiden väliaineiden välille. Tällöin tärkkelys toimii liimana. /21/

Päällystyksessä käytetyt tärkkelyslajit ovat lähinnä peruna- ja maissitärkkelyksiä. Käytetyt tärkkelyslajit ovat aina konvertoituja, eli pilkottuja, jolloin tärkkelyksen viskositeetti saadaan halutulle tasolle. Saatavilla on näin ollen eri viskositeettitasolle pilkottuja tärkkelystyyppisiä. Tärkkelyslietteellä ei ole sidontakykyä, vaan tärkkelys on liuotettava veteen, jolloin sidosvoimia muodostavat molekyylit vapautuvat. /20/

5.6 Karboksimeetyliselluloosa (CMC)

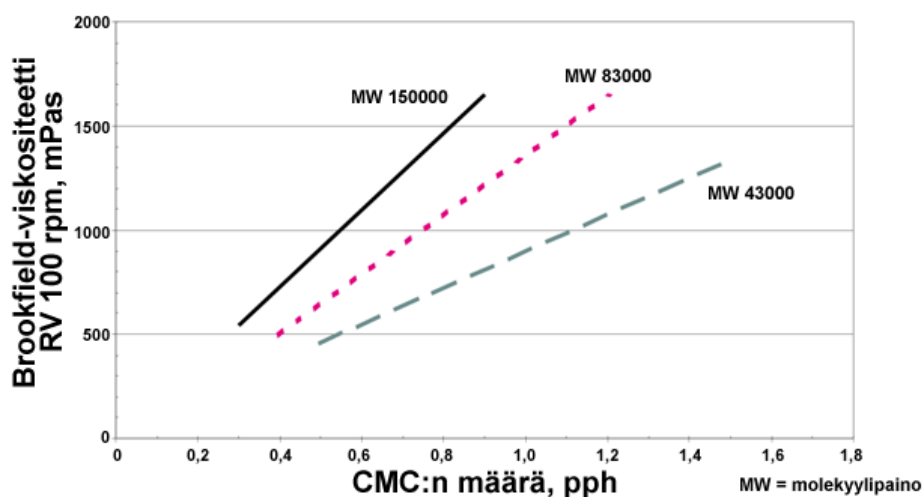
Karboksimeetyliselluloosan (CMC) valmistus tapahtuu reagoimalla selluloosa ja monokloorietikkahappo keskenään korkeassa pH:ssa. CMC on valkoista tai luonnonvalkoista jauhetta, joka on hajutonta, myrkytöntä ja luonnossa hajoavaa.

CMC liukenee helposti sekä kylmään että kuumaan veteen, mutta CMC voidaan myös lisätä kuivana suoraan pigmenttilietteeseen. CMC:n käyttömäärä pastassa on tyypillisesti 0–2 osaa, joten sen käyttötarkoitus on lähinnä toimia paksuntajana.

/20/

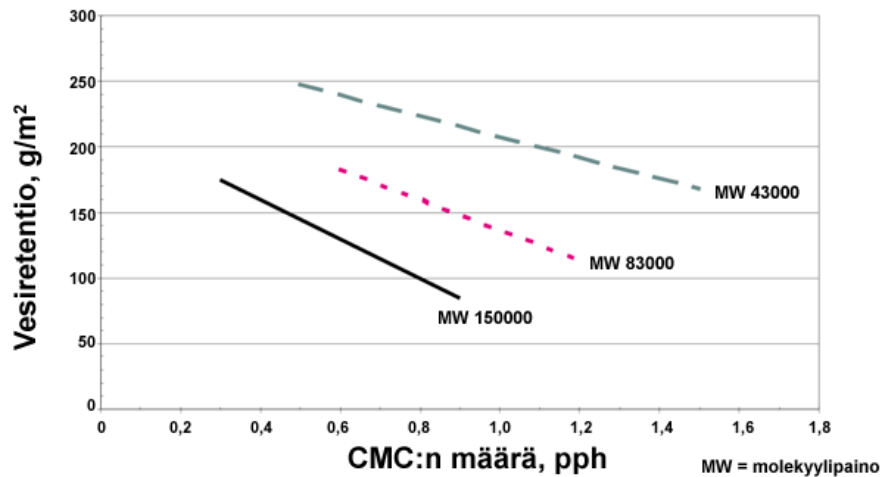
Eri CMC-lajeilla on eripituisia ketjuja, minkä vuoksi ne poikkeavat viskositeettiominaisuuksiltaan toisistaan. Eri lajit poikkeavat toisistaan myös substituutioasteeltaan, joka ilmoittaa, kuinka monta karboksyylimetyyliryhmää on liitetty yhteen glukoosiyksikköön. /20/

Päällystyspastoissa CMC:tä käytetään reologian ja vesiretention säätelijänä, mutta CMC toimii myös optisen kirkasteen kantajana. CMC:n sidosvoima on hyvä, mutta CMC:n merkitys sideaineena on kuitenkin pieni, koska pastoissa käytettävät määrät ovat niin alhaisia. CMC nostaa pastan nestefaasin viskositeettia ja tätä kautta myös pastan viskositeettia. CMC voi myös osittain adsorboitua pigmenttipartikkelien pintoihin ja ns. flokata niitä, jolloin viskositeetti myös näiden vuorovaikutusten johdosta nousee. Viskositeetin tasoon vaikuttaa CMC:n molekyyliaino ja määrä. Karboksimeetyyliselluloosan vaikutus viskositeettiin on nähtävissä alhaisilla leikkausnopeuksilla, kuten Brookfieldillä mitattaessa (kuva 8). /20/



Kuva 8 CMC:n määrän ja molekyyliainon vaikutus viskositeettiin /20/

CMC on hydrokolloidi, eli se sitoo vettä erittäin tehokkaasti, jolloin se nostaa pastan vesirenttiota. CMC:n ketjunpituus ja käytetty määrä vaikuttavat pastan vesirenttioon; mitä korkeampi viskositeetti ja mitä suurempi määrä, sitä parempi vesirenttio (kuva 9). /20/



Kuva 9 CMC:n määrän ja molekyylipainon vaikutus vesirenttioon /20/

CMC ei toimi ainoastaan vain viskositeetin ja vesirenttion säätelijänä, vaan myös dispergointiaineena. Käytännössä on havaittu, että pigmenttien puutteellinen dispergointi voi näkyä myös CMC:n toiminnassa. CMC toimii tällöin dispergointiaineena eikä anna toivottua viskositeettia eikä parannusta vesirenttioon. Tällainen tilanne voidaan korjata nostamalla CMC:n määrää tai lisäämällä pastaan dispergointiainetta. Käytettävä CMC-laatu määräytyy eri päällystysyksiköillä vaadittavan reologian ja vesirenttion mukaan (nopeus, applikointitapa, päällystemäärät, pastat, pigmentit). /20/

5.7 Hydroksietyyliselluloosa (HEC)

Hydroksietyyliselluloosa on ioniton, CMC:n tavoin yleisesti käytetty selluloosajohdannainen paksuntaja, jossa hydroksietyyliryhmät ovat kiinnittyneet polymeerirungon OH-ryhmiin eetterisidoksin. Tärkeimmät muuttujat ovat hydroksietyyliryhmien substituutioaste sekä molekyylipaino. Kasvattamalla hydroksietyyliselluloosan molekyylipainoa, voidaan viskositeettia ja elastisuutta kasvattaa. /6, 19/

6.1 Brookfield-viskosimetri

Brookfield-viskosimetri (kuva 11) on vääntömomenttiin perustuva eli rotaatioviskosimetri. Sillä voidaan mitata erittäin viskoottisten nesteiden viskositeetteja. /5/ Sillä pystytään mittaamaan vain hyvin matalia leikkausnopeuksia (alle $1\ 000\ \text{s}^{-1}$) /3/. Brookfield-viskosimetrillä mitattaessa valitaan ensin näytteelle sopiva anturi ja kierrosnopeus, jolla anturia pyöritetään nesteessä. Pyörimisen synnyttämä liike aiheuttaa viskositeettivastuksen, joka on sitä suurempi, mitä viskoottisempaa neste on. Tarvitaan yhä suurempaa vääntömomenttia viskositeettivastuksen voittamiseksi, jotta pyörittäminen tietyllä nopeudella olisi mahdollista. Tämä vääntömomentti mitataan. /18/

Brookfield-viskosimetriä on helppo käyttää ja se soveltuu hyvin laadunvalvontaan. Sillä voidaan myös tutkia, miten päällystyspasta käyttäytyy prosessin niissä osissa, joissa leikkausnopeudet ovat pienet (esimerkiksi pumppauksessa). Ajettavuusongelmien tutkimisessa Brookfield-viskosimetrillä ei ole hyötyä, koska sen leikkausnopeudet ovat liian matalat. /11/

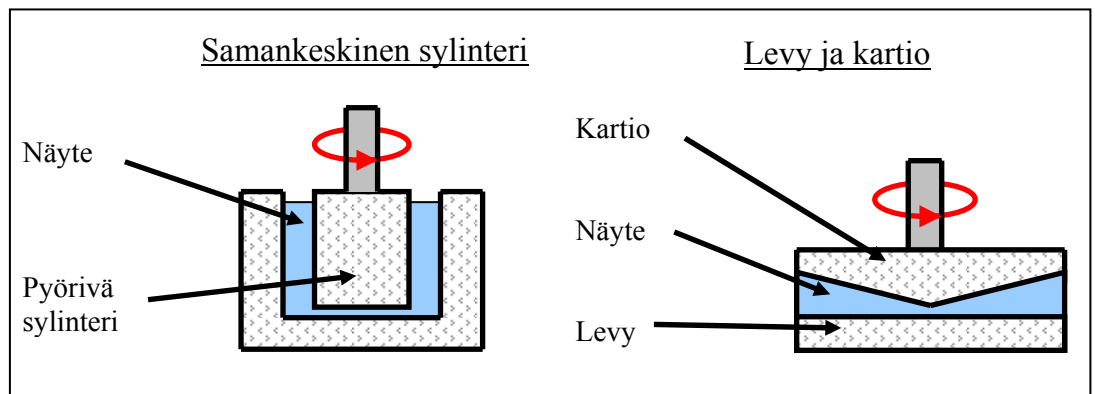


Kuva 11 Brookfield DV-1 -viskosimetri /18/

6.2 Rotaatioviskosimetrit

Rotaatioviskosimetreissä kahden levyn väli täytetään pastalla ja toista levyä pyöritetään. Tärkeimmät rotaatioviskosimetrit ovat samankeskiset

sylinteriviskosimetrit (Haake ja Hercules) sekä levy-kartio-viskosimetrit (Ferranti-Shirley). /11/ Viskosimetrien periaatteet on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12 Samankeskisen sylinteriviskosimetrin sekä levy-kartio-viskosimetrin periaatteet /11/

Rotaatioviskosimetreillä näytettä ei tarvita kuin pieni määrä, sillä kaikki mittauspisteet määritetään samasta näytteestä. Tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia, sillä leikkauslämpeneminen nostaa näytteen lämpötilaa.

Rotaatioviskosimetreillä voidaan myös tutkia aikariippuvaa viskositeettia. /11/

Rotaatioviskosimetreillä päästään suhteellisen korkeisiin leikkausnopeuksiin (10^4 – 10^5 s⁻¹), jotka vastaavat päällystyksessä applikointivaiheen leikkausnopeutta.

Rotaatioviskosimetrien leikkausnopeudet eivät kuitenkaan ole riittävät simuloimaan päällystysprosessin korkeimpia leikkausnopeuksia, kuten esimerkiksi terän nippiä, jossa leikkausnopeudet ovat luokkaa 10^6 s⁻¹. Parhaiten rotaatioviskosimetrit soveltuvat leikkausnopeuksien tutkimiseen pumppauksessa, sekoituksessa ja applikoinnissa. /11/

6.3 Kapillaariviskosimetrit

Kapillaariviskosimetrit ovat korkean leikkausnopeuden viskosimetrejä, joilla päästään jopa 200 000–10 000 000 s⁻¹ leikkausnopeuksiin.

Kapillaariviskosimetreihin kuuluu monia laitteita, joista esimerkkeinä voidaan mainita ACAV A2 ja A4. ACAV A4:llä päästään leikkausnopeuksissa välille 1 000–500 000 s⁻¹ ja ACAV A2:lla välille n. 100–2 000 000 s⁻¹. /8/ Periaatteena

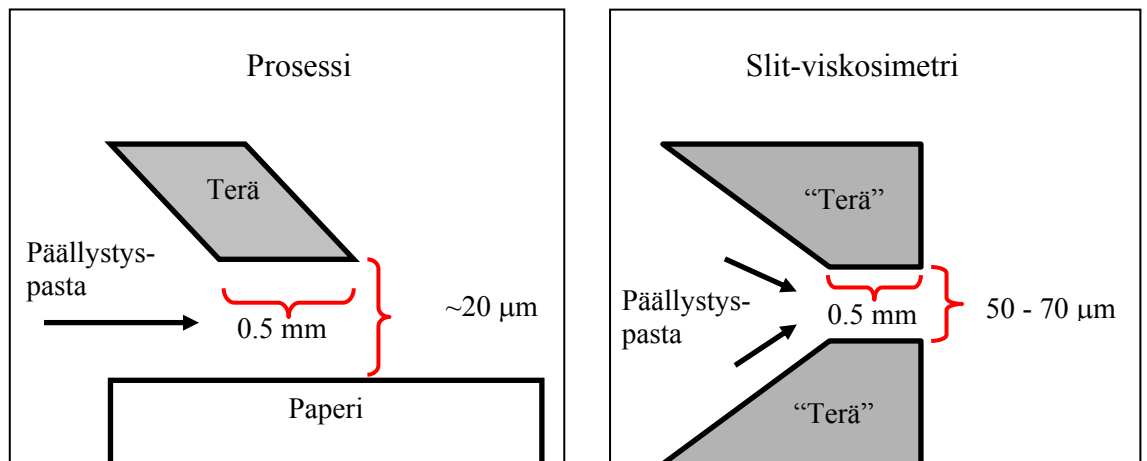
kaikissa kapillaariviskosimetreissä on mitata kapillaarin läpi kulkeva virtaama ja paineen vaihtelut, joita vaaditaan ylläpitämään virtaama. Kapillaarin mitat tunnetaan, joten leikkausnopeus, leikkausjännitys ja viskositeetti voidaan laskea. /11/

Kapillaariviskosimetrien etuna on leikkauslämpenemisen vähäisyys verrattuna rotaatioviskosimetreihin, koska tuore näyte virtaa jatkuvasti kapillaarin läpi. Toisaalta jatkuvan virtauksen vuoksi näytettä tarvitaan paljon. Myös viskositeetin aikariippuvuuden tutkiminen on huomattavasti vaikeampaa kuin rotaatioviskosimetreillä. /11/

Hyvin korkeiden leikkausnopeuksien ansiosta mittaustulokset ovat verrattavissa päällystysprosessin todellisiin leikkausnopeuksiin. Kapillaariviskosimetreillä voidaan tutkia myös matalampia leikkausnopeuksia. Esimerkiksi ACAV A2:lla voidaan mitata jopa niinkin matalia leikkausnopeuksia kuin 100 s^{-1} . Myös leikkausnopeusarvoja väliltä 10^4 – 10^5 s^{-1} voidaan käyttää ennustamaan pastan reologista käyttäytymistä pumppauksessa ja applikointiprosessissa. Viskositeettimittausten lisäksi kapillaariviskosimetreillä voidaan vertailla päällystyspастоjen venymäviskositeetteja ja määrittää päällystyspастоjen vesiretentioita. /11, 17/

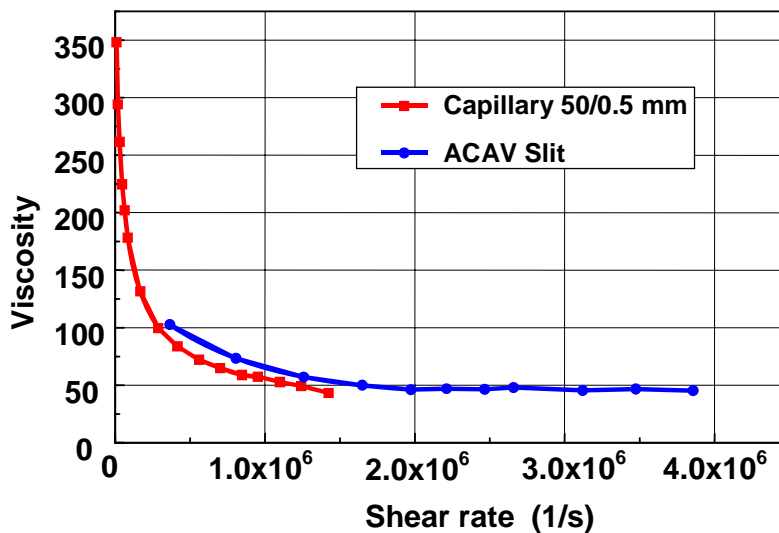
6.4 Slit-viskosimetrit

Kapillaariviskosimetreillä päästään korkeimpien päällystysprosessissa esiintyvien leikkausnopeuksien tasolle, mutta kapillaarin mitat ja muoto ovat täysin erilaiset todelliseen prosessiin verrattuna: kapillaarin poikkileikkaus on pyöreä ja halkaisija tyypillisesti 0,5 mm. Slit-viskosimetrien periaate on sama kuin kapillaariviskosimetrien, mutta virtauskanavan muoto jäljittelee terän nipin muotoa (kuva 13). Käyttämällä rakosuutinta kapillaarin sijasta on mahdollista saavuttaa realistiset leikkausajat, virtausnopeudet sekä leikkausnopeudet. /11/



Kuva 13 Todellisen prosessin ja slit-viskosimetrin periaatekuvat /11/

Slit-viskosimetreillä päästään äärimmäisen korkeisiin leikkausnopeuksiin, tarvittaessa jopa 10^7 s^{-1} . Lisäksi niillä pystytään tutkimaan pastan viskoelastisuutta ja venymäviskositeettia. Tällä hetkellä ainoa kaupallisesti saatava rakosuutin on ACA Systems Oy:n ACAV Slit. Kuvasta 14 nähdään slit-viskosimetrin (ACAV Slit) leikkausnopeusalue verrattuna saman valmistajan kapillaariviskosimetriin (ACAV A2). /11, 17/



Kuva 14 Tyypilliset kapillaari- ja slit-viskosimetreillä mitatut viskositeettikäyrät /11/

Slit-viskosimetrien suuttimen raot ovat hyvin pieniä, joten niillä on taipumusta tukkeutua. Tämän vuoksi näytteen huolellinen valmistelu ennen mittausta on tärkeää. /11/

6.5 Vesiretentiomittarit

Staattinen vesiretentio

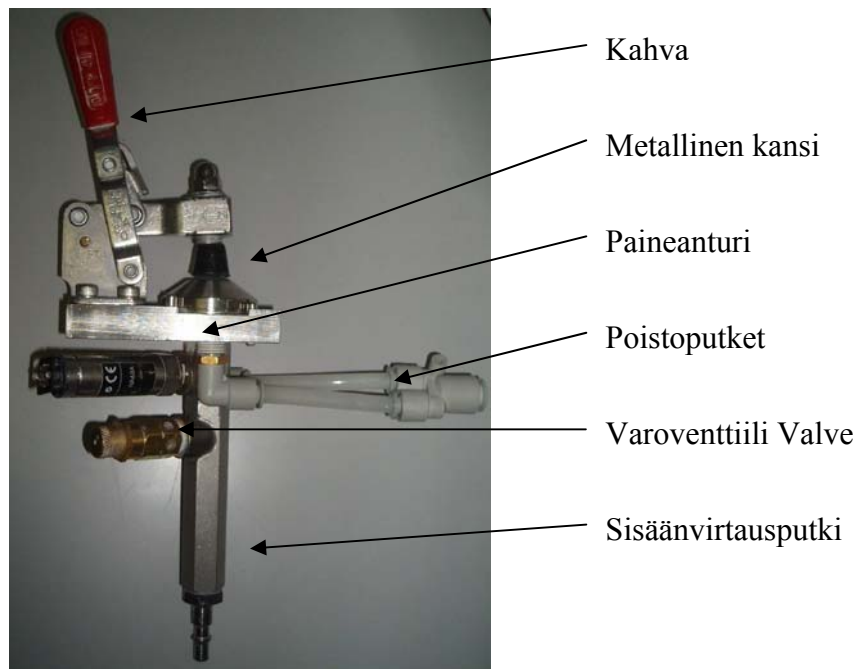
Staattisissa mittausmenetelmissä pintaliimapastan ei kohdistu leikkausvoimia. Staattista vesiretentiota voidaan mitata sähkönjohtavuuteen ja äänen nopeuteen perustuvilla mittauksilla, optisilla menetelmillä, Film Splitting -tekniikalla sekä painesuodatuksella. Kaikilla menetelmillä on hyvät ja huonot puolensa, mutta mikään niistä ei korreloi pastan vesiretentiota todellisissa prosessiolosuhteissa. /12/

Painesuodatusmenetelmiin kuuluvaa ÅA-GWR (Åbo Akademi -gravimetric water retention) käytettiin kokeellisessa osassa. Menetelmässä tietyn ajan kuluessa ja tietyn paineen alaisena suodattimen läpi siirtynyt vesimäärä voidaan määrittää gravimetrisesti. /12/

Dynaaminen vesiretentio

Dynaaminen vesiretentio korreloi päällystysprosessin todellisia olosuhteita. Ehkä kehittynein dynaamisen vesiretention mittauslaite on ACA Systems Oy:n ACAV DWR (Dynamic Water Retention). Dynaamisen vesiretention mittauksilla voidaan määrittää sekä päällystyspastan, että pohjapaperin vaikutus vesiretentioon.

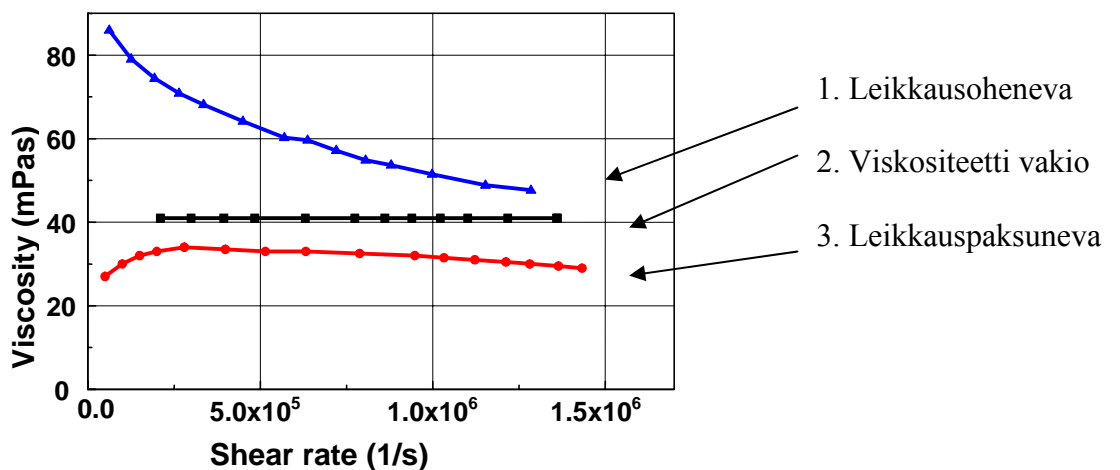
ACAV A4:llä tehtyjen dynaamisten vesiretentiomittausten muuttujia ovat pastan ja pohjapaperin lisäksi paine (bar), aika (ms tai s) ja lämpötila (°C). Mittaus tapahtuu metallisella mittausalueella, johon pasta virtaa alhaalta ylöspäin valitulla paineella (kuva 15). Mittausalueeseen asetetaan alimmaiseksi filteri, sen päälle punnittu pohjapaperi ja metallinen kansi. Laitteen työntäessä pastaa paineella mittausalueen ohi, siirtyy osa pastassa olevasta vedestä filterin läpi pohjapaperiin. Laite suorittaa mittauksen automaattisesti, jonka jälkeen kansi avataan ja pohjapaperi punnitaan. /1, 20/



Kuva 15 ACAV A4 dynaamisen vesiretention mittalaite

7 REOLOGIAMITTAUSTEN TULKINTA

Kuvassa 16 olevat viskositeetikäyrät ovat tyypillisiä korkeilla leikkausnopeuksilla.



Kuva 16 Tyypillisiä viskositeetikäyriä korkeilla leikkausnopeuksilla /9/

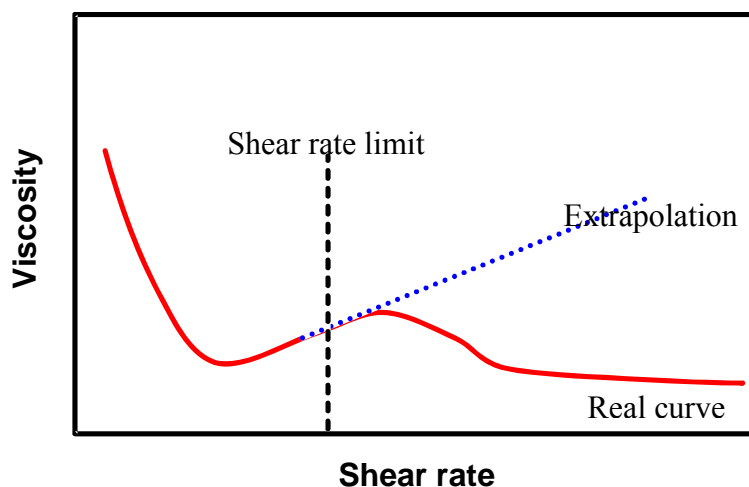
Vakiona pysyvä viskositeetti on yleensä hyvä asia, koska tällöin päällystyspastassa ei tapahdu rakenteellisia muutoksia. Jos viskositeetti ei riipu leikkausnopeudesta, ei

koneen nopeuskaan vaikuta siihen ja päällystyslaitteen parametreja on helppo säätää. /9/

Leikkausoheneva käyttäytyminen korkeilla leikkausnopeuksilla tarkoittaa, että päällystyspastassa on suhteellisen lujia rakenteita. Se voi tarkoittaa, että päällystyspasta on taipuvainen muodostamaan agglomeraatteja. Leikkausoheneva käytös voi johtua myös leikkauslämpenemisestä. Päällystyspastat, joilla on korkea viskositeetti, ovat aina hieman leikkausohenevia, koska mitä suurempi ruiskutusaine vaaditaan, sitä suurempi on näytteen leikkauslämpeneminen ja lämpenemisestä johtuva viskositeetin lasku. /9/

Monilla päällystyspastoilla on leikkauspaksuneva alue leikkausnopeuksilla 10^4 – 10^5 s^{-1} . Hyvin korkeilla leikkausnopeuksilla (yli 10^6 s^{-1}) päällystyspastat ovat hyvin harvoin, tuskin koskaan leikkauspaksunevia. Käytännön kokemuksen mukaan lievästi leikkauspaksuneva käyttäytyminen ei välttämättä ole haitallista ajettavuuden kannalta, vaan viskositeetin todellinen arvo on tärkeämpi. /9/

Yleensä leikkauspaksunevan leikkausnopeusalueen jälkeen pasta käyttäytyy leikkausohenevasti. Jos viskosimetrillä ei saavuteta riittävän suuria leikkausnopeuksia, voidaan pastan käyttäytyminen korkeilla leikkausnopeuksilla tulkita väärin (kuva 17). /9/



Kuva 17 Viskosimetrin rajallisuudesta johtuva virhetulkinta /9/

Vaikka lievästi leikkauspaksuneva käyttäytyminen ei yleensä huononna ajettavuutta, on se kuitenkin osoitus siitä, että virtaus ei ole tasaista.

Leikkauspaksunevan pastan kuiva-ainepitoisuuden nostaminen saattaa nostaa viskositeettia rajusti. Leikkauspaksunevan pastan tapauksessa vesiretentiolla saattaa olla merkittävä rooli. /9

KOKEELLINEN OSA

8 TYÖN TAUSTA JA TARKOITUS

Työn tarkoituksena oli selvittää tarrapaperikoneilla käytettävien pintaliimojen reologisia ominaisuuksia. Pintaliiman reologian tuntemisen avulla voidaan päällysteen peittokyvyn optimoimisen lisäksi ennustaa myös pintaliiman ajettavuutta. Jotkin liimoista ovatkin aiheuttaneet joitain ongelmia ajettavuudessa. Työn tarkoituksena oli löytää näihin ajo-ongelmiin mahdollinen ratkaisu viskositeetti- ja vesiretentiomittausten avulla.

Työhön kuului myös joidenkin eri kehitysvaiheessa olevien reseptien reologian arviointi. Mittausten tarkoituksena oli tarjota tietoa resepteistä, jotta niiden säätö mm. ajettavuuden kannalta olisi mahdollista. Samalla selvitettiin pintaliiman eri komponenttien sekoitussuhteiden vaikutusta pintaliiman reologisiin ominaisuuksiin.

9 TYÖN SUORITUS JA MITTAUSMENETELMÄT

9.1 Tutkitut pintaliimat

Työssä tutkittiin neljä tehtaalla käytössä olevaa liimaa sekä neljä reseptin mukaan laboratoriossa valmistettua pintaliimaa, jotka olivat muunnelmia tehdasliimoista. Yksi tehdasliimoista valmistettiin myös laboratoriossa. Valmiit pintaliimat sekä raaka-aineet saatiin Tervasaaresta.

Pintaliimoista määritettiin ennen viskositeetti- ja vesiretentiomittauksia kuiva-ainepitoisuus, Brookfield-viskositeetti 40°C:ssa, pH sekä tiheys. Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseen käytettiin Mettler Toledon Halogen Moisture Analyzer -laitetta, pH määritettiin pH-paperilla ja tiheys punnitsemalla dm^3 pintaliimaa ja laskemalla massa m^3 kohti.

Pintaliimat valmistettiin punnitsemalla reseptin mukaiset määrät raaka-aineita ja sekoittamalla ne oikeassa järjestyksessä. Sekoittimena käytettiin DT Paper Science -sekoitinta ja kierrosnopeutena 3000 rpm. Sekoitusta jatkettiin n. 15 minuuttia. Näytteet lämmitettiin n. 40°C:een vesihauteessa sekoittaen koko ajan pienellä kierrosnopeudella.

9.2 Vesiretentiomittaukset

Staattinen vesiretentio

Kaikille liimoille määritettiin staattinen vesiretentio. Staattisen vesiretention mittaukset suoritettiin Åbo Akademi GWR -mittalaitteella (kuva 18). Mittaus aloitettiin punnitsemalla alimmaiseksi asetettava imukartonki. Punnittu imukartonki laitettiin kumialustan päälle ja kartongin päälle asetettiin huokoskooltaan tunnettu suodatin. Näiden päälle asetettiin alumiinista tehty ontto sylinteri ja koko nippu asetettiin laitteeseen. Näyte lisättiin sylinteriin ja tulppa laitettiin kiinni. Ajanotto käynnistettiin. Laitteeseen johdettiin 0,5 bar:in paine 90 sekunnin ajan. Ajanoton loputtua systeemi purettiin ja imukartonki punnittiin suodattimen läpi kulkeutuneen vesifaasin määrittämiseksi. Tulokseksi saatu massojen erotus kerrottiin 1500:lla, jotta siirtynyt vesimäärä saatiin suhteutettua m² kohden.



Kuva 18 Åbo Akademi GWR -mittalaite

Dynaaminen vesiretentio

Dynaaminen vesiretentio määritettiin ACAV A4 DWR -laitteella (kuva 19). Pohjapaperina käytettiin päällystämätöntä paperia, joka saatiin Tervasaaresta. Paperista leikattiin stanssin avulla ympyrän muotoisia kappaleita, jotka punnittiin. Ennen varsinaisia mittauksia laite kalibroitiin haluttuun mittauspaineeseen veden avulla. Sylinteri täytettiin vedellä ja painikkeella DWR ON aloitettiin veden virtaus mittausalueen ohi. Laitteen takaa säädettiin paine hieman yli 1 baariin. Mittausaikana käytettiin 3 sekuntia. Kun kaikki vesi oli virrannut ulos sylinteristä, oli laite valmis ensimmäiseen mittaukseen. Pastanäyte sihdatiin ja kaadettiin sylinteriin. Jotta kanavissa ei olisi vettä, käynnistettiin DWR ennen ensimmäistä mittausta ja pastan annettiin virrata, kunnes poistoputkesta tuli pastanäytettä. Punnittu paperi asetettiin mittausalueelle filterin päälle, kansi kiinnitettiin ja mittaustapahtuma aloitettiin. Kun mäntä oli noussut ylös, paperi punnittiin uudelleen ja imeytynyt vesimäärä voitiin laskea kuivan paperin ja vettä imeneen paperin massojen erotuksena. Mittaus toistettiin viisi kertaa, joista saaduista tuloksista laskettiin keskiarvo.



Kuva 19 ACAV A4 DWR-laitteisto

9.3 Viskositeettimittaukset

Kapillaarimittaukset

Kaikille tutkittaville pintaliimoille suoritettiin viskositeettimittaukset ACAV A4 kapillaarilla ja kolmelle valitulle pintaliimalle tehtiin kapillaarimittaukset ACAV A2:lla, jolla päästiin korkeampiin leikkausnopeuksiin.

Mittaukset aloitettiin lämmittämällä viskosimetrin sylinteriä kuumalla vedellä, jotta näyte pysyisi mahdollisimman tasalämpöisenä läpi mittauksen. Sylinterin lämmityksen jälkeen ajettiin vesiajot, joilla varmistettiin, ettei kapillaarissa ole tukkeumia tai epäpuhtauksia. Laitteen läpi puhallettiin ilmaa, ettei vettä jäisi sylinteriin tai kanaviin.

Näytteen ollessa n. 40°C lämpötilassa se sihdattiin, jotta kapillaari ei tukkeutuisi mahdollisten roskien ja paakkujen vuoksi. Näyte kaadettiin sylinteriin ja tietokoneelle syötettiin pintaliiman arvot (kuiva-ainepitoisuus, lämpötila, pH ja tiheys), sekä valittiin sopiva painesarja. Käytetyt paineet olivat väliltä 20–90 bar ja mittaukset suoritettiin korkeasta paineesta matalaan. Käytetty kapillaari oli halkaisijaltaan 0,60 mm ja 50 mm pitkä. Kapillaari pestiin jokaisen mittauksen jälkeen, ettei viskositeetikäyrän taso nousisi mahdollisten tukkeumien vuoksi. Jokaiselle liimalle tehtiin useita toistoja, jotta voitiin varmistua tulosten luotettavuudesta.

Slit-mittaukset

Tutkittaville pintaliimoille tehtiin slit-viskositeettimittaukset ACAV A4:llä, sekä kolmelle pintaliimalle ACAV A2:lla. Ennen varsinaisia mittauksia sylinteriä lämmitettiin kuumalla vedellä kuten kapillaarimittauksissa. Myös vesiajot suoritettiin ennen mittauksia.

40°C lämpötilassa oleva näyte sihdattiin ja kaadettiin sylinteriin.

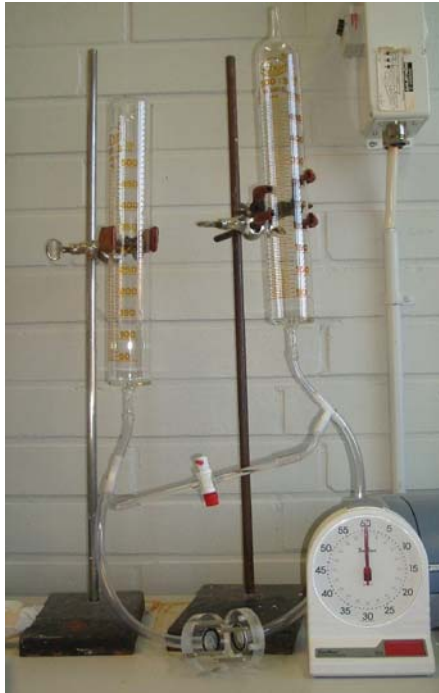
Tietokoneohjelmaan syötettiin pintaliiman arvot (kuiva-ainepitoisuus, lämpötila, pH ja tiheys) ja valittiin sopiva painesarja. Slit:llä paineet olivat väliltä 2-15 bar ja

mittaukset suoritettiin korkeammasta paineesta matalaan, jottei slit tukkeutuisi niin helposti. Slit-suutin avattiin ja pestiin jokaisen mittauksen välissä, koska raolla oli taipumusta tukkeutua jo yhden mittauksen jälkeen. Mittauksille tehtiin useita toistoja. Käytetty slit-rako oli 0,50 mm leveä ja halkaisijan oletettiin olevan 0,050 mm.

Slit-raon kalibrointi

Työn lopussa kävi ilmi, että ACAV A4:llä tehdyissä mittauksissa käytetty slit-rako oli kulunut käytössä, joten raon halkaisija määritettiin kalibroimalla rako tarkoitukseen kehitetyllä laitteistolla (kuva 20). Siinä kalibroitava slit kiinnitettiin letkujen väliin siten, että vesi virtaa suuttimeen kuten oikeissa mittauksissa. Vasemman puoleiseen putkeen laitettiin tislattua, huoneenlämpöistä vettä ja putkien välissä oleva hana avattiin, jotta vesi tasoittui molempiin putkiin. Pintojen tasoituttua oikean puoleisen putken pinnankorkeus kirjattiin ylös (nollataso). Vasenta putkea liikutettiin siten, että pinnankorkeus oikeassa putkessa nousi n. 400 mm tasolle. Hana suljettiin, jolloin korkeusero alkoi tasoittua slitin läpi. Ajanotto sekuntikellolla aloitettiin sopivasta aloitustilavuudesta. Veden annettiin valua noin 200 ml, jonka jälkeen ajanotto lopetettiin ja lopetustilavuus kirjattiin ylös.

Tietokoneohjelmaan syötettiin nollataso, aloituskorkeus, lopetuskorkeus, veden lämpötila, slitin pituus ja kulunut aika, joiden perusteella kone laski slitin todellisen halkaisijan. Kalibrointi toistettiin kolme kertaa, joiden perusteella laskettu keskiarvo osoitti slitin todellisen halkaisijan olevan 0,078 mm.



Kuva 20 Slit-raon kalibroimislaitteisto

Venymäviskositeetti -mittaukset

Kolmelle pintaliimalle, pintaliimoille 1, 2 ja 5 suoritettiin venymäviskositeetin mittaukset ACAV A2:lla. Alkuvalmistelut olivat samat kuin slit- ja kapillaarimittauksissa, eli sylinteriä lämmitettiin kuumalla vedellä ja ajettiin vesiajot. 40°C lämpötilassa oleva näyte sihdattiin ja kaadettiin kuivattuun sylinteriin. Koneelle syötettiin näytteen tiedot ja valittiin sopiva painesarja, jonka jälkeen laite suoritti mittauksen. Käytetyn aukon halkaisija oli 0,41 mm ja pituus 0,50 mm.

10 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

10.1 Vesiretentio

Pintaliimoille mitatut staattiset ja dynaamiset vesiretentiot on koottu taulukkoon 1. Vesiretentioita tarkasteltaessa käytetään pääasiassa dynaamisia vesiretentioita, jotka korreloivat todellista päällystysprosessia paremmin kuin staattinen vesiretentio.

Taulukko 1 Tutkittujen pintaliimojen vesiretentiot

	Pintaliima 1	Pintaliima 2	Pintaliima 3	Pintaliima 4
Staattinen vesiretentio g/m ²	35	37	81	129
Dynaaminen vesiretentio g/m ²	8,4	10,4	21,3	26,8

	Pintaliima 5	Pintaliima 6	Pintaliima 7	Pintaliima 8	Pintaliima 9
Staattinen vesiretentio g/m ²	39	40	91	102	157
Dynaaminen vesiretentio g/m ²	11,1	12,0	22,8	21,9	20,6

Taulukosta nähdään, että paras vesiretentio on pintaliimalla 1. Siitä tehdyllä muunnelmalla pintaliima 5:llä vesiretentio huononi hieman. Samoin kävi myös pintaliimojen 2 ja 3 muunnoksilla (pintaliimat 6 ja 7), joissa sideaine C korvattiin sideaineella B komponenttien osuuksien pysyessä samana. Kaikkien muunnelmien kuiva-ainepitoisuus kasvoi, minkä periaatteessa pitäisi parantaa vesiretenttiota. Sideaineen B ominaisuudet kuitenkin ovat sellaiset, että se vaikuttaa myös vesiretenttioon sitä huonontavasti.

Pintaliiman 4 muunnelma (pintaliima 8) oli ainoa, jossa vesiretentio parani alkuperäiseen pintaliimaan verrattuna. Vesiretenttion paraneminen johtuu ilmeisesti kuiva-ainepitoisuuden noususta, ei pigmentin ja sideaineen osuuksien muuttamisesta.

Pintaliimojen 3 ja 4 vesiretenttiot ovat erittäin alhaisia, mikä saattaa osittain johtua matalista kuiva-ainepitoisuuksista. Alhaisen vesiretenttion aiheuttaman sideainevaelluksen takia päällysteeseen voi syntyä sideaineköyhiä ja -pitoisia alueita, jotka heikentävät z-suuntaista lujuutta.

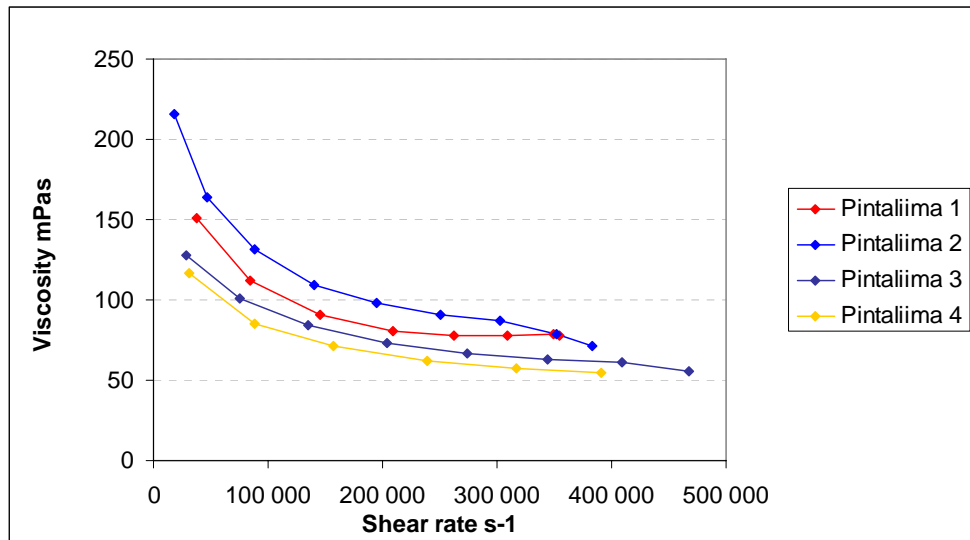
10.2 Kapillaariviskositeetti

Mittaukset ACAV A4:llä

ACAV A4 -laitteella suoritettujen viskositeettimittausten leikkausnopeusalue jäi alle 400 000 s⁻¹, koska laitteella ei pystytty saavuttamaan riittävän korkeita paineita. Tämän vuoksi viskositeettikäyristä ei voida päätellä pintaliimojen käyttäytymistä pintaliimausprosessissa, jossa leikkausnopeudet ovat korkeammat. Tarrapaperikoneiden leikkausnopeuksien on laskettu olevan luokkaa 500 000–

1 000 000 s⁻¹. Sen sijaan eri pintaliimojen viskositeettitasojen vertailu keskenään on mahdollista.

Seuraavaan kuvaajaan (kuva 21) on koottu tehtaalla käytössä olevien pintaliimojen kapillaariviskositeettikäyrät ACAV A4:llä mitattuna:

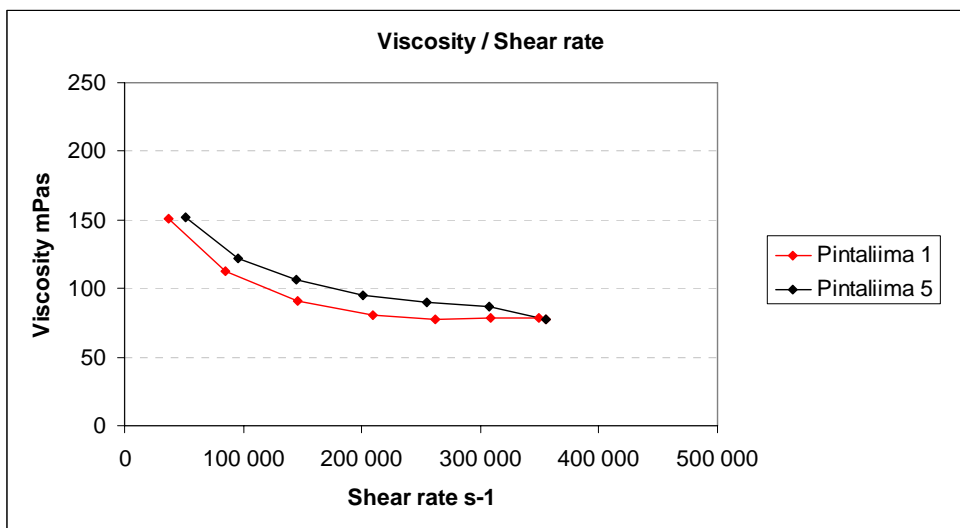


Kuva 21 Tehdasliimojen kapillaariviskositeettikäyrät

Kuvaajasta nähdään, että pintaliimalla 2 on korkein viskositeetti, pintaliimalla 1 viskositeetti on hieman matalampi ja pintaliimoilla 3 ja 4 viskositeetit ovat alhaisimmat. Tasoerot johtuvat kuiva-ainepitoisuuksien suurista eroista, sillä korkein kuiva-ainepitoisuus (pintaliima 2) on paljon korkeampi kuin matalin kuiva-ainepitoisuus (pintaliima 4). Myös raaka-aineilla ja niiden osuuksilla on merkitystä.

Matala viskositeetti kaikilla leikkausnopeuksilla kertoo yleensä vesiretentio-ongelmista, joten pintaliima 3:lla ja erityisesti pintaliima 4:llä voi olla ongelmia vesiretentiossa. Vesiretentiomittaukset tukevat päätelmää, sillä pintaliima 4:llä on selvästi alhaisin vesiretentio (taulukko 1).

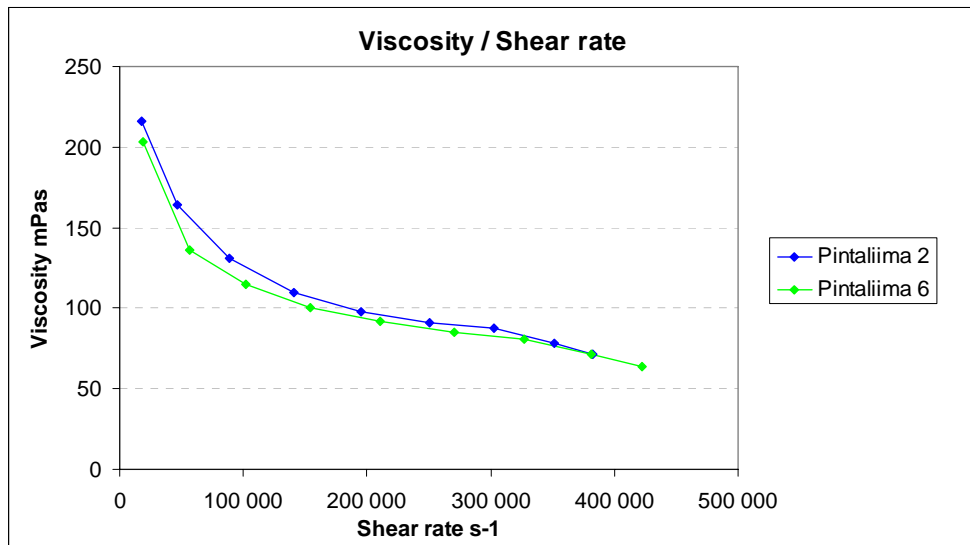
Myös tehdasliimoista tehdyille muunnelmille mitattiin kapillaariviskositeetit, joita verrattiin tehdasliimojen viskositeetteihin. Kuvassa 22 on pintaliiman 1, sekä siitä tehdyn muunnelman (pintaliima 5) kapillaariviskositeettikuvaajat.



Kuva 22 Pintaliima 1:n ja siitä tehdyn muunnelman kapillaariviskositeettikäyrät

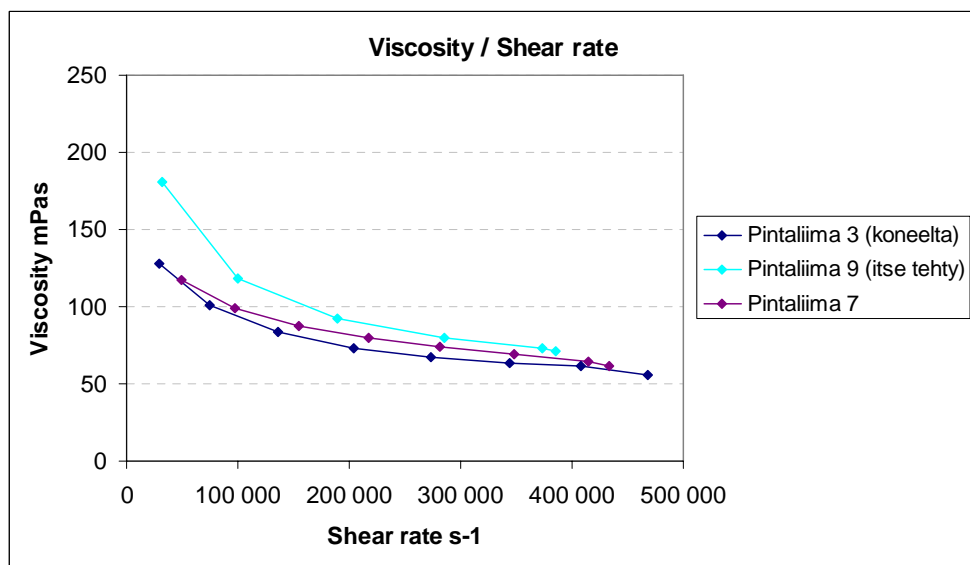
Kuvaajasta nähdään, että pintaliiman 1 viskositeetti kasvoi, kun puolet liiman sisältämästä sideaine A:sta korvattiin sideaine B:llä. Pintaliima 5 valmistettiin samaan Brookfield-viskositeettiin pintaliima 1:n kanssa, joten periaatteessa liimoilla olisi pitänyt olla sama viskositeetti. Kuiva-ainepitoisuus kasvoi, mikä voi osaltaan selittää viskositeetin kasvun. Toisaalta, vaikka matalan leikkausnopeuden viskositeetit olisivat samat, eivät liimat kuitenkaan välttämättä käyttäydy samoin korkeilla leikkausnopeuksilla, ja siten viskositeeteissa voi olla eroja.

Kuvassa 23 on pintaliima 2:n ja sideaine B:tä sisältävän pintaliiman 6:n kapillaariviskositeettikäyrät. Pintaliima 2:n, joka sisältää sideaine B:tä viskositeetti jäi hieman sideaine C:tä sisältävää pintaliima 2:ta matalammalle tasolle, vaikka kuiva-ainepitoisuus kasvoi. Muunnelma valmistettiin samaan Brookfield-viskositeettiin kuin pintaliima 2.



Kuva 23 Pintaliiman 2:n ja siitä tehdyn muunnelman kapillaariviskositeettikäyrät

Pintaliima 3:sta tehtiin laboratoriossa yksi täysin koneelta haettua liimaa vastaava pintaliima, sekä muunnelma, jossa sideaine C korvattiin sideaine B:llä. Kuvassa 24 on näiden pintaliimojen kapillaariviskositeettikäyrät:



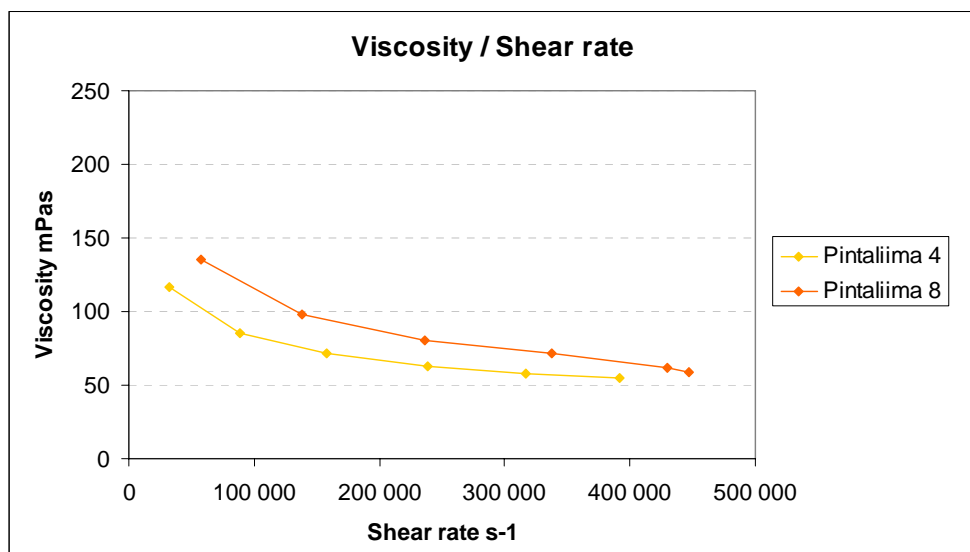
Kuva 24 Pintaliiman 3, sitä vastaavan itse tehdyn pintaliiman 9 sekä pintaliiman 7 kapillaariviskositeettikäyrät

Erikoista viskositeettikäyrissä on tasoero koneelta haetun ja laboratoriossa itse tehdyn toisiaan täysin vastaavien pintaliimojen 3 ja 9 välillä. Syytä tasoeroon ei tiedetä. Pintaliimojen kuiva-ainepitoisuuksissa tai mittauslämpötiloissa ei ole niin

suurta eroa, että tasoero voitaisiin selittää niillä. Tasoeron voi aiheuttaa näytteiden käsittely tai historia. Pintaliimalle voi myös tapahtua konekierrossa jotain sellaista, mikä laskee korkean leikkausnopeuden viskositeettia. Sen sijaan Brookfield-viskosimetrillä mitattujen matalan leikkausnopeuden viskositeeteissa ei juuri ole eroa.

Pintaliima 3:sta tehdyn sideaine B:tä sisältävän muunnelman viskositeetti jää koneelta haetun pintaliima 3:n ja itse tehdyn pintaliima 9:n väliin. Itse tehtyyn pintaliima 9:ään verrattuna tulos vaikuttaa loogiselta, sillä korvattaessa sideaine C sideaineella B:llä koko pintaliiman viskositeetti pienenee komponenttien osuuksien pysyessä muuttumattomana johtuen sideaineiden ominaisuuksista. Jos muunnelmaa verrataan tehtaalta haettuun pintaliima 3:een, voi viskositeetin nousu johtua kuiva-ainepitoisuuden kasvamisesta.

Pintaliima 4:stä valmistettiin muunnelma, jossa pigmentin osuutta nostettiin hiukan ja sideaineen osuutta vastaavasti pienennettiin. Muunnelman viskositeettikäyrä on alkuperäistä pintaliima 4:ää korkeammalla tasolla (kuva 25). Muunnelma tehtiin korkeampaan kuiva-ainepitoisuuteen kuin tehtaalta haettu pintaliima, joten tasoero viskositeettikäyrien välillä voi osittain johtua KAP-eroista.

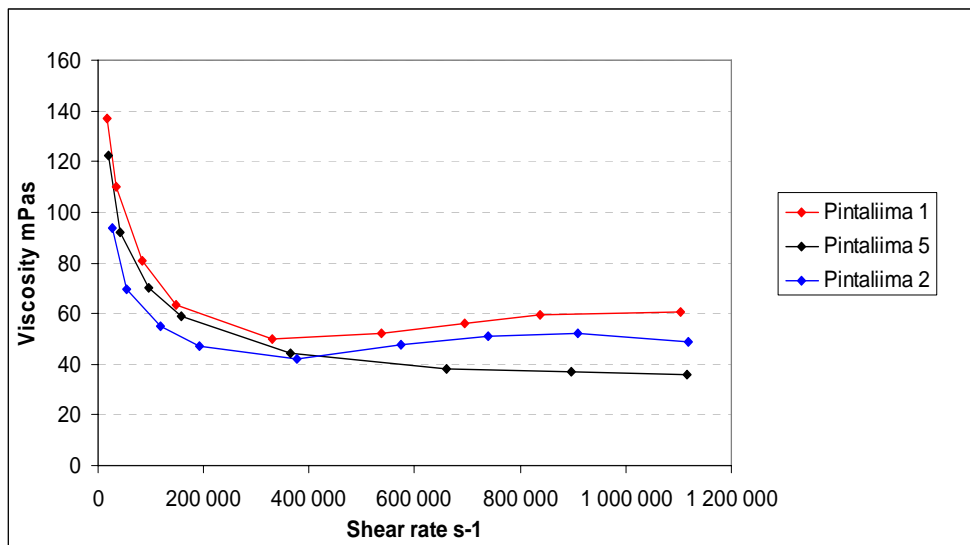


Kuva 25 Pintaliiman 4 ja siitä tehdyn muunnelman kapillaariviskositeettikäyrät

Mittaukset ACAV A2:lla

ACAV A2 -laitteella mitattiin kapillaariviskositeetit pintaliimoille 1, 2 ja 5.

Mittaukset suoritettiin 40°C lämpötilassa. Kuvassa 26 on pintaliimojen 1, 2 ja 5 viskositeetikäyrät ACAV A2:lla mitattuna.



Kuva 26 ACAV A2 -kapillaarimittaukset

ACAV A2:lla tehdyissä mittauksissa päästiin yli 1 000 000 s⁻¹ leikkausnopeuksiin, koska laitteella saavutetaan n. 300 bar:in paine. Tehdyissä mittauksissa korkeat, yli 500 000 s⁻¹ leikkausnopeudet osoittautuivatkin erittäin tärkeiksi liimojen reologisen luonteen arvioinnin kannalta.

Matalilla leikkausnopeuksilla alle 400 000 s⁻¹ käyrien muoto on hyvin samankaltainen toisiinsa verrattuna. Tutkitut liimat ovat leikkausohenevia matalilla leikkausnopeuksilla, mutta leikkausnopeuden ylittäessä 400 000 s⁻¹ pintaliimat 1 ja 2 muuttuvat leikkauspaksuneviksi. Pintaliiman 5 viskositeetti sen sijaan tasoittuu lähes Newtoniaaliseksi korkeilla leikkauksilla, mikä viittaa hyvään virtaukseen ja siten myös hyvään ajettavuuteen.

Korkea viskositeetti matalilla leikkausnopeuksilla saattaa aiheuttaa ongelmia pumppauksessa ja starteissa, joten pintaliima 1:llä voi esiintyä tällaisia ongelmia sen korkean viskositeetin vuoksi. Korkeilla leikkausnopeuksilla korkean

viskositeetin omaavilla liimoilla voi esiintyä ongelmia sihdeissä, tavoitellun päällystemäärän saavuttaminen voi vaikeutua ja ratakatkot voivat yleistyä.

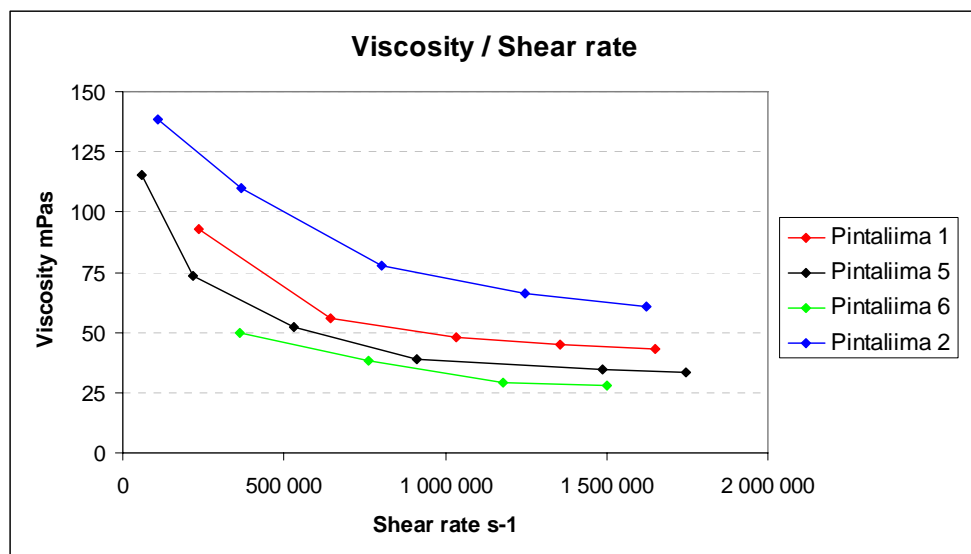
Leikkauspaksuneva käytös kertoo siis mahdollisista ajettavuusongelmista osalla liimoista. Pintaliimojen 1 ja 2 kuiva-ainepitoisuuden nostaminen saattaa nostaa viskositeettia rajusti, joka voi johtaa päällysteen raidoittumiseen.

Leikkauspaksunevan pastan tapauksessa vesiretentiolla saattaa olla merkittävä rooli.

10.3 Slit-viskositeetti

Mittaukset ACAV A4:llä

ACAV A4:llä mittauksia tehtäessä slitin raon oletettiin olevan 0,050 mm halkaisijaltaan, mutta työn lopussa kävi ilmi, että rako on kulunut. Kalibroinnilla selvitettiin raon todellinen halkaisija, joka oli 0,078 mm. Tuloksiin vaihdettiin oikea halkaisija, jolloin leikkausnopeudet putosivat alle $2\,000\,000\text{ s}^{-1}$. Mittauksia ei uusittu, koska raon ollessa halkaisijaltaan suuri, näytettä kuluu yhteen mittaukseen koko sylinterillinen. Jos paineita olisi nostettu ja sitä kautta päästy suurempiin leikkausnopeuksiin, ei mittauspisteitä todennäköisesti olisi saatu tarpeeksi ennen näytteen loppumista. Kuvassa 27 on pintaliimojen 1, 2, 5 ja 6 slit-viskositeettikuvaajat.

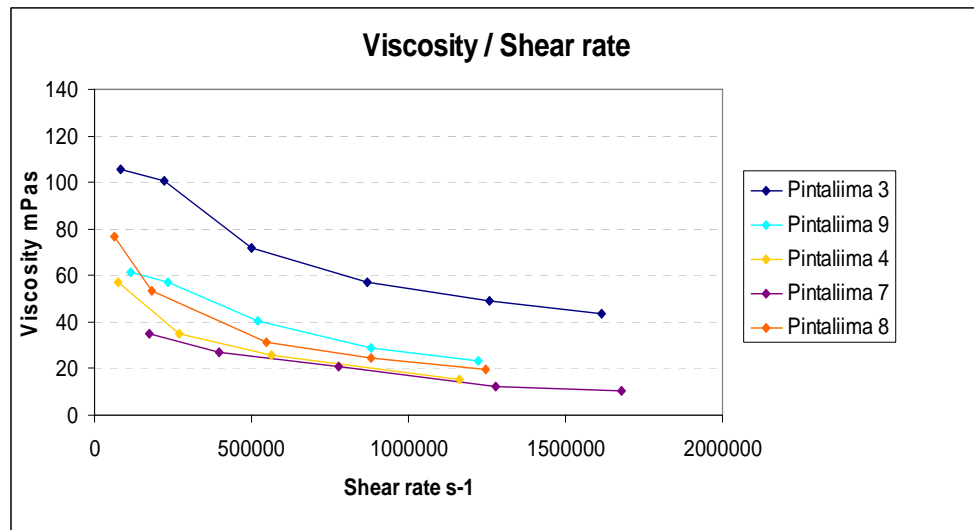


Kuva 27 Pintaliimojen 1 ja 2 sekä niiden muunnelmaliimojen slit-viskositeettikäyrät

Kaikki tutkitut pintaliimat ovat lievästi leikkausohenevia. Pintaliimalla 2 on korkein viskositeetti, ja se on myös kaikkein leikkausohenevin. Korkea viskositeetti voi aiheuttaa ratakatkoja ja ongelmia tavoitellun päällystemäärän saavuttamisessa. Kun pintaliima 2:n sideaine C korvattiin sideaine B:llä, laski viskositeetti huomattavasti. Toisaalta liian matala viskositeetti voi aiheuttaa epätasaisuuksia päällysteeseen.

Pintaliiman 1 viskositeettikäyrä suoristuu melko paljon korkeilla leikkausnopeuksilla, mikä kertoo yleensä hyvästä ajettavuudesta. Kun puolet sideaine A:sta korvattiin sideaine B:llä, laski viskositeetti hieman pintaliima 1:n viskositeettiin verrattuna. Myös pintaliima 5:n viskositeettikäyrä on melko suora korkeilla leikkausnopeuksilla.

Kuvassa 28 on pintaliimojen 3 ja 4, niistä tehtyjen muunnelmien (pintaliimat 7 ja 8) sekä itse tehdyn pintaliima 3:a vastaavan pintaliima 9:n viskositeettikäyrät.



Kuva 28 Pintaliimojen 3 ja 4 sekä niiden muunnelmien slit-viskositeettikäyrät

Kuvasta nähdään, että koneelta haetun pintaliima 3:n viskositeetti on korkeammalla tasolla kuin itse tehdyn liiman (pintaliima 9). Kapillaarimittauksissa tilanne oli toisinpäin, eli itse tehdyn pintaliima 9:n viskositeetti oli koneelta haettua korkeampi. Tasoerot kapillaari- ja slit-viskositeettien välillä voi selittyä koneelta haetun pintaliima 3:n kuiva-ainepitoisuuden muutoksella. Slit-mittauksissa KAP oli

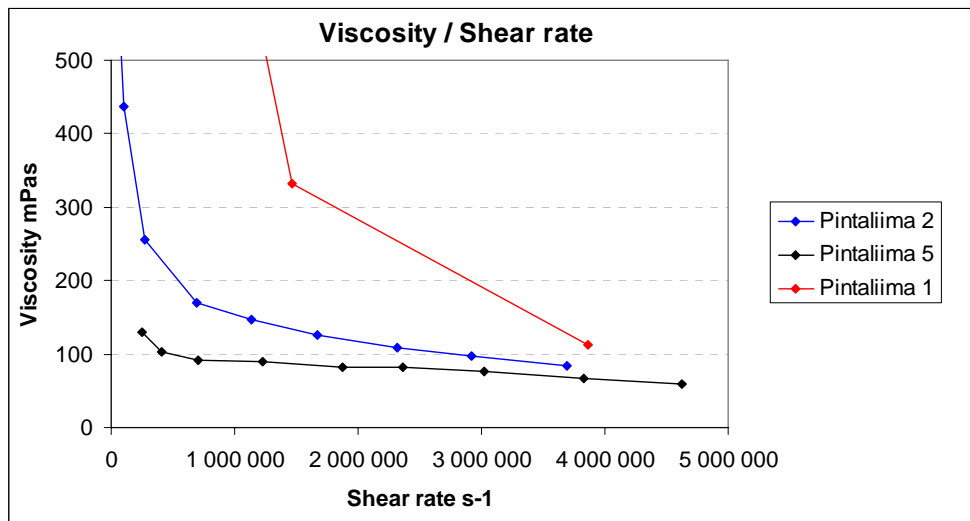
noussut hieman lämmityksen ja sekoituksen vuoksi. Tasoero voi johtua myös jostain liimalle konekierrossa tapahtuvasta seikasta, joka muuttaa viskositeettitasoa tuoreeseen laboratoriossa valmistettuun näytteeseen verrattuna.

Pintaliiman 3 sisältämän sideaine C:n korvaaminen sideaine B:llä laski viskositeettia huomattavasti. Pintaliima 7:n ajaminen slitissä oli vaikeaa, sillä laitteella oli vaikeaa saavuttaa riittävän pieniä paineita. Korkeilla paineilla ja siten myös korkeilla leikkausnopeuksilla viskositeetti meni nolnaan ja näyte loppui melkein heti. Näin matala korkean leikkausnopeuden viskositeetti aiheuttaa varmasti ongelmia vesiretention kanssa ja liima voi olla erittäin herkkä sumuamaan.

Pintaliima 4:n viskositeetti oli myös hyvin alhainen, joten myös sillä on luultavasti ongelmia vesiretention ja sumuamisen kanssa. Muuttamalla pigmentin ja sideaineen osuuksia hieman saatiin viskositeettia kasvatettua. Täysin varma ei voi olla osuuksien muuttamisen vaikutuksesta viskositeetin kasvuun, sillä myös kuiva-ainepitoisuus kasvoi hieman. Luultavasti juuri kuiva-ainepitoisuuden suuri nousu kasvatti viskositeettia.

Mittaukset ACAV A2:lla

ACAV A2:lla määritettiin slit-viskositeetti pintaliimoille 1, 2 ja 5. Mittauksissa käytettiin halkaisijaltaan 0,050 mm suuruista rakoa. ACAV A2:lla päästiin huomattavasti korkeampiin leikkausnopeuksiin kuin ACAV A4:llä. Syy tähän on raon pienemmässä koossa, jolloin viskositeetti aiheuttaa suuremman vastuksen eikä näyte vain virtaa raon läpi. Myös sylinteri on ACAV A2:ssa suurempi ja siten mittauspisteitä saadaan enemmän, eikä näyte lopu kesken mittauksen. Kuvassa 29 on näytteiden slit-viskositeettikuvaajat.

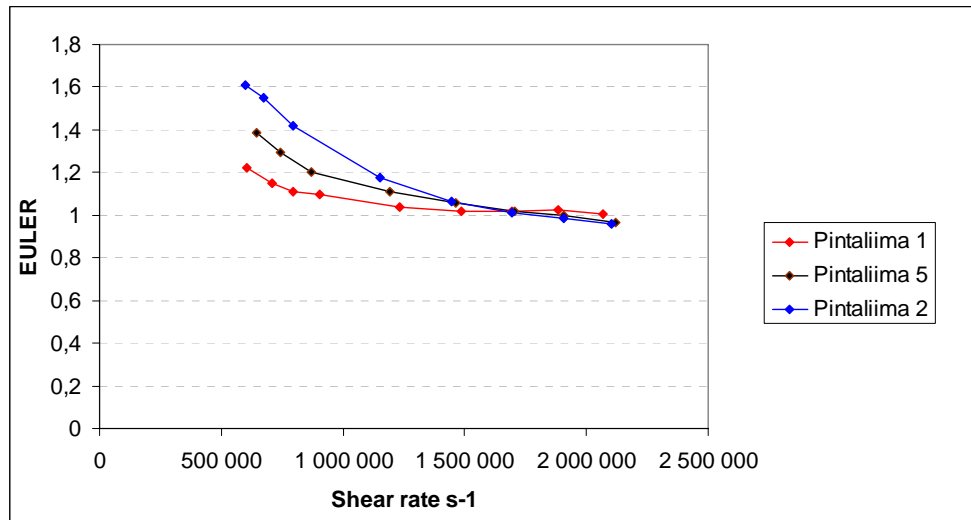


Kuva 29 ACAV A2 -slit-mittaukset

Pintaliima 1 ei kulkenut slitissä lainkaan, vaan slit tukkeutui heti. Tällainen käytös viittaa siihen, ettei liima toimi kunnolla myöskään koneella. Kyse ei voi olla liimassa jo ennen mittausta olleista roskista tai saostumista, sillä näyte sihdattiin tiiviin pussin läpi. Pintaliimat 2 ja 5 sen sijaan virtaavat tasaisesti, mikä viittaa toimivuuteen prosessissa. Varsinkin pintaliiman 5 virtaus on erittäin tasaista, melkein Newtoniaalista. Pintaliima 2 on lievästi leikkausoheneva.

10.4 Venymäviskositeetti

Pintaliimoille 1, 2 ja 5 mitattiin venymäviskositeetti (kuva 30). Pintaliimalla 1 oli alhaisin venymäviskositeetti ja pintaliimalla 2 korkein. Pintaliiman 1 matala venymäviskositeetti voi kertoa ongelmista prosessissa. Ilman venymää liima ei levity tasaisesti. Nipin auetessa liian alhaisen venymän omaava pintaliimafilmi ei jousta lainkaan, kuten normaalisti ennen filmin halkeamista. Pintaliimafilmi "ratkeaa", mikä voi aiheuttaa esimerkiksi sumuamista kehdon päälle. Pintaliima 1:llä voi olla ongelmia myös levittymisen kanssa. Matalan venymäviskositeetin omaava liima ei välttämättä levity tasaisesti, vaan päällysteeseen voi syntyä epähomogeenisiä kohtia, jotka heikentävät tuotteen laatua ja voivat aiheuttaa ongelmia jatkokäsittelyssä. /14/



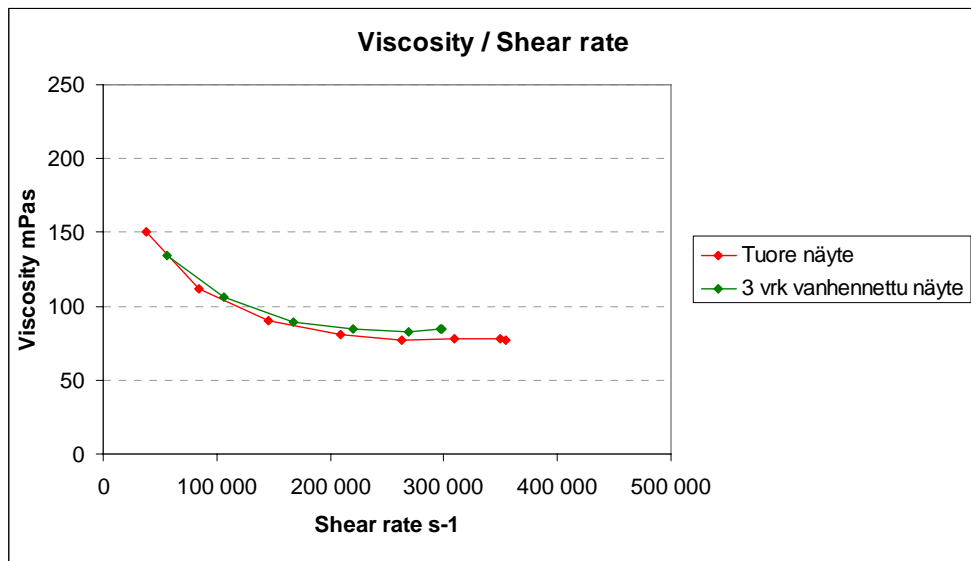
Kuva 30 Pintaliimojen 1, 2 ja 5 venymäviskositeetit

Pintaliima 2:lla on tutkituista pintaliimoista korkein venymäviskositeetti. Liian korkea venymäviskositeettikin voi aiheuttaa ongelmia. Pintaliimafilmin haljetessa syntyvät filamentit voivat venyä paljon ennen hajoamistaan, mistä voi seurata vakavia sumuamiongelmiä. Pintaliima 2:lla voi siis esiintyä sumuamista pintaliima 1:tä todennäköisemmin.

Pintaliima 5:n venymäviskositeetti on melko tarkalleen pintaliimojen 1 ja 2 puolivälissä. Jatkotoimenpiteinä voisi venymäviskositeetin lisäys esimerkiksi reseptimuutoksilla olla järkevää.

10.5 Pintaliiman vanhennuskoe

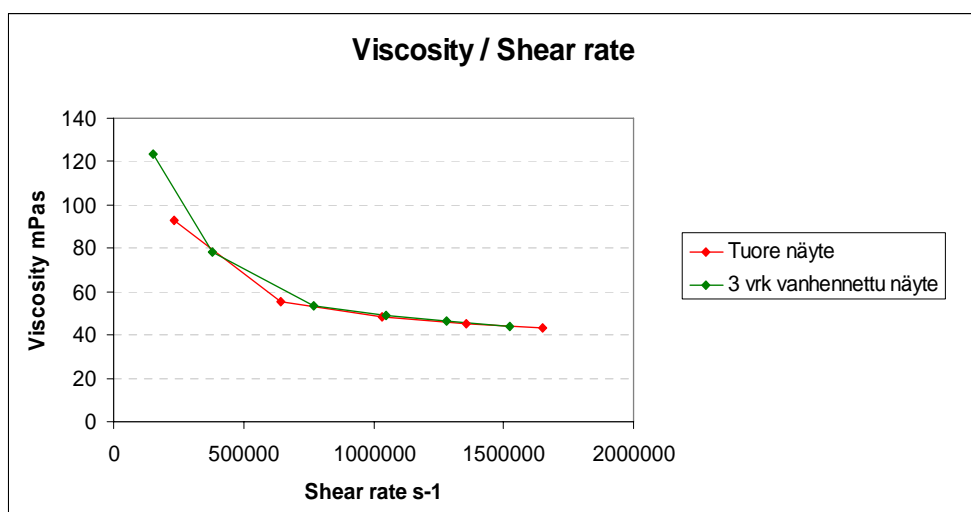
Yhdelle pintaliimalle tehtiin vanhennuskoe, jonka tarkoituksena oli selvittää kyseisen pintaliiman säilyvyys ja säilytyksen vaikutus korkean leikkausnopeuden viskositeettiin. Tehtaalta noudetusta erästä otettiin näyte, josta määritettiin kapillaari- ja slit-viskositeetit. Loput erästä jätettiin suljettuun kanisteriin huoneenlämpöön kolmeksi vuorokaudeksi, jonka jälkeen viskositeettimittaukset uusittiin. Kuvassa 31 on tuoreen ja vanhennetun näytteen kapillaari-viskositeetit.



Kuva 31 Tuoreen ja 3 vrk vanhennetun pintaliimanäytteen kapillaari-viskositeetit

Kuiva-ainepitoisuudessa ja Brookfield-viskositeetissa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kuvaajista nähdään, ettei myöskään kapillaari-viskositeetti muuttunut merkittävästi vanhennuksen seurauksena.

Kuvassa 32 on tuoreen ja kolme vuorokautta vanhennetun pintaliimanäytteen slit-viskositeettikäyrät.



Kuva 32 Tuoreen ja 3 vrk vanhennetun pintaliimanäytteen slit-viskositeetit

Slit-viskositeetit eivät myöskään muuttuneet, mikä viittaa siihen, ettei liimassa tapahdu merkittäviä rakenteellisia muutoksia vanhennuksen seurauksena. Ero todellisen tilanteen ja testitilanteen välillä on se, että ajon aikana pintaliima joutuu yhä uudelleen leikkauksen alaiseksi, testitilanteessa liimaan ei kohdistunut leikkausvoimia vanhennuksen aikana. Testi olisi kannattanut suorittaa siten, että näytettä olisi kierrätetty mittauksissa, eli samaa näytettä olisi käytetty mittauksissa yhä uudelleen. Tällöin leikkauksen vaikutus olisi voitu havaita mittauksissa. Tavoitelämpötilan säilyttäminen olisi tosin ollut mahdotonta ja mittauksiin olisi tullut virheitä lämpötilan muutoksista.

11 VIRHEARVIOINTI

Testeissä oli monia virhelähteitä, sillä jokaisen käytetyn laitteen omat mittaustarkkuudet aiheuttavat virheitä. Myös mittaajan tarkkuus varsinkin vesiretentiomittauksissa aiheuttaa virheitä. Vesiretentiomittauksissa paperin tai imukartongin punnitus kokeen jälkeen täytyy suorittaa mahdollisimman nopeasti, jottei vettä pääse haihtumaan. Dynaamisen vesiretention mittauksissa virheitä saattoi syntyä mahdollisista huokoisuuseroista pohjapaperissa. Jos paperista stanssattu ympyrä on ollut joidenkin liimojen vesiretentiomittauksissa huokoisempaa, se vaikuttaa tuloksiin kyseisten liimojen vesiretentiota huonontavasti.

Pintaliimojen valmistuksessa punnitustarkkuus vaikuttaa virheisiin, sillä esimerkiksi kovetetta lisättiin niin pieni määrä, että pieni virhe mittauksissa muuttaa kovetteen osuutta pintaliimassa paljon. Myös raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuuksista tehtaalta saadut tiedot ovat saattaneet olla virheellisiä, joten niistä aiheutuu virheitä pintaliimojen koostumuksiin. Osa raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuuksista tosin varmistettiin mittaamalla ne uudestaan.

Suurimmat virheet aiheutuivat luultavasti pintaliiman lämpötilasta. Heitot lämpötiloissa vaikuttavat viskositeettitasoon melko paljon. Näytteet lämmitettiin 40°C:een, jonka vuoksi lämpötilan pitäminen vakiona oli hankalaa. ACAV A4 ja

A2 -laitteiden näytesylinteri oli metallinen, joten sen lämpötilan piti olla lähellä 40°C, jotta se ei jäädyttäisi näyteitä.

Näytteiden kuiva-ainepitoisuuksien muutokset mittausten aikana olivat yksi virhelähde. Näytettä sekoitettiin ja pidettiin 40°C:een lämpötilassa välillä monta tuntia, joten esimerkiksi saman näytteen kapillaari- ja slit-mittauksissa kuiva-ainepitoisuudet saattoivat olla erilaiset.

ACAV A2:lla tehdyissä mittauksissa pintaliima 1:llä oli pintaliima 2:ta korkeampi viskositeetti, kun taas ACAV A4:llä tehdyissä mittauksissa tilanne oli päinvastainen. ACAV A2:lla mitatun pintaliima 1:n KAP oli hieman korkeampi kuin ACAV A4:llä mitatun näytteen. Pintaliima 2:n KAP ACAV A2:lla mitattuna oli taas hieman matalampi kuin ACAV A4:llä mitattuna, joten käyrien tasoerot johtuvat luultavasti näytteiden kuiva-ainepitoisuuseroista. Myös lämpötila, tiheys ja mahdolliset kapillaarien kalibrointivirheet vaikuttavat tasoeroihin.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan päätellä paljon pintaliimojen reologiasta. Varsinkin ACAV A2:lla tehdyt mittaukset ovat erittäin hyödyllisiä tutkittaessa pintaliimojen reologista käyttäytymistä. Niiden perusteella saatiin uutta tietoa pintaliimojen 1, 2 ja 5 ominaisuuksista.

ACAV A2:lla suoritettujen viskositeettimittausten perusteella osa pintaliima 1 sisältämän sideaine A:n korvaaminen sideaine B:llä vaikuttaisi kannattavalta ratkaisulta ajettavuuden parantamisen kannalta, mikäli korvaus ei vaikuta lopputuloksen laatuun. Jatkotoimenpiteinä pintaliima 5:stä kannattaisi tehdä erilaisia muunnelmia vaihtaen sideaine A/sideaine B -suhdetta ja mittaamalla erilaisten muunnelmien vesiretentiot ja viskositeetit. Viskositeettimittauksissa kannattaa käyttää ACAV A2 -laitetta, koska sillä päästään korkeampiin leikkausnopeuksiin kuin ACAV A4:llä ja sitä kautta pintaliiman todellinen reologinen käyttäytyminen prosessissa on ennustettavissa.

Myös pintaliima 6:n jatkotutkiminen ACAV A2:lla vaikuttaa hyödylliseltä.
Käyttämällä sideainetta B sideaineen C sijaan voidaan mahdollisesti vähentää
pintaliima 2:n leikkauspaksunevaa käyttäytymistä kapillaarimittauksissa.
Pintaliimoissa 3 ja 4 kannattaa keskittyä viskositeetin nostamiseen ja vesiretention
parantamiseen.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 ACAV A4 user's manual. Käyttöohje. 2001.
- 2 Forsström, Ulla – Dickson, Robert – Grön, Johan, Oy
Keskuslaboratorio – Centrallaboratorium Ab. Julkaisematon seloste.
Espoo 1999.
- 3 Häggblom-Ahnger, Ulla - Komulainen, Pekka, Kemiallinen
metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin valmistus. 3-1. painos,
Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 2005. 279 s.
- 4 Kesätyöntekijöiden perehdytyskansio. UPM-Kymmene Oyj, Tervasaari.
2005.
- 5 Lamminmäki, Taina, Päällystystekniikka. Luentomoniste. Otaniemi
1995.
- 6 Lehtinen, Esa, Papermaking Science and Technology 11, Pigment
Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy. Jyväskylä 2000. 810 s.
- 7 Mäkinen, Martti, Film transfer, spray and curtain coating.
Seminaariluentomateriaali. Syyskuu 2004.
- 8 Mäkinen, Martti, Fundamentals of Rheology.
Seminaariluentomateriaali. Syyskuu 2004.
- 9 Mäkinen, Martti, Interpretation of Flow Curves and Coating Color
Development. Seminaariluentomateriaali. Syyskuu 2004.
- 10 Mäkinen, Martti, Rheology of Coating Colors.
Seminaariluentomateriaali. Syyskuu 2004.
- 11 Mäkinen, Martti, Viscometers and coating process.
Seminaariluentomateriaali. Syyskuu 2004.
- 12 Päällystys ja pintaliimaus filminsiirtotekniikalla. Valmet
koulutuskansio. Jyväskylä 1999.
- 13 Pajula, Tiina, Päällystyspastan vesiretentio ja sen mittaaminen.
Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu 1992.
- 14 Rintamäki, Jaakko – Vuorenmaa, Toni – Aca Systems Oy:n edustajat.
Keskustelut 9.5.2006. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 15 TAPPI 1999, Coating materials: Pigments, binders & additives. Short
course April 12-14, 1999. Atlanta 1999. 688 s.
- 16 Triantafillopoulos, Nick G., Paper coating viscoelasticity and its
significance in blade coating. TAPPI PRESS. Atlanta 1996.

Sähköiset lähteet

- 17 Aca Systems Oy. [www-sivu]. [viitattu 2.5.2006.] Saatavissa: <http://www.aca.fi>.
- 18 Brookfield-viskosimetri. [www-sivu]. [viitattu 9.2.2006.] Saatavissa: http://www.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/elintarvikeanalyysit_viskositeetti_brookfield.html.
- 19 Hydroxyethylcellulose. [www-sivu]. [viitattu 20.4.2006.] Saatavissa: <http://glossary.oilfield.slb.com>.
- 20 Know Base5. [www-sivu]. [viitattu 12.4.2006.] Saatavissa: <http://intranet.tervasaari.upm-kymmene.com>.
- 21 KnowPap 5,0. Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö.
- 22 Tervasaaren yleisesittelykalvot. [www-sivu]. [viitattu 28.3.2006.] Saatavissa: <http://intranet.tervasaari.upm-kymmene.com>.