



Tarraliimojen reologisten mit- tausmenetelmien korrelaatio korkeisiin tuotantonopeuksiin verhopäällystyksessä

Jutta Björn

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Laboratoriotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Laboratoriotekniikka

BJÖRN, JUTTA:

Tarraliimojen reologisten mittausten korrelaatio korkeisiin tuotantopeuksiin verhopäälylyksessä

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Huhtikuu 2020

Opinnäytetyö tehtiin UPM Raflatacin Tampereen tarralaminaattitehtaan tuotekehityslaboratoriossa. Työn tavoitteena oli löytää korrelaatio tarraliiman reologisten mittausten ja ajettavuuden välille nopeilla tuotannon verhopäälylyskoneilla. Toisin sanoen tavoitteena oli selvittää, että mitkä liiman ominaisuudet ovat tärkeimmässä roolissa tuotannon verhopäälylyskoneella, kun konenopeuksia tullaan nostamaan tulevaisuudessa. Liiman viskositeetin sekä pintajännityksen tiedetään vaikuttavan liimaverhon levittymiseen pinnoitettavalle silikonidulle pinnalle. Perinteisillä viskositeettimittausmenetelmillä ei nähdä korrelaatiota ajettavuusongelmiin ja mahdollisiin liimaverhon repeytymisiin verhopäälylyksessä, jolloin tavoitteena oli löytää sopivimmat laboriomittausmenetelmät.

Tarkoituksena oli valmistaa 15 erilaista tarraliimaa, joissa käytettiin kolmea eri akrylaattipolymeeriliimaa sekä neljää eri paksuntajaa. Valmistetuista nestemäisistä liimoista mitattiin leikkausviskositeetti ja amplitudiramppi reometrillä, venymäviskositeetti venymäviskometrillä sekä pintajännitys.

Mittaustuloksista piirrettiin kuvaajat, joihin koottiin jokaiselle liimalle käytetyt neljä paksuntajaa sekä referenssi, johon ei ole lisätty paksuntajaa. Tuloksista nähtiin viitteitä, että liiman venymäviskositeetilla sekä amplitudirampilla on korrelaatio liiman ajettavuuteen korkeilla konenopeuksilla. Leikkausviskositeetilla ja pintajännityksellä ei sen sijaan ollut nähtävissä selvää korrelaatiota ajettavuuden kanssa.

Työn tuloksilla on suuri merkitys UPM Raflatacin tuotekehitykselle. Heidän tavoitteenaan on pystyä laboriomittauksilla määrittämään liimaresepti myös korkeille tuotantopeuksille. Tämän työn myötä heillä on parempi tietämys, mitkä liiman reologiset ominaisuudet vaikuttavat ajettavuuteen. Työtä voidaan vielä jatkaa selvittämällä mittauksilla, onko amplitudirampilla ja venymäviskositeetilla aina sama korrelaatio. Jos niillä on aina korrelaatio, jatkossa voitaisiin tehdä vain toinen näistä mittauksista. Lisäksi olisi hyvä mitata muita tuotantoliimoja, ja varmistaa, että tässä työssä saadut tulokset pätevät myös erityyppisillä liimoilla.

Asiasanat: reologia, viskositeetti, tarraliima, verhopäälylysty

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Laboratory Engineering

BJÖRN, JUTTA:

Correlation Between Rheological Measurements of Adhesives and High-Speed Curtain Coating

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 1 page
April 2020

This bachelor's thesis was made at the UPM Raflatac research and development laboratory in Tampere. The purpose of this thesis was to examine the correlation between rheological measurements of adhesives and high-speed curtain coating. To be precise the target was to study that what properties of the adhesives have the most important role at the curtain coating production line when production speed will be risen in the near future. The levelling process of the adhesive curtain on the siliconized surface is affected the most by viscosity and surface tension. There is no correlation between orthodox measurements and runnability and possible tear of the curtain. Because of this, the goal was to find more suitable laboratory measurements.

The objective of this thesis was to prepare 15 different adhesives using three different acrylate polymer dispersions and four different thickeners. Shear viscosity, amplitude sweep, surface tension and extensional viscosity were measured from these prepared adhesive solutions.

Figures were drawn from results of the measurements. These figures include four different thickeners and one reference without any thickeners. The results imply that the adhesive's extensional viscosity and amplitude sweep have correlation with the runnability of the production line.

The results of this bachelor's thesis are significant to the UPM Raflatac research and development laboratory. Their target was to determine an adhesive recipe in laboratory environment for high speed production. As a result of this work, they have better knowledge of which properties of the adhesive have an influence on runnability. In the future additional study can be made by measuring whether amplitude sweep and extensional viscosity always have the same correlation. If this proves to be true, only one of these measurements will be needed. In addition, it would be beneficial to measure other production adhesives and to ensure that the results are applicable with all kinds of adhesives.

Key words: rheology, viscosity, adhesive, curtain coating

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	REOLOGIA	6
2.1	Virtaus ja muodonmuutos	6
2.2	Viskositeetti	7
2.2.1	Leikkausviskositeetti	7
2.2.2	Venymäviskositeetti	10
2.3	Reologiset mittaukset	11
2.3.1	Rotaatiomittaukset	13
2.3.2	Oskillointimittaukset	13
3	PINTAJÄNNITYS	16
3.1	Nesteen pintajännitys	16
3.2	Pinta-aktiivinen aine	16
4	LIIMA	18
4.1	Liiman komponentit	18
4.2	Liiman valmistaminen	19
5	VERHOPÄÄLLYSTYS	20
5.1	Verhopäällistyksen toiminta	20
5.2	Verhopäällistykseen vaikuttavat ominaisuudet	22
6	MITTAUSMENETELMÄT	24
6.1	Leikkausviskositeetin mittaussmenetelmät	24
6.2	Venymäviskositeetin mittaussmenetelmä	25
6.3	Pintajännityksen mittaussmenetelmä	26
7	TYÖN SUORITUS	28
7.1	Liimojen valmistaminen	28
7.2	Liimojen mittaaminen	29
8	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	30
8.1	Mittaussmenetelmien korrelaatio ajettavuuden kanssa	30
8.2	Pintajännityksen vaikutus	36
9	POHDINTA	38
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	41
	Liite 1. Liimojen pintajännitysten mittaustulokset	41

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin UPM Raflatac:in tuotekehityslaboratoriossa. UPM Raflatac on maailman johtavia tarralaminaatin valmistajia, joka valmistaa korkealaatuisia paperi- ja filmitarralaminaattia jokapäiväiseen käyttöön. Tarralaminaattia käytetään muun muassa elintarvike- ja juomateollisuudessa sekä lääketeollisuudessa.

Työn tavoitteena oli löytää korrelaatio tarraliiman reologisten mittausmenetelmien ja ajettavuuden välille nopeilla tuotannon verhopäälystyskoneilla. Toisin sanoen tavoitteena oli selvittää, että mitkä liiman ominaisuudet ovat tärkeimmässä roolissa tuotannossa verhopäälystyskoneella. Reologisia mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi leikkausviskositeetin, venymäviskositeetin sekä pintajännityksen mittausmenetelmät. Tulevaisuudessa verhopäälystyskoneen ratanopeutta halutaan nostaa. Ratanopeuden kasvaessa liimalla tulee olla oikea leikkausviskositeetti, venymäviskositeetti sekä pintajännitys, jotta verho laskeutuu halutusti radan pintaan, eikä liimapintaan muodostu reikiä tai pieniä repeytymiä.

Tarkoituksena oli valmistaa 15 erilaista tarraliimaa, joissa käytettiin kolmea eri akrylaattiliimaa sekä neljää eri paksuntajaa. Liiman raaka-aineet vaikuttavat liiman viskositeettiin ja pintajännitykseen sekä sen myötä liiman ajettavuuteen tuotannossa. Liimat pyrittiin valmistamaan normaaliin tuotannon käyttämään leikkausviskositeettiin, joka on noin 0,8-1 Pas. Valmiista liimoista mitattiin leikkausviskositeetti, venymäviskositeetti, amplitudiramppi sekä pintajännitys ja näistä tuloksista etsittiin korrelaatio mittausmenetelmien ja tuotannon ajettavuuden välille.

2 REOLOGIA

2.1 Virtaus ja muodonmuutos

Reologia on oppi materiaalin muodonmuutoksesta ja virtauksesta, jotka aiheutuvat niihin kohdistetuista puristus- ja leikkausvoimista, kuten sekoittamisesta. Kohdistettaessa voimaa nestemäiseen materiaaliin, voidaan havaita viskoosista tai viskoelastista virtauskäyttäytymistä. Kiinteä aine mukaillee rasituksessa viskoelastista tai elastista muodonmuutuskäyttäytymistä. Kaikki materiaalien käyttäytymiset rasituksen vaikutuksesta, joita voidaan kuvata reologisesti, sijoittuvat viskoosisten nesteiden virtauksen ja elastisten kiinteiden aineiden muodonmuutoksen välille (taulukko 1). (Mezger 2014, 17-20)

TAULUKKO 1. Materiaalien reologiset käyttäytymiset ja mittausmenetelmät

Neste		Kiinteä	
(Ideaali) Viskoosinen	Viskoelastinen	Viskoelastinen	(Ideaali) Elastinen
Virtauskäyttäytyminen		Muodonmuutuskäyttäytyminen	
Rotaatiomittaukset	Oskillointimittaukset		

Rasituksessa jokainen materiaali käyttäytyy sille ominaiseen tapaan viskoosisen ja elastisen käyttäytymisen yhdistelmänä. Rasitusta voivat aiheuttaa muun muassa sekoitus, puristus, venytys tai lämpötila. Rasituksen tyyppi, määrä ja kesto vaikuttavat aineen muodonmuutokseen ja virtaukseen. (Mezger 2014, 17-20)

Rasituksen jälkeen viskoosisen materiaalin virtaus jatkuu, kunnes sen sisäinen kitka pysäyttää sen. Viskoosinen aine ei palaudu alkuperäiseen muotoonsa. Elastinen materiaali taas palaa täysin alkuperäiseen tilaansa rasituksen jälkeen. Jos kiinteä elastinen materiaali taas ei palaa alkuperäiseen tilaansa sitä kutsutaan plastiseksi. Viskoelastinen materiaali käyttäytyy viskoosisesti ja elastisesti samanaikaisesti, riippuen siihen kohdistuvasta rasituksesta. Se voi palautua osittain alkuperäiseen muotoonsa. (Mezger 2014, 31, 54, 94, 97)

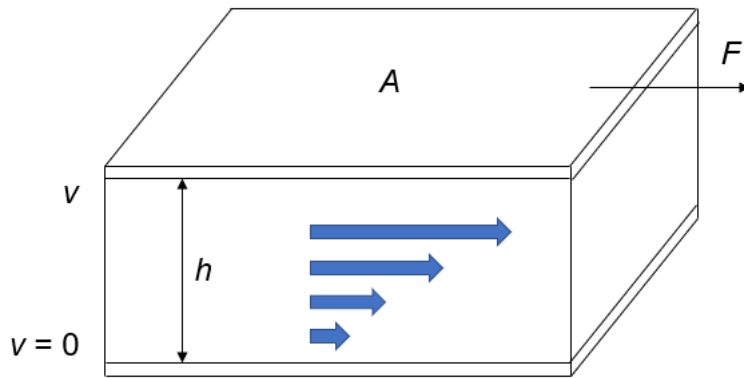
2.2 Viskositeetti

Viskositeetti kuvaa virtaavan nesteen sisäistä kitkaa, jonka aiheuttavat nesteen molekyylien väliset vetovoimat. Molekyylien välisten voimien lisäksi nesteen viskositeettiin vaikuttavat myös molekyylien muoto. Mitä suuremmat vetovoimat ja monimutkaisemmat molekyylit, sitä suurempi viskositeetti aineella on. Näin ollen nesteillä viskositeetti pienenee lämpötilan noustessa, koska molekyylien väliset voimat heikkenevät. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2009, 47; Inkinen & Tuohi 2012, 333)

Nesteet voidaan jakaa Newtonisiin ja ei-Newtonisiin nesteisiin niiden virtauskäyttäytymisen mukaan, kohdistettaessa niihin leikkausvoima, kuten sekoitus. Lämpötilan ollessa vakio Newtonisten nesteiden sisäinen kitka on vakio, eikä siihen vaikuta leikkausnopeus tai -aika, eli se kuinka kovaa tai kuinka kauan niitä esimerkiksi sekoitetaan. Vain pieni osa nesteistä ovat Newtonisia, kuten esimerkiksi vesi ja öljy. Niiden viskositeettia kutsutaan dynaamiseksi viskositeetiksi. Ei-Newtonisten nesteiden viskositeetti muuttuu leikkausnopeuden ja -ajan kanssa. Näin käyttäytyy esimerkiksi maali ja liima. (Inkinen & Tuohi 2012, 333; Mezger 2014, 33)

2.2.1 Leikkausviskositeetti

Leikkausviskositeetin suuruutta voidaan mallintaa kahden levyn väliin asetetulla virtaavalla nesteellä. Ylälevyn pinta-ala on A , jota liikutetaan voimalla F ja nopeudella v . Levyjen välinen etäisyys on h . Alalevy on paikallaan, jolloin sisällä oleva neste kiinnittyy molempiin levyihin ja virtaus tapahtuu ikään kuin kerrosten muodossa, kasvaen alhaalta ylöspäin nopeuteen v asti (kuvio 1). Virtauksen nopeuseron aiheuttaa nesteen sisäinen kitka. Näin ollen virtaus on laminaarista, sillä nestekerrokset liikkuvat yhdensuuntaisten levyjen mukaan. (Inkinen & Tuohi 2012, 333-334; Mezger 2014, 21-22)



KUVIO 1. Viskositeetin mallintaminen (Mezger 2014, 21)

Mallista saadaan laskettua leikkausjännitys τ ylälevyä työntävän voiman F ja sen pinta-alan A suhteena kaavalla 1. Leikkausjännitys kuvaa kohteeseen kohdistettua voimaa ja sen yksikkö on N/m^2 eli Pa.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Myös leikkausnopeus $\dot{\gamma}$ voidaan laskea nopeuden v ja levyjen välisen etäisyyden s suhteena kaavalla 2. Se on voiman nopeuden mitta ja sen yksikkö on $1/\text{s}$.

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{s} \quad (2)$$

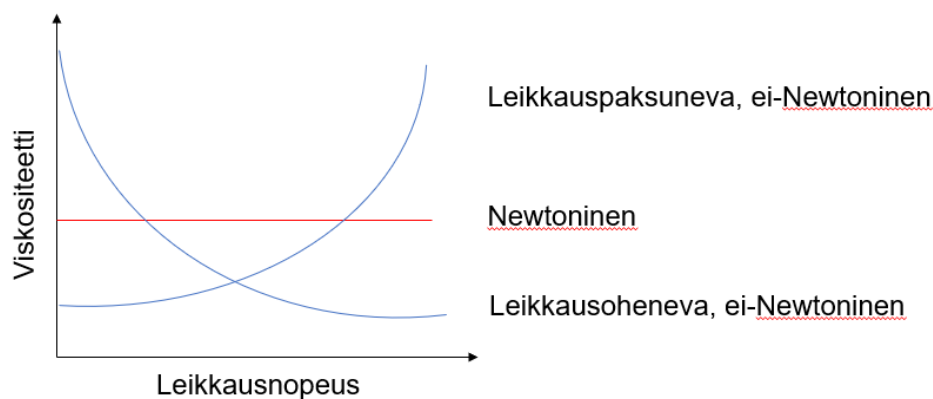
Leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden avulla saadaan johdettua leikkausviskositeetti η kaavalla 3. Viskositeetin yksikkö on Pas.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (3)$$

Newtonisessa nesteessä leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden välinen suhde on lineaarinen, eli toisen arvon kasvaessa myös toinen kasvaa samassa suhteessa. Vakiolämpötilassa mitattavan viskositeetin kuvaajakin on lineaarinen, sillä siihen ei vaikuta leikkausjännitys eikä -nopeus (kuvio 2). (Inkinen & Tuohi 2012, 333-334; Mezger 2014, 21-22, 27)

Ei-Newtoniset nesteet käyttäytyvät hieman eri tavalla. Niiden viskositeettiin vaikuttavat lämpötilan lisäksi leikkausnopeus ja -aika. Leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden suhde ei ole vakio ja sen vuoksi kuvaaja on epälineaarinen. Ei-Newtoniset nesteet voidaan jakaa vielä leikkausoheneviin eli pseudoplastisiin ja leikkauspaksuneviin eli dilatantteihin nesteisiin. (Mezger 2014, 33-49)

Leikkausohenevan nesteen viskositeetti pienenee leikkausnopeuden kasvaessa. Kemiallisesti siinä pitkulaiset hiukkaset suuntautuvat samansuuntaisiksi, kasautuneet hiukkaset erottuvat yksittäisiksi tai pallomaiset hiukkaset muodostuvat ellipsin muotoisiksi. Nämä muutokset aiheuttavat viskositeetin pienenemisen. Leikkauspaksunevan nesteen viskositeetti kasvaa leikkausnopeuden kasvaessa. Siinä hiukkaset voivat joutua enemmän kosketuksiin toistensa kanssa tai pitkät haarautuneet molekyyliketjut voivat katketa ja olla näin jäykempiä. Ei-Newtoniset nesteet voivat paksuuntumisen jälkeen palata takaisin alkuperäiseen muotoonsa tai jäädä paksummaksi. Newtonisen ja ei-Newtonisen nesteen viskositeetin muutokset nähdään kuviosta 2. (Mezger 2014, 33-49)



KUVIO 2. Viskositeetin muutos Newtonisella sekä ei-Newtonisella nesteellä

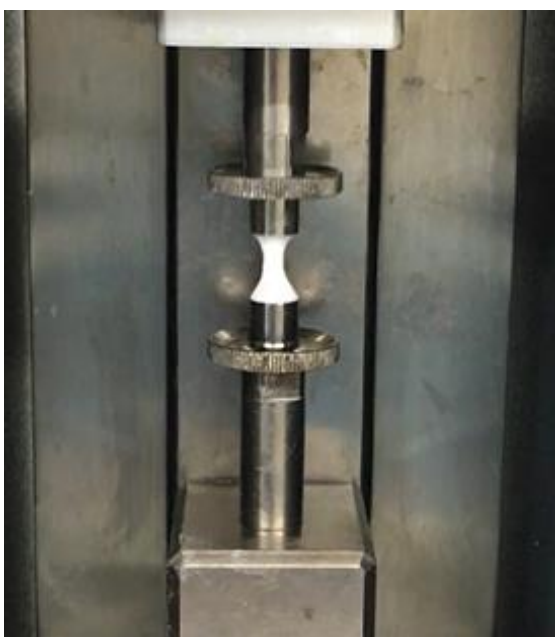
Reynoldsin luku kuvaa virtaavan aineen virtauskäyttäytymistä. Virtaavan aineen nopeuden kasvaessa virtaus muuttuu laminaarisesta turbulenttiseksi. Virtauksen luonne voidaan selvittää laskemalla nesteen massahitaudesta johtuvien voimien ja nesteen virtausvastuksen suhde eli Reynoldsin luku kaavalla 4:

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad (4)$$

jossa ρ on nesteen tiheys, v nopeus, d putken halkaisija sekä η nesteen viskositeetti. Reynoldsin luvun ollessa alle 2000 virtaus on laminaarista ja sen ollessa yli 3000 virtaus on turbulენტtista. Näiden arvojen välissä virtaus voi vaihdella laminaarisen ja turbulენტtisen välillä. (Inkinen & Tuohi 2012, 335-336; Curtain Coating & Rheology, 2017)

2.2.2 Venymäviskositeetti

Joissakin prosesseissa, kuten nesteen virratessa suodattimien tai suuttimien läpi, esiintyy suurempia venytykseen kohdistuvia kuin leikkaukseen kohdistuvia voimia. Tällöin puhutaan nesteen venymäviskositeetista. Venymäviskositeettia voidaan mitata viskoelastisille nesteille yksiaksaalisena venymänä. Siinä näytefilamenttia venytetään yhteen suuntaan, jolloin se supistuu kahdesta muusta suunnasta (kuva 1). (Thermo Scientific HAAKE CaBER 1 2012; Mezger 2014, 280-281)



KUVA 1. Liiman venymäviskositeetin mittaaminen.

Venymäviskositeetti η_E voidaan laskea leikkausviskositeettiä η (kaava 3) apuna käyttäen kaavalla 5:

$$\eta_E = 3 \cdot \eta \quad (5)$$

Tämä kaava on pätevä ainoastaan viskoelastisille nesteille pienillä leikkausnopeuksilla. Leikkausnopeuden kasvaessa $\eta_E > 3 \cdot \eta$, joten silloin venymäviskositeettia kuvaa Trouton suhdearvo. Se on mitatun venymäviskositeetin η_E ja alkuperäisen venymäviskositeetin η_0 suhde ja voidaan laskea kaavalla 6:

$$TR = \frac{\eta_E}{\eta_0} \quad (6)$$

Venymäviskositeetti voidaan laskea myös venymäviskositeetin mittaustuloksista, kun tiedetään näytteen pintajännitys σ . Venymäviskositeetin mittalaite ei varsinaisesti mittaa venymäviskositeettia, vaan näytteen halkaisijaa ajan suhteen. Sen vuoksi venymäviskositeetti saadaan jakamalla pintajännitys σ näytteen halkaisijan muutoksen ja ajan muutoksen osamäärällä kaavalla 7:

$$\eta_E = \frac{\sigma}{\frac{d - d_0}{t - t_0}}, \quad (7)$$

jossa d ja t ovat mitatun näytteen halkaisija ja aika sekä d_0 ja t_0 ovat alkuperäinen halkaisija ja aloitusaika. (Mezger 2014, 280-281)

Mitattavan näytteen venymää kuvaa Henckyn venymä -arvo ε_H . Näytteen poikki-leikkausalue pienenee eksponentiaalisesti ajan myötä, kun näytettä venytetään vakionopeudella. Arvo saadaan ottamalla kaksinkertainen luonnollinen logaritmi näytteen alkuperäisen halkaisijan d_0 ja mitatun halkaisijan d osamäärästä kaavalla 8. (Mezger 2014, 281)

$$\varepsilon_H = 2 \cdot \ln \frac{d_0}{d} \quad (8)$$

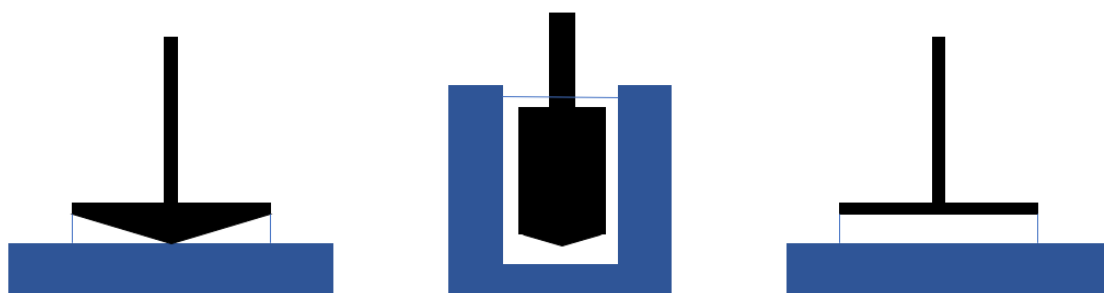
2.3 Reologiset mittaukset

Reologisilla mittauksilla mitataan ei-Newtonisten nesteiden virtauskäyttäytymistä sekä kaikenlaisien viskoelastisten materiaalien muodonmuutoskäyttäytymistä.

Nesteen virtauskäyttäytymisen määrittämiseen käytetään usein viskositeetin mittaamista, esimerkiksi viskosimetrillä. Viskosimetrillä voidaan mitata nestemäisen näytteen sisäistä kitkaa, kuitenkin vain alhaisilla leikkausnopeuksilla. Sen vuoksi se ei aina yksinään riitä materiaalin sisäisen rakenteen mittaamiseen. Monissa prosesseissa voi esiintyä materiaalin voimakkaita elastisia ominaisuuksia, kuten venymistä, jolloin tarvitaan suurempia leikkausnopeuksia. Näin ollen voidaan mittaamiseen käyttää reometriä, jolla voidaan mitata sekä nestemäisiä sekä kiinteitä näytteitä. (Karhu 2016)

Reometrillä aiheutetaan näytteeseen leikkausvoima, joko pyörittämällä mittapäästä yhteen suuntaan (rotaatiomittaukset) tai edes takaisin (oskillointimittaukset). Rotaatiomittauksia voidaan suorittaa nestemäisille näytteille, jotka saadaan virtaamaan tai venymään leikkausvoiman vaikutuksesta. Toisin sanoen rotaatiomittauksilla mitataan aineen leikkaus- tai venymäviskositeettia. Oskillointimittauksia voidaan mitata nestemäisistä virtaavista, kiinteistä viskoelastisista sekä kiinteistä elastisista näytteistä, jolloin se mittaa aineen viskoelastisuutta. (Karhu 2016)

Reometrillä voidaan mitata näytettä käyttäen kolmea eri mittausgeometriaa, jotka on esitelty kuviossa 3:



KUVIO 3. Reometrin mittausgeometriat: kartio-levy, sylinteri ja levy-levy

Kartio-levy mittausmenetelmässä levy on kiinnitetty reometrin jalustaan ja kartiomittapää tekee pyörivää tai oskilloivaa liikettä. Näyte asetetaan levyn ja kartion väliin. Sylinterissä sisemmällä sekä ulommalla sylinterillä on sama pyörimisakseli, jonka mukaan toinen sylinteri liikkuu. Yleisempi menetelmä on se, jossa sisempi sylinteri on liikkeessä ja ulompi sylinteri pysyy paikallaan. Sylinteri-mittaus-

menetelmää käytetään nestemäisille näytteille, jotka asetetaan ulompaan sylinteriin ja sisempi sylinteri työnnetään näytteen sekaan. Levy-levy mittaussmenetelmässä on kaksi samansuuntaista tasaista levyä. Ylempi levy tekee pyörivää tai oskilloivaa liikettä ja alempi levy on kiinnitettynä reometrinen jalustaan. Näyte asetetaan levyjen väliin. (Mezger 2014, 233-254)

2.3.1 Rotaatiomittaukset

Rotaatiomittausta käytetään tutkimaan nesteen virtauskäyttäytymistä, eli viskositeettia. Näytteeseen kohdistetaan joko jatkuva leikkausvoima, jonka vaikutuksesta näyte alkaa virtaamaan tai venytysvoima, jonka vaikutuksesta näyte venyy. Nesteen leikkausviskositeetin määrittämiseen käytetään usein viskosimetriä tai reometriä. (Karhu 2016)

Leikkausviskositeettimittaus voidaan suorittaa joko leikkausnopeutta tai leikkausjännitystä muuttamalla. Kun mittaus suoritetaan leikkausnopeutta muuttamalla, tulokset esitetään viskositeetikäyrällä, jossa x-akselilla on leikkausnopeus ja y-akselilla viskositeetti, kumpikin tavallisesti logaritmisella asteikolla. Leikkausjännitystä muuttamalla tulokset esitetään virtauskäyrällä, jossa x-akselilla on leikkausnopeus ja y-akselilla leikkausjännitys. (Mezger 2014, 34-35)

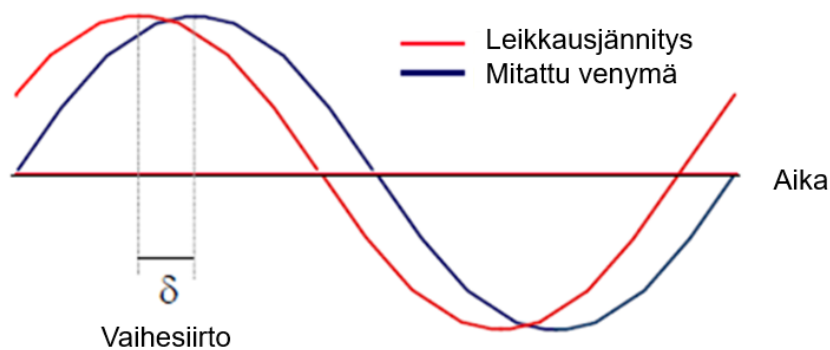
2.3.2 Oskillointimittaukset

Oskillointimittausta käytetään tutkimaan aineen viskoelastista muodonmuutosta. Sitä voidaan käyttää lähes kaikenlaisille näytteille viskoosisista nesteistä kiinteisiin aineisiin. Oskillointimittaus on näytettä rikkomaton menetelmä, jolloin se määrittää näytteen ominaisuuksia muodonmuutoksen aikana, ennen kuin se alkaa virtaamaan. Oskillointimittaukset voidaan mitata kahdella tavalla, joko amplitudia eli värähdyslaajuutta tai taajuutta muuttamalla. (Karhu 2016)

Reometrillä mittapään oskillointi kohdistaa näytteeseen sinusoidaalisen leikkausjännityksen, jota mallinnetaan sinimuotoisella aallolla. Oskillointia voidaan kontrolloida kahdella tavalla, joko taajuutta tai amplitudia muuttamalla. Oskilloinnilla

saadaan mitattua materiaalin kompleksinen leikkausmoduuli G^* , mikä kuvaa näytteen jäykkyyttä, eli muodonmuutoskestävyyttä. Se saadaan jakamalla näytteeseen kohdistettu leikkausjännitys mitatulla leikkausvenymällä. (Mezger 2014, 136-137; Karhu 2016)

Leikkausjännityksen ja venymän vaihesiirron δ suuruus kertoo, onko materiaali kiinteän kaltainen vai nestemäinen (kuvio 4). Aidon elastisen materiaalin vaihesiirtokulma on 0° , jolloin leikkausjännitys ja venymä ovat täysin samassa vaiheessa. Aidon viskoosisen materiaalin vaihesiirtokulma on 90° , jolloin leikkausjännityksen ja venymän ero on $\frac{1}{4}$ koko sinusoidaalisesta kierrosta. (Mezger 2014, 138-139; Karhu 2016)

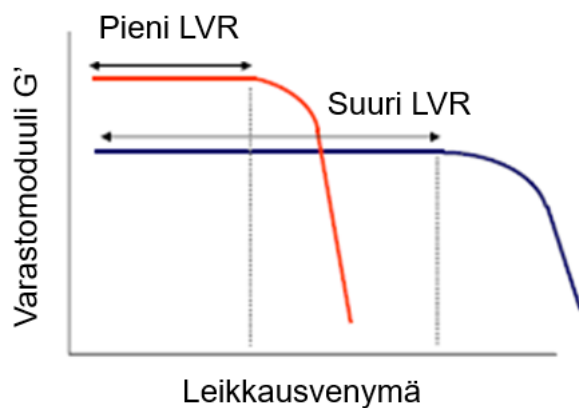


KUVIO 4. Leikkausjännityksen ja venymän vaihesiirto

Kahdella materiaalilla voi olla sama viskositeetti sekä leikkausmoduuli, mutta silti ne käyttäytyvät täysin eri tavalla esimerkiksi levittyessä. Tämän selittää materiaalin varastomodulin ja häviömodulin suuruudet. Varastomoduli G' mittaa muodonmuutosenergiaa, jonka näyte varastoi leikkauksen aikana. Materiaalit, jotka varastoivat koko käytetyn muodonmuutosenergian, osoittavat täysin palautuvaa muodonmuutuskäyttäytymistä. Sen vuoksi varastomoduli kuvaa aineen elastista käyttäytymistä. Häviömoduuli G'' mittaa näytteen käyttämää muodonmuutosenergiaa, joka kuluu materiaalin rakenteen muutosprosessiin leikkauksen aikana. Käytetty energia voi vapautua lämpönä näytteeseen tai ympäristöön, jolloin materiaali osoittaa palautumatonta muodonmuutuskäyttäytymistä. Näin ollen häviömoduuli kuvaa aineen viskoosista käyttäytymistä. (Mezger 2014, 139-140; Anton Paar n.d.)

Materiaalin häviömoduulin G'' arvoa halutaan maksimoida, jotta sen viskoosinen käyttäytyminen olisi suurempaa. Tällöin siitä tulee paremmin palautumattomasti virtaavaa ja se pysyy paremmin levittyvässä muodossaan. Näin ollen varastomodulin G' arvoa halutaan minimoida, sillä elastisen ominaisuuden ollessa liian suuri, materiaalista tulee jäykempää. (Mezger 2014, 139-140; Anton Paar n.d.)

Näytteen amplitudiramppi saadaan oskillointimittauksessa amplitudia eli värähdykslaajuutta muuttamalla taajuuden ollessa vakio 1 Hz. Sillä saadaan selvitettyä materiaalin lineaarinen viskoelastinen alue (LVR). Se saadaan nostamalla amplitudia niin paljon, että näyte alkaa hajoamaan. Kuvaajassa lineaarinen alue nähdään varastomodulin G' mittaustuloksista (kuvio 5). Niin kauan kuin varastomodulin arvo pysyy vakiona näyte ei vaurioidu. Seuraavat oskillointimittaukset tehdään tämän lineaarisen alueen sisällä. (Mezger 2014, 146; Karhu 2016)



KUVIO 5. Lineaarinen viskoelastinen alue kahdella esimerkinäytteellä

Taajuusramppiin amplitudi valitaan näytteen lineaariselta viskoelastiselta alueelta ja taajuutta muutetaan. Sen avulla voidaan tutkia näytteen ajasta riippuvaa muodonmuutoskäyttäytymistä. (Mezger 2014, 159; Karhu 2016)

3 PINTAJÄNNITYS

3.1 Nesteen pintajännitys

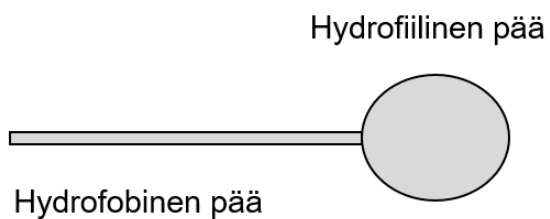
Pintajännitys kuvaa nesteen kykyä vastustaa pinta-alan kasvamista. Se johtuu nesteessä olevien molekyylien välisistä vetovoimista, koheesiosta. Nesteen sisällä oleviin molekyyliin vaikuttaa yhtä suuri voima ympäröivistä molekyyleistä. Nesteen pinnalla taas molekyyliin vaikuttaa voima nesteen sisäosaa kohti, eli ympäristöstä aiheutuu pienempi voima ja pinta muodostaa ikään kuin kalvon. (Antila ym. 2009, 47-48; Inkinen & Tuohi 2012, 314)

Nesteen pinta pyrkii pienenemään mahdollisimman pieneksi, koska silloin molekyylien väliset vetovoimat ovat voimakkaimmat. Sen vuoksi nesteet pyrkivät muodostamaan pisaroita. Nesteellä on sitä suurempi pintajännitys, mitä voimakkaammat molekyylien väliset voimat ovat. Lämpötilan nostamisella sekä pinta-aktiivisilla aineilla voidaan laskea nesteen pintajännitystä. (Antila ym. 2009, 47-48; Inkinen & Tuohi 2012, 314-316)

Pisaran pintajännityksen yksikkö on N/m, joka kuvaa pintajännityksen aiheuttaman voiman suhdetta reunaviivan pituuteen. Veden pintajännitys huoneenlämmössä on 72,8 mN/m, mutta vesipohjaisella liimalla se on noin 30 mN/m lisätyn pinta-aktiivisen aineen takia. (Inkinen & Tuohi 2012, 314-315)

3.2 Pinta-aktiivinen aine

Pinta-aktiiviset aineet alentavat vesiliuoksen pintajännitystä. Ne koostuvat molekyyleistä, joissa on hydrofobinen (vesipakoinen) sekä hydrofiilinen (vesihakui-nen) pää (kuvio 6). Vesiliuoksessa pinta-ainemolekyylit pyrkivät asettumaan veden rajapinnalle niin, että hydrofiilinen pää on vesifaasissa ja hydrofobinen pää toisessa faasissa. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2009, 72-74)



KUVIO 6. Pinta-aktiivinen aine

Pinta-aktiivisten aineiden pitoisuuden kasvaessa vesiliuoksessa, molekyyileillä on taipumus liittyä yhteen miselleiksi, jolloin muodostuu kolloidinen liuos. Kolloidit ovat todella hienojakoisia heterogeenisiä seoksia. Misellit ovat pallomaisia pinta-aktiivisen aineen yhteenliittymiä, joissa molekyylien hydrofobiset päät ovat liittyneet yhteen ja hydrofiiliset päät osoittavat poispäin. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2009, 72-74)

4 LIIMA

4.1 Liiman komponentit

Dispersioliimat koostuvat useista raaka-aineista, joita yhdistämällä saadaan ominaisuuksiltaan erilaisia liimoja. Raaka-aineita valittaessa tulee huomioida liiman loppukäyttökohde, kuten etiketöitävä pinta, jonka kanssa liima on kosketuksissa, lämpötila sekä kosteus. Liimat voidaan jakaa vesipohjaisiin, liuotinpohjaisiin sekä kiinteisiin liimoihin, kuten kuumasulaliimat. (Horwitz & Schulenberg 2007; Pirkkanen 2016)

Dispersioliiman pääkomponentti on akrylaatti- tai kumipolymeeri. Polymeeri antaa liimalle sen kovuuden. Sen valintaan vaikuttaa liiman loppukäyttökohde, kuten esimerkiksi tuleeko sen kestää pakkasta tai kosteutta. Liimassa käytetään tartuntahartsia parantamaan liiman tarttumista karkeisiin ja erittäin polaarisin pintoihin. Tartuntahartsit ovat joko kolofonihappojohdannaisia tai hiilivetyjohdannaisia. Polymeeri ja hartsit muodostavat noin 95 % liimasta. (Horwitz & Schulenberg 2007; Pirkkanen 2016)

Liimojen ajettavuutta voidaan parantaa lisäämällä liimaan lisäaineita, kuten pinta-aktiivista ainetta, vaahdonestoainetta sekä paksuntajaa. Pinta-aktiivinen aine laskee liiman pintajännitystä, jolloin sen levittyminen parantuu. Se voi myös lisätä liiman vaahdonmuodostusta, jolloin voidaan käyttää vaahdonestoainetta sen estämiseksi. Liimassa oleva vaahto vaikuttaa liiman levittymiseen, muodostaen reiکیä tai epätasaisen pinnan. (Horwitz & Schulenberg 2007; Pirkkanen 2016)

Liiman reologista käyttäytymistä muutetaan lisäämällä paksuntajaa. Paksuntajalla saadaan nostettua liiman viskositeettia, mikä puolestaan parantaa liiman levittymistä. Paksuntajat jaetaan assosiatiivisiin ja ei-assosiatiivisiin paksuntajiin. Assosiatiiviset paksuntajat ovat ionittomia polyuretaanipaksuntajia. Ne sitoutuvat polymeerihiuukkasten kanssa ja muodostavat näin verkkorakenteen. Kovassa sekoituksessa sidokset rikkoutuvat ja viskositeetti laskee. Ei-assosiatiiviset paksuntajat ovat vesiliukoisia polymeerejä. Liiman pH:n kasvaessa ne sitovat itseensä

vettä ja turpoavat. (Horwitz & Schulenberg 2007; Acrysol Rheology Modifiers 2016)

4.2 Liiman valmistaminen

Liimaa valmistaessa raaka-aineet on lisättävä oikeassa järjestyksessä mahdollisten ongelmien välttämiseksi. Lisäaineita valitessa tulee selvittää, ovatko ne yhteensopivia polymeerien kanssa ja kuinka ne vaikuttavat polymeerin suorituskykyyn ja liiman levittyvyyteen. (Horwitz & Schulenberg 2007)

Liiman valmistuksessa ensin mitataan polymeeri, johon lisätään neutraloivaa ainetta, kuten ammoniakkaa. Sillä saadaan muutettua liiman pH sopivaksi, joka on yleensä hieman yli 7. Sen jälkeen lisätään mahdollista vaahdonestoainetta, joka osittain estää liiman sekoituksen aikana syntyvää vaahtoa. Pintajännitystä alennetaan lisäämällä pinta-aktiivista ainetta ja tartuntaa parannetaan tartuntahartsilla. Lopuksi oikean viskositeetin saavuttamiseksi lisätään vielä paksuntajaa. (Horwitz & Schulenberg 2007)

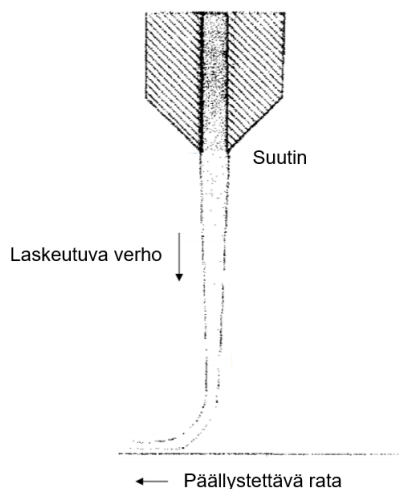
Jokaisen raaka-aineen välissä liimaa tulee sekoittaa tehokkaasti, jotta liimaan ei muodostu geeliytymiä tai epähomogeenisia alueita. Kuitenkin liian kova sekoittaminen voi aiheuttaa vaahdon muodostumista ja emulsion rikkoutumista. (Horwitz & Schulenberg 2007)

5 VERHOPÄÄLLYSTYS

5.1 Verhopäällistyksen toiminta

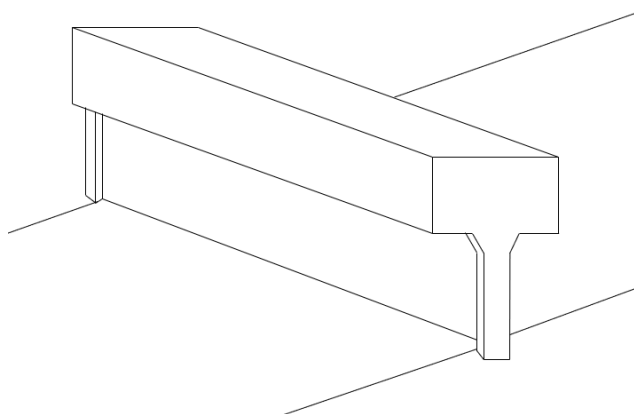
Verhopäällitys on monissa teollisuuden tuotantolaitoksissa käytettävä paperin tai kartongin päällistysmenetelmä. Verhopäällityksessä päällistettävä dispersio, kuten tarraliima tai pasta, pudotetaan verhona päällistettävän paperi- tai kartonkiradan päälle. Verhopäällityksessä tela, terä eikä suutin kosketa päällistettävää pintaa ja näin voidaan estää päällistettävän pinnan naarmuuntuminen. Verhopäällitys on ”suurten nopeuksien” päällistysmenetelmä, sillä verhonmuodostumisen mahdollistamiseksi dispersiolla täytyy olla tietty minimivirta, viskositeetti ja pintajännitys, jotta päällistysverho pysyy kasassa. (Puunjalostusinsinöörit 2017; Heinonen n.d.)

Päällistettävä dispersio pumpataan verhopäällityssuuttimeen, jossa sen paine jakautuu tasaisesti koko suuttimen leveydelle ja liima levittäytyy päällistettävän radan levyiseksi. Suuttimen suutinrako on suoraan päällistettävän verhon paksaus. Suuttimesta päällistysverho pudotetaan painovoiman avulla verhopäällistysaseman ali kulkevalle päällistettävälle radalle, joka on noin 15 cm päässä suuttimesta (kuvio 7). Pudotuksen aikana verho venyy ja ohenee sekä sen venymisnopeus kasvaa ennen osumista radan pintaan. (Heinonen n.d.)



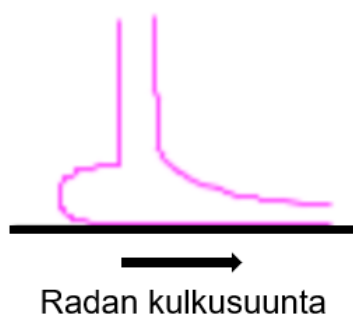
KUVIO 7. Verhopäällityskoneen suutin ja liimaverho

Vapaan pudotuksen aikana verho pyrkii kuroutumaan kasaan pintajännityksen vaikutuksesta. Korkeampi pintajännitys aiheuttaa voimakkaampaa kuroutumista. Verho tarvitsee kuitenkin vähimmäispintajännityksen, jotta se pysyy kasassa, eikä repeä. Verhon reunoilla olevilla reunaohjaimilla estetään verhon kuroutumista (kuvio 8). Ne tukevat putoavan verhon reunoja, sillä reunat osuvat pudotuksessa reunaohjaimen keskellä kulkeviin kapeisiin vesiuriin. Ennen radan pintaa vesi imetään pois, jottei se pääse radalle. (Heinonen n.d.)



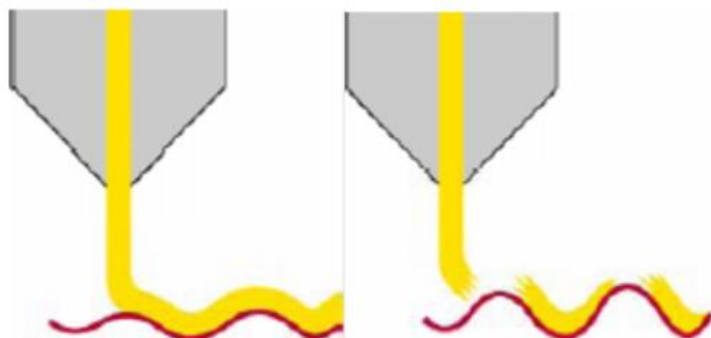
KUVIO 8. Verhopäällystys reunaohjaimilla

Verhon iskeytyessä rataa se saattaa muodostaa niin kutsutun ”kantapään” verhon taakse, mikä näkyy epätasaisena liimapintana radalla (kuvio 9). Kantapään muodostuminen on yleisempää silloin, kun verhon nopeus suhteessa radan nopeuteen on suuri. Kantapäähän voidaan vaikuttaa nostamalla ratanopeutta, jolloin rata pystyy ottamaan enemmän liimaa vastaan. Myös osittain kantapään muodostumiseen voidaan vaikuttaa pienentämällä Reynoldsin lukua, johon taas voidaan vaikuttaa viskositeetin kasvattamisella. Kantapäässä liiman virtaus muuttuu laminaarisesta turbulenteiksi, mikä aiheuttaa epätasaisuutta liimapintaan. (Heinonen n.d.; Curtain Coating & Rheology, 2017)



KUVIO 9. Verhopäällystyksessä muodostunut kantapää

Liimaverhon iskeytyessä rataan venytysvoimat ovat suuria. Tämä voi aiheuttaa liimaverhon repeytymisen, joka näkyy liimapinnassa pieninä reikinä tai repeytyminä (kuvio 10). Liimaverhon repeytymiseen rataan iskeytyksen aikana voidaan vaikuttaa nostamalla liiman venymäviskositeettia. (Heinonen n.d.; Curtain Coating & Rheology, 2017)



KUVIO 10. Verhopäällysteen repeytyminen

Verhon nopeuden ollessa pienempi kuin radan nopeus, verhon iskeytymiskohta liikkuu kauemmas. Tällöin liimaverho ei kerkeä rataan saakka, vaan iskeytymiskohta liikkuu radan mukana kauemmas, jolloin verhon ja radan väliin pääsee ilmaa. Ilma näkyy liimapinnassa epätasaisuutena. (Heinonen n.d.)

5.2 Verhopäällystyksen vaikuttavat ominaisuudet

Päällystettävän materiaalin ominaisuuksilla, kuten pintajännityksellä ja viskositeetillä, on suuri merkitys verhopäällystyksen onnistumisessa. Niitä muokkamalla voidaan estää päällysteverhon kuroutuminen, repeäminen ja reikien muodostuminen. (Heinonen n.d.)

Liiman pintajännitykseen voidaan vaikuttaa pinta-aktiivisilla aineilla, jotka pienentävät pintajännitystä. Lisäksi alhainen leikkausviskositeetti ja korkea lämpötila edesauttavat kuroutumista. Vaahdonestoainetta ei voida käyttää, sillä se aiheuttaisi verhon repeytymistä ja ilmakuplien muodostumista. (Heinonen n.d.)

Liimaverhon vapaan pudotuksen aikana liimaverho pyrkii kuroutumaan liiman pintajännityksen vaikutuksesta. Verhon stabiilisuutta voidaan kuitenkin arvioida Weberin luvulla, joka lasketaan kaavalla 9:

$$We = \frac{\rho QV}{\sigma}, \quad (9)$$

jossa ρ on liiman tiheys, Q tilavuusvirta, V verhon nopeus ja σ liiman pintajännitys. Näin ollen pintajännitystä laskemalla saadaan nostettua Weberin lukua. (Heinonen n.d.)

Venymäviskositeetilla on suuri merkitys verhon iskeytyessä päällystettävälle radalle. Sen on oltava korkeampi kuin leikkausviskositeetti, jotta verho ei repeä iskeytyessä päällystettävään rataan. Ratanopeuksien noustessa myös liiman venymäviskositeettia tulee nostaa, jotta se ei repeä päällystykseen aikana vaan kestää kovaa venyttävää rasitusta. (Mezger 2014, 280-281; Curtain Coating & Rheology, 2017)

6 MITTAUSMENETELMÄT

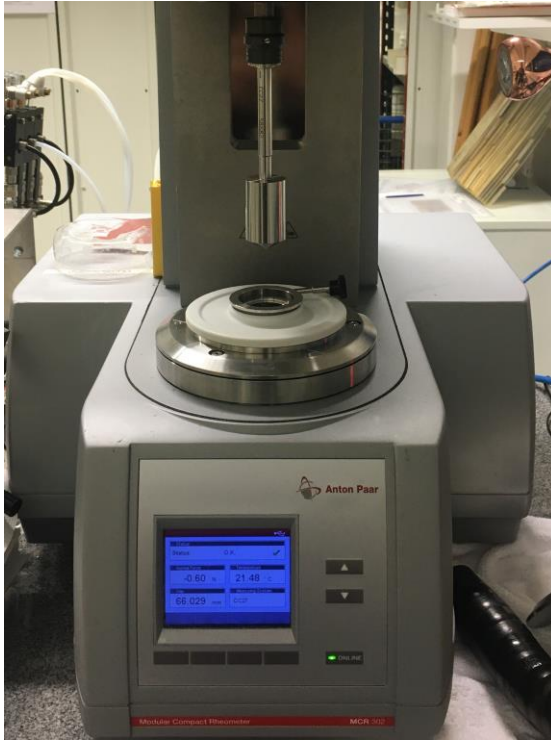
6.1 Leikkausviskositeetin mittaamenetelmät

Liimojen valmistamisen aikana niiden viskositeettia mitattiin Brookfieldin DV1-viskosimetrillä (kuva 2). Nestemäisten liimojen mittauksessa käytettiin leikkausnopeutta 100 RPM ja spindelä 4.



KUVA 2. Viskosimetri

Varsinainen leikkausviskositeetti sekä amplitudiramppi mitattiin Anton Paarin MCR 302 -reometrillä. Nestemäisten tarraliimojen mittauksessa käytettiin sylinteriä, eli toisin sanoen kuppigeometriä (kuva 3). Ulompaan kuppiin kaadettiin liimaa merkkiin asti, jonka jälkeen mittapää laskettiin sen sekaan ja käynnistettiin mittaus. Leikkausviskositeettimittauksessa leikkausnopeutta nostetaan 4000 1/s asti, jolloin mittapää tekee kasvavaa pyörimisliikettä. Amplitudiramppia mitattaessa mittapää tekee kasvavaa oskilloivaa, eli edestakaista liikettä taajuuden pysyen vakiona 1 Hz.

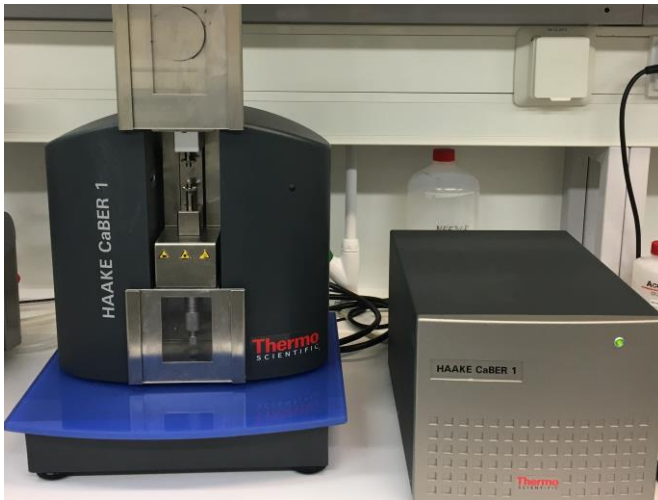


KUVA 3. Reometri kuppigeometrialla

Leikkausviskositeettimittaus mittaa näytteen viskositeettia eri leikkausnopeuksien kohdalla, jolloin saadaan kuvaaja viskositeetista (Pas) leikkausnopeuden (1/s) suhteen. Amplitudirampin kuvaaja näyttää varastomoduulin G' ja häviömoduulin G'' arvon leikkausvenymän (%) suhteen.

6.2 Venymäviskositeetin mittausmenetelmä

Liimanäytteiden venymäviskositeetin mittaamiseen käytettiin Thermo Scientific HAAKE CaBER 1 -venymäviskosimetriä Aalto-yliopistossa (kuva 4). Siinä on kaksi pyöreää mittapäätä, joiden välissä on 3 cm tilaa. Liimanäyte pipetoidaan mittapäiden väliin tasaisesti, jonka jälkeen ylempi mittapää nostetaan 50 millisekunnissa ylös noin 8 cm korkeuteen. Mittapään noustessa näytefilamentti venyy mittapäiden välissä ja liiman halkaisijaa mitataan ajan suhteen siihen asti, kunnes näyte katkeaa.

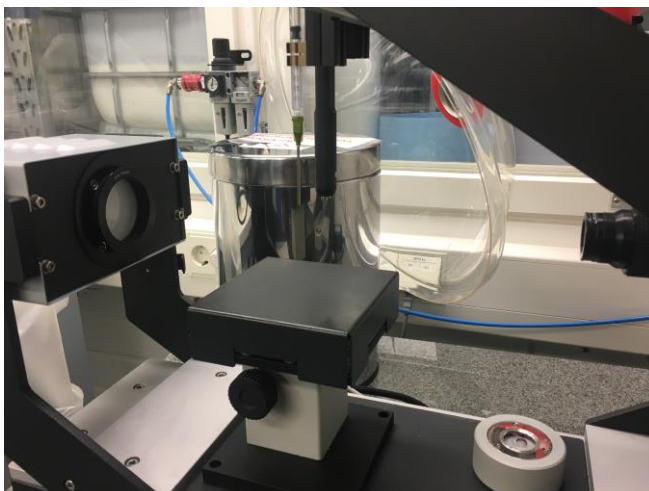


KUVA 4. Thermo Scientific HAAKE CaBER 1

Mittaustuloksista saadaan kuvaaja näytteen halkaisijasta ajan suhteen. Näistä tuloksista voidaan laskea venymäviskositeetti, Henckyn venymä sekä Trouton suhdearvo käyttäen kaavoja 6, 7 ja 8.

6.3 Pintajännityksen mittaamenetelmä

Nestemäisen liiman pintajännitystä mitattiin riippuvan pisaran -menetelmällä. Siinä ruiskuun laitetaan liimanäytettä, jonka jälkeen ruisku asetetaan laitteeseen kiinni. Mittalaite ohjaa ruiskun männän liikettä halutulla nopeudella, jolloin sen päässä olevasta neulasta alkaa tippumaan pisaroita. Pisanan muotoon vaikuttaa liiman pintajännitys. Ruisku sijaitsee valonlähteen sekä kameran välissä, jolloin pisanan muoto voidaan nähdä tarkasti (kuva 5).



KUVA 5. Pintajännityksen mittaaminen riippuvan pisaran -menetelmällä

Pisaroiden tippuessa tapahtumaa kuvataan laitteessa olevalla kameralla, jotta tuloksia on helpompi tulkita mittauksen päätyttyä. Videolta katsotaan, milloin pisara on suurimmillaan ja laite mittaa sen pintajännityksen sillä hetkellä.

7 TYÖN SUORITUS

7.1 Liimojen valmistaminen

Tässä työssä valmistettiin 15 erilaista vesipohjaista dispersioliimaa, joiden reseptit nähdään taulukosta 2. Polymeereinä käytettiin normaaleja markkinoilla olevia tarraliiman akrylaattipolymeerejä. Liima 1 on akrylaattipolymeeriliima, johon on lisätty tartuntahartsia ja liimat 2 sekä 3 ovat puhtaita akrylaattipolymeeriliimoja. Liimoissa 1 ja 2 on laaja partikkelikokojakauma ja suuremmat partikkelit kuin liimassa 3. Liimassa 3 on kapea partikkelikokojakauma ja pienin partikkelikoko. Paksuntaja A on akrylaattipolymeeripaksuntaja ja muut paksuntajat ovat polyuretaanipaksuntajia.

TAULUKKO 2. Liimojen reseptit (%)

	Liima 1					Liima 2					Liima 3				
	A	B	C	D	Ref.	A	B	C	D	Ref.	A	B	C	D	Ref.
Polymeeri 1	47	47	47	47	47										
Polymeeri 2						100	100	100	100	100					
Polymeeri 3											100	100	100	100	100
Polymeeri 4	25	25	25	25	25										
Ammoniakki	pH>7					pH>7					Ei pH:n säätöä				
Pinta-aktiivi	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hartsit															
Hartsit 1	15	15	15	15	15										
Hartsit 2	15	15	15	15	15										
Paksuntaja A	0,25					0,2					0,3				
Paksuntaja B		0,38					0,2					0,3			
Paksuntaja C			0,25					0,2					0,3		
Paksuntaja D				0,33					0,2					0,3	

Liimat valmistettiin tuotekehityksen laboratoriossa. Liimojen raaka-aineet lisättiin reseptin mukaisessa järjestyksessä sekoittimessa olevaan astiaan sekoituksen koko ajan käydessä. Liimojen 1 ja 2 pH:t säädettiin ammoniakilla noin arvoon 8. Liiman 3 pH:ta ei säädetty, koska se oli jo valmiiksi neutraali. Paksuntajat lisättiin pieninä määrinä, jotta ne sekoittuivat liimaan eivätkä muodostaneet paakkuja. Paksuntaja C oli itsessään jo niin paksua, jonka vuoksi siitä valmistettiin 1:1 laimennos veden kanssa, jotta se saatiin sekoitettua liimaan. Valmiit liimat säilytettiin ilmatiiviissä astioissa, ettei ammoniakki haihdu ajan kuluessa.

7.2 Liimojen mittaaminen

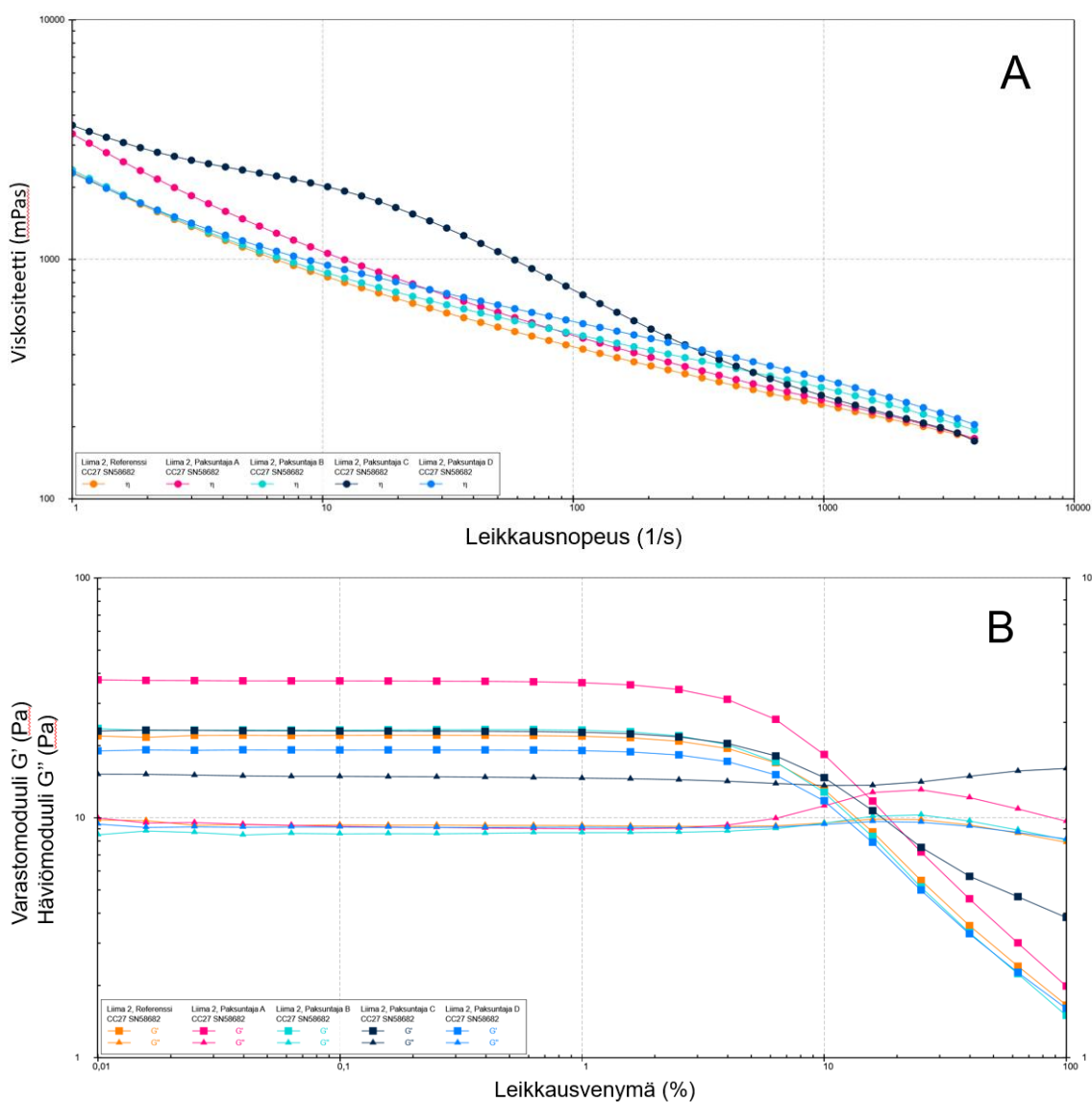
Valmistetuista liimoista mitattiin Brookfield-viskositeetti heti valmistamisen jälkeen, jotta varmistuttiin, että ne ovat tuotannon käyttämissä Brookfield-arvoissa. Tuotannossa Brookfield-viskositeetti on noin 0,8-1 Pas. Seuraavana päivänä liimoista mitattiin leikkausviskositeetti sekä amplitudiramppi reometrillä sekä pintajännitys siihen tarkoitettulla laitteella. Myöhemmin samoista liimoista mitattiin vielä venymäviskositeetti Aalto-yliopistossa olevalla venymäviskometrillä.

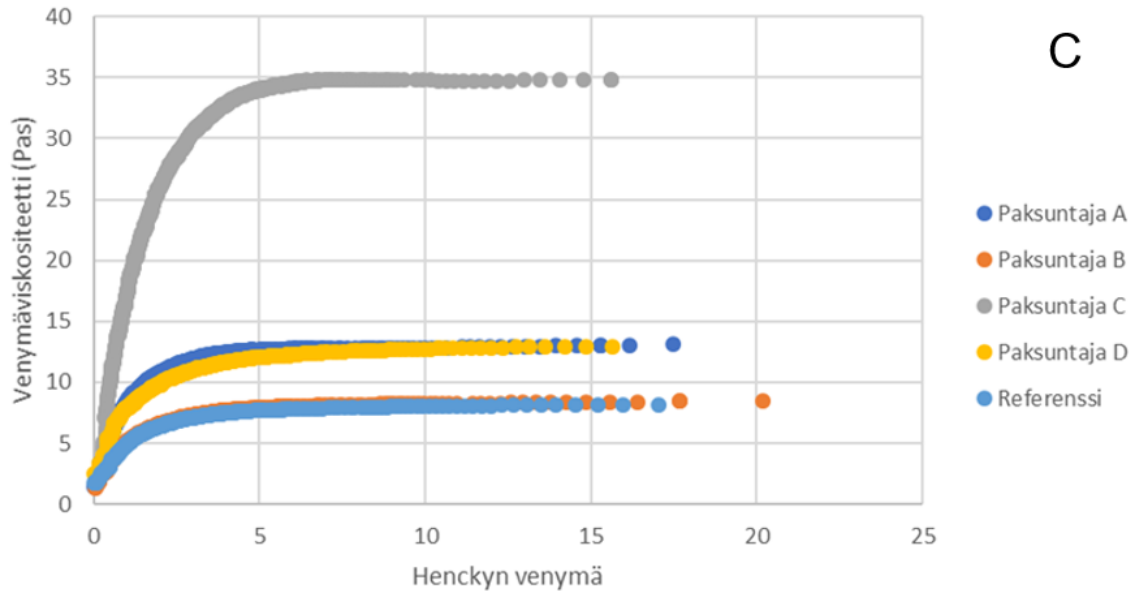
Mittaustulokset koottiin kuvaajiin, joissa on jokaiselle liimalle kaikki neljä paksuntajaa sekä referenssi, johon ei ole lisätty paksuntajaa. Kuvaajista voitiin vertailla, onko mittausmenetelmillä korrelaatiota ajettavuuteen tuotannossa.

8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Mittausmenetelmien korrelaatio ajettavuuden kanssa

Liimojen eri mittauksien avulla halutaan selvittää, onko mittausmenetelmissä korrelaatiota ajettavuuden kanssa, eli mitkä liiman ominaisuudet ovat tärkeimmässä roolissa tuotannossa verhopäällystyskoneella. Liiman 2 leikkausviskositeetin, amplitudirampin varastomoduulin ja häviömoduulin sekä venymäviskositeetin mittaustulokset on koottu kuvioon 11.





KUVIO 11. Liiman 2 mittaustulokset. A. Leikkausviskositeetit leikkausnopeuden funktiona. B. Varastomoduulit sekä häviömoduulit leikkausvenymän funktiona. C. Venymäviskositeetit Henckyn venymän funktiona

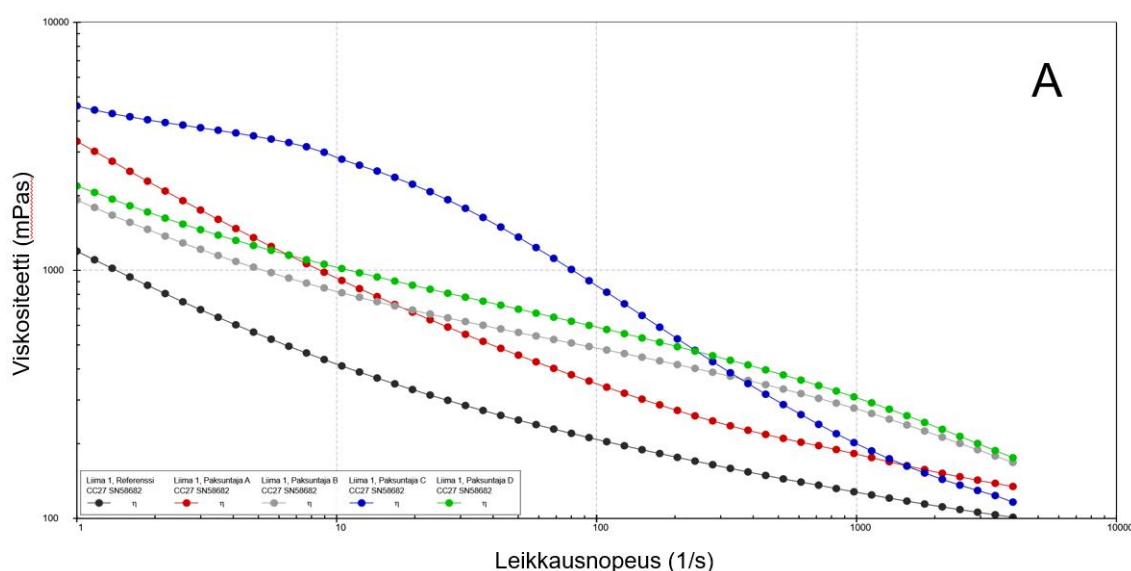
Kuvion 11 A eri paksuntajien leikkausviskositeetit antavat viitteitä, että leikkausviskositeetin suuruudella ei ole niin suurta vaikutusta verhopäällistyksessä. Se voidaan huomata siitä, että eri paksuntajilla ei huomata suurta eroa suurilla leikkausnopeuksilla, noin 10 000 1/s kohdalla. Kuviosta 11 B voidaan huomata, että amplitudirampin korkein arvo häviömoduulille G'' saadaan paksuntajalla C, mikä viittaa haluttuun viskoosiseen käyttäytymiseen. Verhopäällistyksessä liiman halutaan käyttäytyvän mahdollisimman viskoosisesti, koska tällöin siitä tulee paremmin palautumattomasti virtaavaa ja se pysyy paremmin levittyvässä muodossaan. Myös häviömoduulin G' arvoa halutaan minimoida sillä elastisen ominaisuuden ollessa liian suuri, materiaalista tulee jäykempää. Paksuntajalla C häviömoduulin arvo on myös melko matala, mikä osoittaa hyvää käyttäytymistä verhopäällistyksessä. Kuviosta 11 C nähdään, että paksuntajalla C on huomattavasti korkein venymäviskositeetti, mikä puolestaan osoittaisi hyvää kestämistä venytysrasituksessa liimaverhon iskeytyessä rataan.

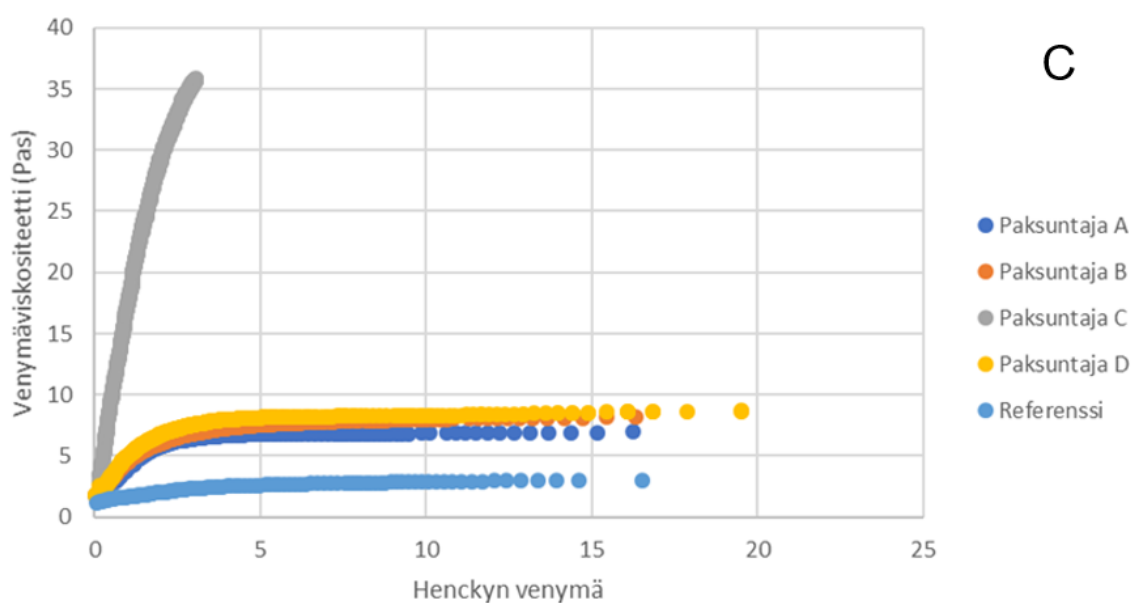
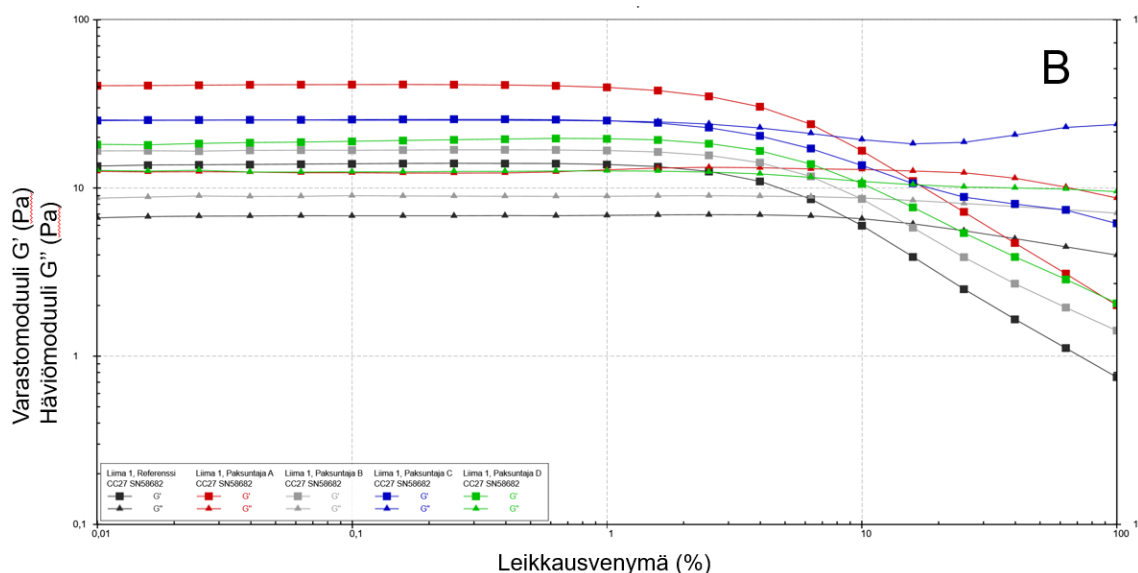
Aikaisemmin on nähty, että eri paksuntajia mitattaessa Yhdysvalloissa UPM Rafalacin tuotantolaitoksella, on saatu saman suuntaisia tuloksia. Siellä paksuntaja C:llä oli ratkaistu ongelmat verhopäällistyksessä ja se on siellä käytössä. Paksuntaja C oli antanut myös suurimman venymäviskositeetin arvon, kuten tässäkin

työssä. Se puolestaan osoittaa, että liiman 2 paksuntaja C:n mittaustulokset antavat viitteitä siitä, että mitkä ominaisuudet ovat tärkeitä verhopäällälystyksessä. Näin ollen voidaan päätellä, että liiman amplitudirampilla ja venymäviskositeetilla on korrelaatio tuotannon ajettavuuden kanssa korkeilla tuotantonopeuksilla. (Formulation for High Speed Curtain Coating 2018)

On oletettu, että leikkausviskositeetin tulisi olla mahdollisimman korkea korkeilla leikkausnopeuksilla, noin leikkausnopeuden arvossa 10 000 1/s, jotta liiman ajettavuus verhopäällälystyksessä olisi hyvää. Mittaustulokset kuitenkin osoittavat, että näin ei todellisuudessa ole. Liiman 2 mittaustuloksista siis huomataan, että paksuntaja C olisi paras valinta amplitudirampin sekä venymäviskositeetin kannalta, mutta leikkausviskositeetin arvo on sillä paksuntajalla matalin korkeilla leikkausnopeuksilla. Tästä voidaan siten päätellä, että leikkausviskositeetti ei suoraan korreloi ajettavuuden kanssa korkeilla tuotantonopeuksilla.

Näiden tulosten lisäksi myös liimoilla 1 ja 3 on nähtävissä samanlainen korrelaatio paksuntajalla C amplitudirampin sekä venymäviskositeetin mittaustuloksien ja ajettavuuden välillä. Liiman 1 leikkausviskositeetin, amplitudirampin varastomodulin ja häviömodulin sekä venymäviskositeetin mittaustulokset on koottu kuvioon 12.



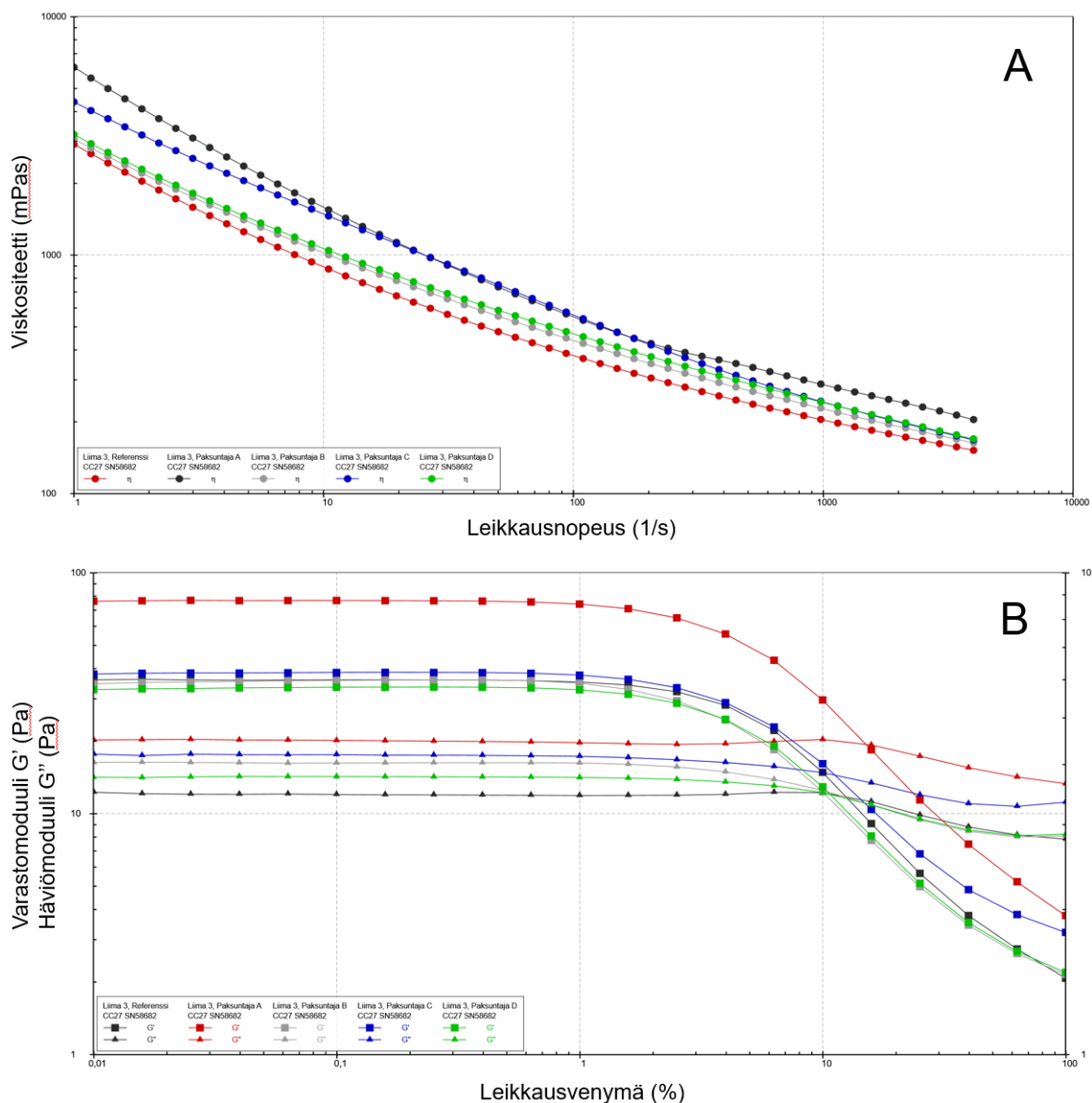


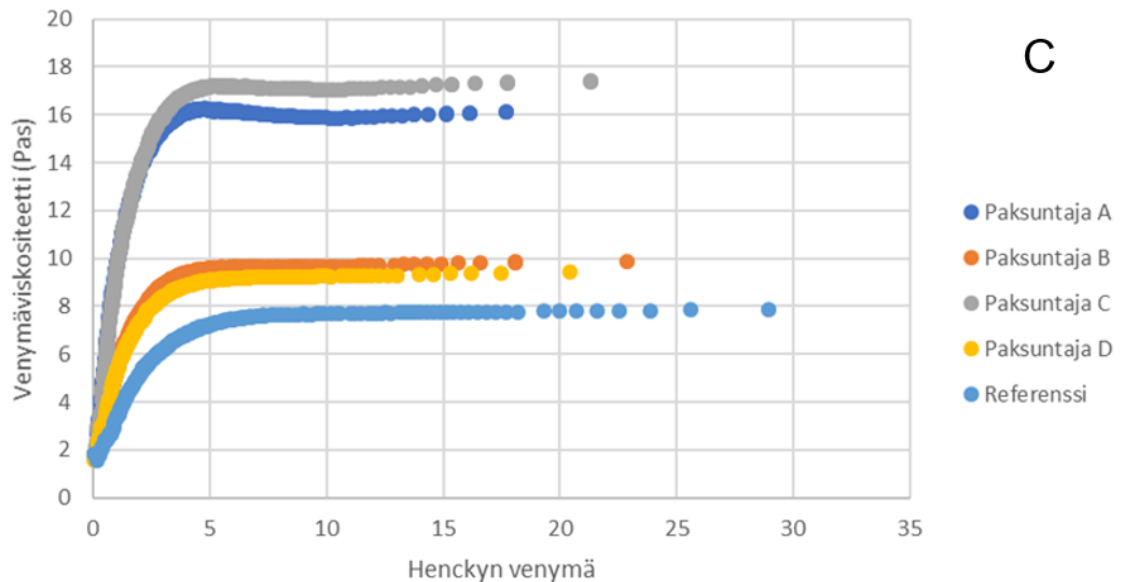
KUVIO 12. Liiman 1 mittaustulokset. A. Leikkausviskositeetit leikkausnopeuden funktiona. B. Varastomoduulit sekä häviömoduulit leikkausvenymän funktiona. C. Venymäviskositeetit Henckyn venymän funktiona

Liimalla 1 leikkausviskositeettien mittaustulokset jakautuvat hieman laajemmin kuin liimalla 2 ja se nähdään kuvioista 12 A. Suurilla leikkausnopeuksilla eri paksuntajilla on hieman enemmän hajontaa kuin liiman 2 mittaustuloksilla. Kuitenkin paksuntaja C:n antama leikkausviskositeetti on matalampi kuin muut. Tämä tukee liimalla 2 tehtyä päätelmää siitä, että leikkausviskositeetin arvolla ei ole merkitystä verhopäällystyksessä. Sen sijaan venymäviskositeetin mittauksessa paksuntajalla C oli niin pitkä venymäaika, että mittausaika loppui kesken, ennen kuin näytefilamentti katkesi. Kuvioista 12 C kuitenkin voidaan nähdä, että paksuntajalla

C on huomattavasti korkeampi venymäviskositeetti kuin muilla paksuntajilla. Muiden paksuntajien venymäviskositeetin arvot ovat vain hieman korkeammat kuin referenssin. Myös kuviosta 12 B huomataan, että paksuntajalla C on huomattavasti korkein häviömoduulin G'' arvo.

Liiman 3 leikkausviskositeetin, amplitudirampin varastomodulin ja häviömoduulin sekä venymäviskositeetin mittaustulokset on koottu kuvioon 13.





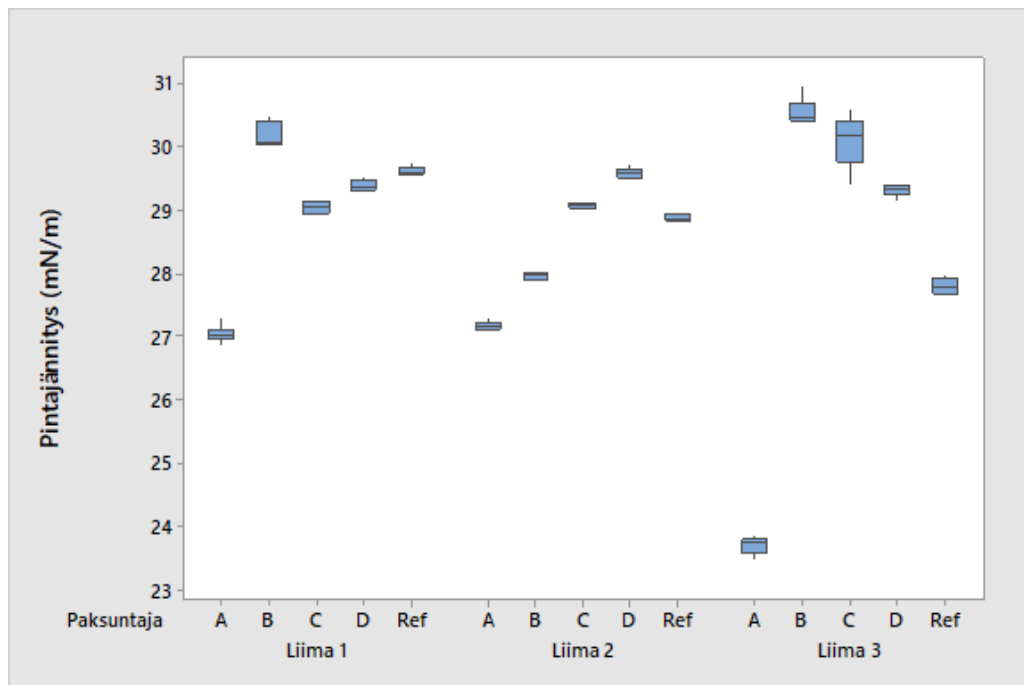
KUVIO 13. Liiman 3 mittaustulokset. A. Leikkausviskositeetit leikkausnopeuden funktiona. B. Varastomoduulit sekä häviömoduulit leikkausvenymän funktiona. C. Venymäviskositeetit Henckyn venymän funktiona

Kuviosta 13 A nähdään, että liiman 3 leikkausviskositeettien arvot ovat hyvin saman suuruisia korkeilla leikkausnopeuksilla eikä suurta hajontaa ole. Kuvio 13 B kuitenkin osoittaa, että paksuntajalla A on hieman suurempi häviömoduuli G'' kuin muilla paksuntajilla. Amplitudirampin kuvaajasta huomataan kuitenkin myös paksuntajan A huomattavasti korkeampi varastomoduuli G' , minkä halutaan olevan mahdollisimman alhainen, jotta liima ei ole liian elastinen eli liian jäykkää. Kuviosta 13 C nähdään, että paksuntajilla A ja C venymäviskositeetit ovat kuitenkin lähes yhtä suuret. Tästä voidaan päätellä, että liimojen polymeerien eroilla on vaikutusta paksuntajien toimintaan, sillä muilla liimoilla paksuntaja A ei antanut näin suurta venymäviskositeetin arvoa.

Eri paksuntajat toimivat eri liimoilla eri tavalla. Liima 1 on akrylaattipolymeeriliima, johon on lisätty tartuntahartsia ja liimat 2 ja 3 ovat puhtaita akrylaattipolymeeriliimoja. Myös liimoissa 1 ja 2 on suuremmat partikkelikoot kuin liimassa 3. Työtä voitaisiin kuitenkin vielä jatkaa ja selvittää, millä tavalla partikkelikoko tai polymeerin ero vaikuttaa paksuntajan toimintaan.

8.2 Pintajännityksen vaikutus

Verhopäällistyksessä liiman pintajännityksen on oltava tarpeeksi matala, jotta verho levittyy tasaisesti eikä kuroudu tai muodosta reikiä. Liimoista mitattiin pintajännitys kuudella rinnakkaisnäytteellä ja mittaustulokset nähdään liitteestä 1. Näistä mittaustuloksista piirrettiin boxplot-kuvaaja, joka nähdään kuviosta 14. Mittaustuloksista huomataan, että kaikki pintajännitysmittaukset sijoittuvat välille 23–31 mN/m ja niissä on melko paljon hajontaa. Jokaisella kolmella liimalla paksuntaja A antaa kuitenkin alhaisimman pintajännityksen.



KUVIO 14. Liimojen pintajännitykset

Yhdysvalloissa tehdyn tutkimuksen mukaan paksuntaja C on paras korkeilla konenopeuksilla (Formulation for High Speed Curtain Coating 2018). Pintajännityksen mittaustulokset siten osoittavat, että pintajännityksen suuruudella ei olekaan niin suurta merkitystä kuin on luultu. Paksuntaja C:n mittaustulokset eivät ole läheskään yhtä matalia kuin paksuntaja A:n, mutta silti se on parempi vaihtoehto korkeille konenopeuksille.

Aikaisemmin pintajännityksen suuruudella on huomattu olevan vaikutus liimaverhon stabiilisuuteen. Pintajännitystä laskemalla saadaan nostettua Weberin lukua

(kaava 9), jonka tulisi olla yli 2 verhopäällystyksessä, jotta verho olisi stabiili. Alhainen pintajännitys lisäksi estää liimaverhoa kuroutumasta ja auttaa sitä levittymään paremmin silikonidulle pinnalle.

Pintajännityksellä on osittain vaikutusta myös liiman venymäviskositeettiin. Liima venyy pidempään alhaisemmalla pintajännityksellä, sillä pintajännitys pyrkii vastustamaan pinta-alan kasvamista. Näin ollen liimafilamentti ei katkea niin helposti kovassa venytysrasituksessa. Kuitenkaan tässä työssä mitatut liimat eivät osoitaneet pintajännitysmittauksilla olevan korrelaatiota venymäviskositeetin mittaustuloksiin.

Matalan pintajännityksen takia paksuntaja A on tähän asti ollut eniten käytetty paksuntaja tuotannon verhopäällystyskoneilla, ja sillä on pärjätty hyvin alhaisemmillä tuotannon konenopeuksilla. Tulevaisuudessa kuitenkin konenopeutta halutaan nostaa selvästi ja näin ollen halutaan selvittää, mikä liima on paras korkeilla konenopeuksilla. Kaikkien mittaustulosten perusteella voidaan olettaa, että venymäviskositeetilla ja amplitudirampilla on korrelaatio ajettavuuteen korkeilla tuotantonopeuksilla verhopäällystyksessä toisin kuin leikkausviskositeetilla ja pintajännityksellä ei huomata korrelaatiota.

9 POHDINTA

Työn tavoitteena oli löytää tarraliimojen reologisten mittausten menetelmien korrelaatio korkeisiin tuotantonopeuksiin verhopäällystyksessä. Konenopeuksien kasvaessa on tärkeää tietää, mitkä tarraliiman ominaisuudet vaikuttavat ajettavuuteen tuotannon verhopäällystyksessä. Työn tavoitteet täyttyivät ja mittaustulokset antoivat viitteitä, että tarraliimojen amplitudirampilla ja venymäviskositeetilla on korrelaatio liiman ajettavuuteen verhopäällystyksessä korkeilla konenopeuksilla. Leikkausviskositeetilla ja pintajännityksellä ei sen sijaan ollut nähtävissä selvää korrelaatiota liiman ajettavuuteen.

Työn suoritus onnistui odotetusti, mutta tulosten luotettavuuden lisäämiseksi näytteitä olisi voitu mitata useampia rinnakkain. Eri paksuntajien venymäviskositeettia on mitattu aikaisemmin Yhdysvalloissa UPM Raflatacin tuotantolaitoksella. Näitä tuloksia käytettiin apuna analysoimaan työssä saatuja mittaustuloksia. Yhdysvalloissa ajettavuusongelmat suurilla konenopeuksilla ratkaistiin paksuntajalla C. Sen myötä on saatu selville, että paksuntajalla C saadaan paras ajettavuus verhopäällystykoneella. Näin ollen tämä työ vahvistaa, että korkea venymäviskositeetti sekä korkea häviömoduuli G'' ovat merkittäviä ajettavuuden kannalta. (Formulation for High Speed Curtain Coating 2018)

Työn tuloksilla on suuri merkitys UPM Raflatacin tuotekehitykselle. Heidän tavoitteenaan on pystyä laboratoriomittauksilla määrittämään liimaresepti myös korkeille tuotantonopeuksille. Työn tulosten perusteella heillä on parempi tietämys, mitkä tekijät korkeilla tuotantonopeuksilla vaikuttavat ajettavuuteen. Tämä on tärkeää, sillä tuotantokoneilla koeajojen suorittaminen on pois tuotantokapasiteetista.

Jatkossa työtä voidaan jatkaa testaamalla lisämittauksilla, onko amplitudirampilla ja venymäviskositeetilla aina sama korrelaatio, jolloin voitaisiin tehdä vain toinen mittaus. Lisäksi olisi hyvä mitata muita tuotantoliimoja, ja varmistaa, että tässä työssä saadut tulokset pätevät myös eri tyyppisillä liimoilla. Tässä työssä tarraliimat mitattiin niiden vakiossa kuiva-ainepitoisuudessa, joten olisi hyvä selvittää,

onko kuiva-aineella vaikutusta mittaustuloksiin. Polymeerien partikkelikokojakamalla ja partikkelikoolla nähtiin olevan vaikutusta paksuntajien toimintaan, joten laboratoriossa sitä voitaisiin tutkia vielä lisää polymeroimalla samasta polymeeristä erilaisia partikkelikokoja ja -kokojakauksia.

LÄHTEET

Acrysol Rheology Modifiers, 2016. Product Solutions Guide. Luettu 14.1.2020. http://msdssearch.dow.com/PublishedLiterature-DOWCOM/dh_0966/0901b803809660b9.pdf?filepath=coatings/pdfs/noreg/883-00544.pdf&fromPage=GetDoc

Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2009. Tekniikan kemia. 10.-11. painos. Helsinki: Edita prima Oy.

Anton Paar n.d. Amplitude sweep. Luettu 11.2.2020. <https://wiki.anton-paar.com/en/amplitude-sweeps/>

Curtain Coating & Rheology, 2017. Koulutusmateriaali. Julkaisematon. UPM Raflatac.

Formulation for High Speed Curtain Coating, 2018. Mittausraportti. Julkaisematon. UPM Raflatac.

Heinonen Kai, n.d. Vesidispersiopäällystys verhopäällystysmenetelmällä. Koulutusmateriaali. Julkaisematon. UPM Raflatac.

Horwitz, R. & Schulenberg D. L. 2007. Coater Ready PSA Compounding. Koulutusmateriaali. UPM Raflatac.

Inkinen, P. & Tuohi, J. 2012. Momentti 1. 4.-9. painos. Keuruu: Otava.

Karhu, J. 2016. Recap – DMA in PSA Development. Koulutusmateriaali. Julkaisematon. UPM Raflatac.

Mezger, T. 2014. The Rheology Handbook. Hanover: Vincentz Network.

Pirkkanen, S. 2016. WB adhesive raw mats, formulations and requirements. Koulutusmateriaali. Julkaisematon. UPM Raflatac.

Puunjalostusinsinöörit, 2017. Suomalaisten paperinpäällystyskoneiden historiaa. Luettu 14.2.2020. <https://www.puunjalostusinsinöörit.fi/biometsateollisuus/innovaatiot/5-paallystys-ja-jalkikasittely/5.1-suomalaisten-paperinpaallystyskoneiden-historiaa/>

Thermo Scientific HAAKE CaBER 1, 2012. Luettu 9.1.2020. https://hosmed.fi/wp-content/uploads/2016/10/CaBER_esite.pdf

LIITTEET

Liite 1. Liimojen pintajännitysten mittaustulokset

TAULUKKO 3. Liimojen pintajännitysten mittaustulokset

Liima 1				
Referenssi	Paksuntaja A	Paksuntaja B	Paksuntaja C	Paksuntaja D
SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)
29,58	27,30	30,09	28,98	29,30
29,67	26,87	30,07	28,92	29,35
29,57	26,99	30,02	29,15	29,52
29,53	27,03	30,05	29,06	29,38
29,75	27,08	30,50	29,06	29,31
29,60	26,98	30,39	29,18	29,47
Liima 2				
Referenssi	Paksuntaja A	Paksuntaja B	Paksuntaja C	Paksuntaja D
SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)
28,96	27,20	27,91	29,03	29,57
28,80	27,19	28,01	29,15	29,61
28,86	27,23	27,99	29,04	29,53
28,86	27,31	27,92	29,08	29,48
28,86	27,11	27,98	29,09	29,70
28,94	27,12	28,03	29,13	29,64
Liima 3				
Referenssi	Paksuntaja A	Paksuntaja B	Paksuntaja C	Paksuntaja D
SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)	SFT (mN/m)
27,92	23,82	30,59	29,87	29,40
27,76	23,74	30,41	30,34	29,41
27,96	23,50	30,96	29,40	29,30
27,87	23,62	30,50	30,11	29,38
27,68	23,87	30,43	30,60	29,28
27,69	23,78	30,37	30,29	29,15