



EPI-liiman levitysominaisuuksien parantaminen raitalevittimellä

Irma Pylvänäinen

Opinnäytetyö
Elokuu 2015
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemian tekniikka

IRMA PYLVÄNÄINEN

EPI-liiman levitysominaisuuksien parantaminen raitalevittimellä

Opinnäytetyö 32 sivua

Elokuu 2015

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kiilto Oy:n kehitteillä olevalle EPI-liimalle sopivat levitysparametrit raitalevittimelle. EPI-liimat ovat kaksikomponenttisia liimoja, jotka muodostuvat emulsiopolymeeri (EP) komponentista sekä isosyanaattisesta (I) funktionaalisesta silloittaja komponentista. Kiilto Oy valmistaa EPI-liimoja ikkuna- ja oviteollisuudelle sekä liimapuu- ja lamellihirsiteollisuuteen.

EPI-liimoilla on tietty käyttöikä eli Potlife. Teollisuudessa tämä tarkoittaa sitä, että tuotantolinja pysähtyy, kun Potlife tulee täyteen, koska linjasto pitää pestä. Tämän vuoksi Kiilto Oy on kehittänyt pidemmän käyttöiän EPI-liimaa, jonka ensimmäisessä koeajossa Venäjällä huomattiin ongelmia raitalevityksessä. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää syyt liiman levityksessä ilmenneisiin ongelmiin sekä poistaa ne.

Opinnäytetyö sisältää kirjallisuusosion sekä käytännön levityskokeet raitalevittimellä. Työn kirjallisessa osiossa kerrotaan EPI-liimoista, erilaisista levitysmenetelmistä sekä viskositeetista. Levityskokeet suoritettiin Kiilto Oy:n tuotantotiloissa, testilaitteella, joka rakennettiin opinnäytetyötä varten. Levityskokeissa testattiin kehitteillä ollutta liimaa sekä Kiilto Oy:n tuotannossa olevia EPI-liimoja.

Levityskokeissa selvisi syyt koeajoissa ilmenneisiin ongelmiin. Levityskokeista pääteltiin, ettei kehitteillä olleessa liimassa ollut mitään vikaa. Sopivalla viskositeettitasolla, paineella ja reikäkoolla liima toimi hyvin. Näiden lisäksi pääteltiin, että kovetteen valinnalla oli merkitystä. Tärkein havainto oli, että liimaa täytyy valmistusvaiheessa sekoittaa hyvin, että se leviäisi kunnolla. Tulosten pohjalta tehtiin muutoksia EPI-liiman valmistukseen.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Chemical Engineering

IRMA PYLVÄNÄINEN

String application optimisation for an EPI adhesive

Bachelor's thesis 32 pages

August 2015

The purpose of this thesis was to discover which the best spreading parameters are for EPI adhesive that has developed by Kiilto Oy. EPI adhesives are two component adhesives that combine emulsion polymer (EP) component and functional isocyanate (I) crosslinking agent component. Kiilto Oy manufactures EPI adhesives for window and door industry and laminated timber industry.

EPI adhesives have certain operating time, so called Potlife. When adhesive reaches Potlife the whole industrial production line stops for cleaning. For that reason Kiilto Oy has been developing EPI adhesive that has longer operating time. Some problems were discovered when this adhesive was in the test run in Russia. The purpose of this thesis was to find out reasons for those problems and to delete the problems.

The theoretical part explores EPI adhesives, different spreading techniques and viscosity. The practical part consists spreading tests. The spreading tests were done at the Kiilto Oy production unit. The test equipment was made for this thesis. The new EPI adhesive among three other EPI adhesives were tested.

The reasons for the problems in the test run were discovered in the spreading tests. It was discovered that there were nothing wrong with the new EPI adhesive. In the suitable viscosity range, pressure and hole size adhesive spreads well. The choice of the hardener is significant. The most important result was that EPI adhesive must be mixed well to spread well. Based on this some changes were made for production of EPI adhesive.

Key words: EPI adhesive, string application, Potlife

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TEORIAA	7
2.1	EPI-liima	7
2.1.1	Liimausominaisuudet	8
2.1.2	Kiilto Oy:n EPI-liimat.....	9
2.2	Raitalevitin.....	10
2.3	Telalevitin	13
2.4	Viskositeetti	14
2.4.1	Viskositeetin määrittäminen.....	16
3	MITTAUKSET	18
3.1	Testilaitteisto.....	18
3.2	Viskositeettikäyrät	21
3.3	Levityskokeet.....	22
3.3.1	Ensimmäinen levityskoe	22
3.3.2	Toinen levityskoe	23
3.3.3	Kolmas levityskoe.....	23
4	MITTAUSTULOKSET.....	25
4.1	Liimojen viskositeetti levityskokeen aikana.....	25
4.2	Levitysmäärä.....	28
5	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	32

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

EPI	EmulsioPolymeeri-Isosyanaatti
Potlife	liimasekoituksen käyttöaika
MDI	metyleenibisfenyyli-isosyanaatti
PVAc	polyvinyyliasetaatti
UF	ureaformaldehydi
MUF	melamiiniureaformaldehydi
resorsinoli	orgaaninen yhdiste, joka muodostuu benteseenirenkaasta ja siihen liittyvistä kahdesta alkoholiryhmästä
delaminointi-testi	liimapuun säänkestävyydestä, jossa liimapuuta altistetaan vuoroin kosteudelle, vuoroin kuivuudelle

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia EPI-liiman levitysominaisuuksia raitalevittimellä sekä parantaa niitä.

Työn tilasi Kiilto Oy, joka valmistaa liimoja Lempäälän Sääksjärvellä. EPI-liimoja käytetään teollisuudessa ikkunoiden ja ovien sekä liimapuun ja lamellihirsien valmistuksessa. Kiilto Oy on kehittänyt uutta pidemmän käyttöiän EPI-liimaa, jonka koeajossa Venäjällä ilmeni ongelmia raitalevittimellä liimaa levitettäessä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää syyt, joista huono levittyvyys Venäjän koeajoissa johtui.

Opinnäytetyössä etsittiin sopivia parametreja, joilla liima saadaan levittymään tasaisesti raitalevittimellä. Opinnäytetyössä tutkittavia levittyvyyteen vaikuttavia parametreja olivat esimerkiksi sideainetyyppi, kovete, liiman viskositeetti, raitalevittimen rakenne ja paine.

Työn käytännön osassa keskityttiin reikäkoon ja paineen vaikutuksen tutkimiseen. Tämän lisäksi tutkittiin liiman viskositeetin vaikutusta liiman levittyvyyteen raitalevittimellä.

Jotta liiman levitysominaisuuksia voitiin tutkia, lainattiin lamellihirsiä valmistavasta yrityksestä raitalevittintä, jonka pohjalta Kiilto Oy:n kunnossapito rakensi testilaitteen. Työn teoriaosuus suoritettiin Kiilto Oy:n tutkimus- ja kehitysosastolla ja levityskokeet Kiilto Oy:n tuotantotiloissa huhti-toukokuussa 2015. Opinnäytetyötä varten valmistettiin koeliimaa Kiilto Oy:n tutkimus- ja kehitysosastolla sekä suurempi erä tuotantotiloissa.

Kirjallinen osio sisältää tietoa EPI-liimoista, erilaisista levittimistä sekä viskositeetista. Käytännön osiossa kerrotaan levitystesteistä sekä esitellään käytetty menetelmä.

2 TYÖN TEORIAA

2.1 EPI-liima

EPI-liimat ovat kaksikomponenttisia liimoja, jotka muodostuvat emulsiopolymeeri (EP) komponentista sekä isosyanaattisesta (I) funktionaalisesta silloittaja komponentista. Liimatyyppille on ominaista, että sillä on sekä termoplastisia että duroplastisia ominaisuuksia. Liimat ovat kylmäkovettuvia, eivätkä sisällä formaldehydejä. Liimasaumalla on korkea joustavuus ja matala viruma. EPI-liimalla on erinomaiset vedenkesto-ominaisuudet sekä kylmässä että kiehuvaassa vedessä. (Grøstad & Bredesen 2001, 355.)

EPI-liimasysteemejä on käytetty etenkin Japanissa 1970-luvun alusta asti. Vuonna 1985 Japanin teollisessa standardissa kuvattiin EPI-liima. Se on vaihtoehto fenoliresorsinoli-formaldehydiliimalle. EPI-liimaa on käytetty rakenneliimauksiin Japanissa siitä lähtien. Eurooppalaiset liimapuuntuottajat alkoivat kehittää EPI-liimaa Japanin vientiin. (Grøstad & Bredesen 2001, 355.) Japanissa suhtaudutaan erittäin tiukasti formaldehydin käyttöön. Isosyanaattipohjaisille liimoille syntyi tarve, kun formaldehydipohjaisia liimoja ei voitu siellä enää käyttää.

EPI-liimat ovat nopeasti kovettuvia, ja toisin kuin kertamuovihartsit ne eivät tarvitse korotettua lämpötilaa kovettuakseen teollisessa liimausprosessissa. Niiden liimasauma on vaalea. Kovettumisprosessi on ensivaiheessa fysikaalista kuivumista, ja sen jälkeen isosyanaatti verkkouttaa polymeerin antaen saumalle hyvät vedenkesto-ominaisuudet. Liimasysteemi voidaan optimoida erilaisille sovelluksille, mutta yleisesti EPI-liimoilla on erittäin hyvät ja laajat käyttömahdollisuudet. Tunnettua on EPI-liiman hyvä tarttuminen erilaisiin puulajeihin ja jopa metalliin. (Grøstad & Bredesen 2001, 355.)

Teollisesti EPI-liimaa levitetään käyttökohteesta riippuen joko raitalevittimellä tai tela-levittimellä.

2.1.1 Liimausominaisuudet

EPI-liimat sekoitetaan yleensä hartsi-kovete suhteessa 100:15. Kovetteen lisäys kasvattaa liiman viskositeettia ja reologia muuttuu. Viskositeetin lopullinen taso ja seoksen pseudoplastisen virtauksen käyttäytyminen riippuvat liiman formulaatiosta ja kovetteena käytetystä polymeerisestä MDI:sta. Viskositeetti voi kasvaa tietylle tasolle ja sen jälkeen tasaantua tai jatkaa kasvamista. (Grøstad & Bredesen 2001, 359.)

Jotta saadaan kestävä liimasauma riittävällä määrällä isosyanaattia, täytyy polymeeristä MDI:n olla riittävä määrä vapaana silloittajaksi. EPI-liimoilla on tietty käyttöikä eli Potlife. Potlife määritellään ajanjaksoksi, jonka aikana liimasekoitus voidaan käyttää vedenpitävän liimasauman aikaansaamiseksi. Potlife voidaan määritellä tekemällä delaminointi-liimaukkoja eri-ikäisillä liimasekoituksilla. (Grøstad & Bredesen 2001, 359.)

Liimasauman delaminointi tarkoittaa esimerkiksi lamellihirren rasittamista vuoroin kuivattamisella ja kostuttamisella. Liimasauma saatetaan kokeellisissa olosuhteissa alttiiksi erilaisille sään rasituksille. Näin voidaan tarkastella liiman kestävyyttä erilaisissa olosuhteissa.

Delaminointia varten liimataan viisi lamellia päällekkäin. EPI-liimalla liimattaessa liimaa aplikoidaan 200g/m^2 . Lamellipino asetetaan prässiin, jossa se puristetaan vaatimusten mukaisesti. Kuivatuksen jälkeen lamellit mitallistetaan sahaamalla ja laitetaan delaminointilaitteeseen (kuva 1). Delaminoinnin jälkeen kappaleet kuivataan. Tämän jälkeen kappaleet laitetaan vielä kerran delaminointilaitteeseen. Lopuksi kappaleet arvioidaan mittaamalla ja tutkimalla aukeamat. (Paavilainen 2011.)



KUVA 1. Delaminointilaite (Paavilainen 2011.)

Yleisesti Potlifin määrittämiseen on käytetty viskositeetin mittaustapaa. Viskositeetin kaksinkertaistuminen lähtöviskositeetista indikoi liiman olevan levityskelvotonta.

2.1.2 Kiilto Oy:n EPI-liimat

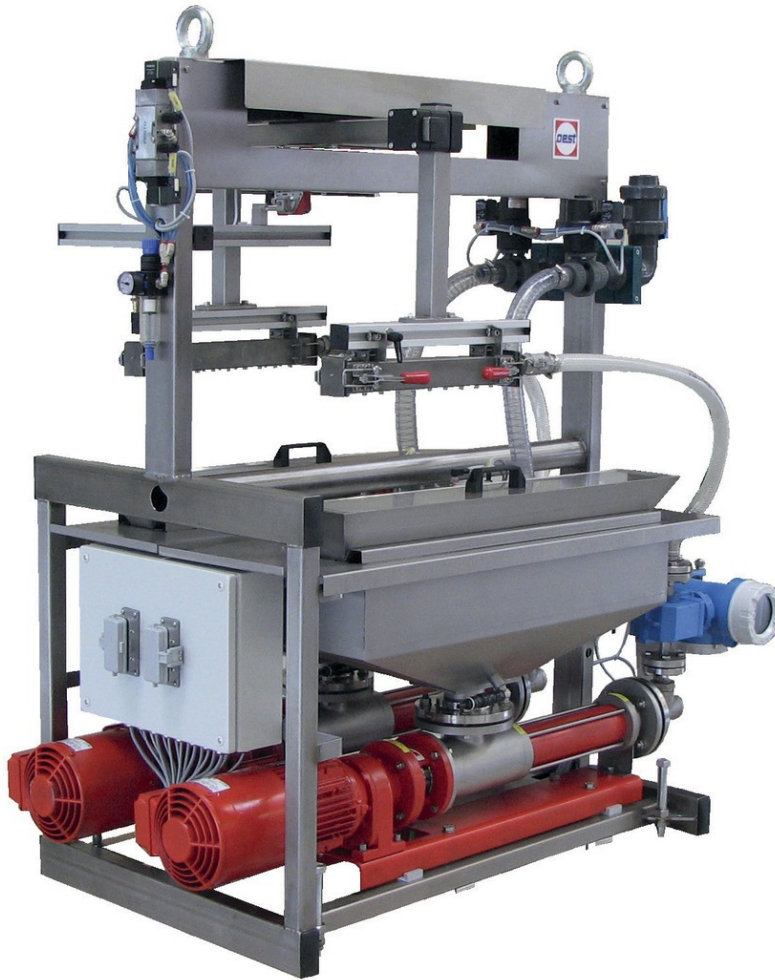
Kiilto Oy valmistaa kolmea EPI-liimaa, Kestokol WR 05, 11 ja 125. Näiden tuotteiden lisäksi on kehitetty pidemmän käyttöiän EPI-liima Kestokol WR 6040. Liimojen ominaisuudet on taulukoitu taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Kiilto Oy:n EPI-liimat (Kiilto Oy 2015.)

	Liima 1	Liima 2	Liima 3	Liima 4
Viskositeetti [mPa·s]	7300	2800	4500	4500
Kovete	kovete 1	kovete 1	kovete 2	kovete 2
Käyttö	voimakkaasti säärasituksille alttiit kohteet, puutarhakalusteet, veneliimaukset, valikoidut liima- puukohteet	voimakkaasti säärasituksille alttiit kohteet, valikoidut lii- mapuukohteet	voimakkaasti säärasituksille alttiit kohteet, puutarhakalusteet veneliimaukset valikoidut liima- puukohteet	koetuote, pitempää käyttöikää vaativat kohteet
Sideainetyyppi	SBR/PVOH	SBR/PVOH	SBR/EVA/PVOH	SBR/PVOH
Potlife	20 min	20 min	35 min	60 min
Seosviskositeetti, 15 % WR-kovete [mPA·s]	11760	5300	8200	8900

2.2 Raitalevitin

Raitalevitintä voidaan käyttää kapea-alaisille tai leveille sovelluksille. Sitä voidaan käyttää valmiiksi sekoitetuille tai sekoittamattomille liimoille. Raitalevittimellä liima saadaan annosteltua tarkasti. (Innovative Technologies 2015.) EPI-liimoja käytettäessä erillislevitys ei ole mahdollista, koska liima täytyy sekoittaa ennen levitystä.



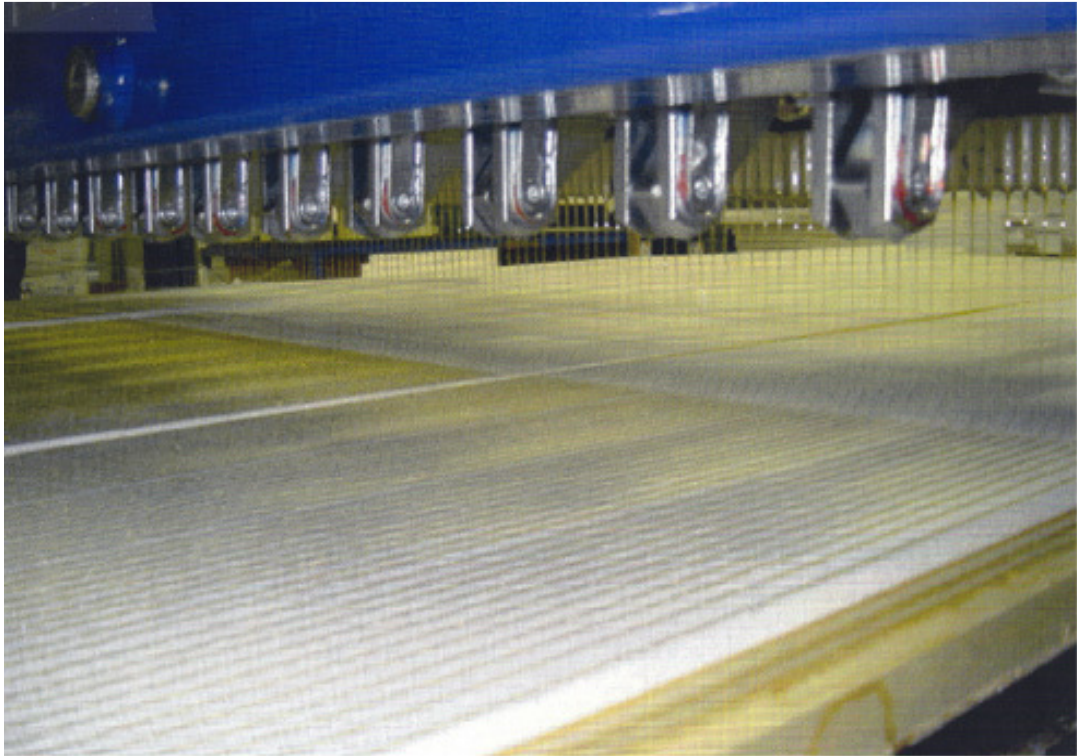
KUVA 2. Raitalevitin (Ligna 2015)

Puulamellit kulkevat kuljettimella raitalevittimen liimaverhon läpi. Optimaalisen liimanlevityksen takaamiseksi lamellit tulee siirtää tasaisella nopeudella. Kuljettimen nopeus voi parhaimmillaan olla jopa 360 m/min, mutta yleensä nopeus on huomattavasti pienempi (Mixon 2015). Teollisuudessa nopeus on tavallisesti noin 50 m/min.

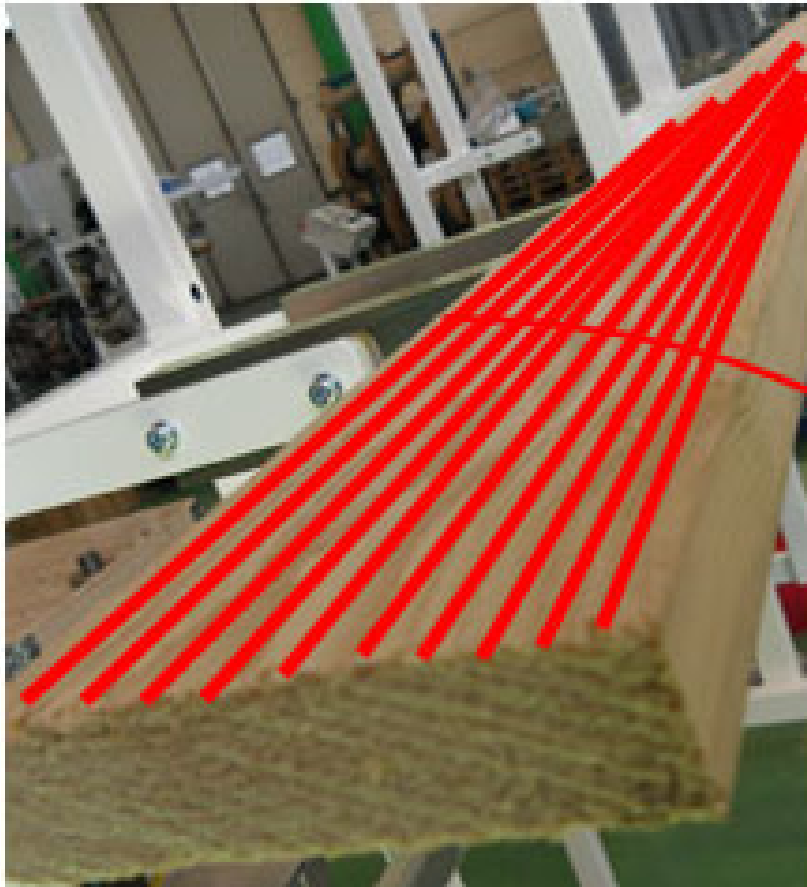
Raitalevittimiä voidaan käyttää erilaisille liimoille kuten esimerkiksi PVAc, UF, MUF, resorsinoli- ja EPI-liimalle. Liima voi olla joko yksi- tai kaksikomponenttista, sekoitettua tai sekoittamatonta liimaa. (Mixon 2015.)

Raitalevitintä käytetään liimattaessa liimapuuta, tupla- tai triplahirsiä, ristiinlaminoituja puita, laminoituja piensoiroja sekä muita rakennuspaneeleita (Innovative Technologies 2015).

Raitalevittimen leveys voi vaihdella yhdestä suulakkeesta useita metrejä leveään systeemiin (Rockingham Systems 2015).



KUVA 3. 1-komponentti liiman levitystä helminä tai nauhana (Rockingham Systems 2015)



KUVA 4. Liimaa levitettyä lamellin päälle (Mixon 2015.)

Asiakkaan tarve levittää liimaa lamelleille on noin 200g/m^2 . Levitysmäärä voidaan laskea kaavalla 1.

$$\text{Levitysmäärä} = \frac{LT}{A} = \frac{LT}{l \cdot v} \text{ [g/m}^2\text{]}, \text{ jossa} \quad (1)$$

LT = liimantuotto g/min

A = lamellin pinta-ala [m^2/min]

l = lamellin leveys [m]

v = lamellin nopeus [m/min]

2.3 Telalevitin

Telalevittimiä käytetään esimerkiksi vanerin valmistuksessa liiman levitykseen. Telalevittimellä levitys on tehokasta ja halpaa. Telalevittimessä on uritetut telat. Erilaisilla uraprofiileilla levitetään ominaisuuksiltaan erilaisia liimoja. (Vehmaa 2014.)



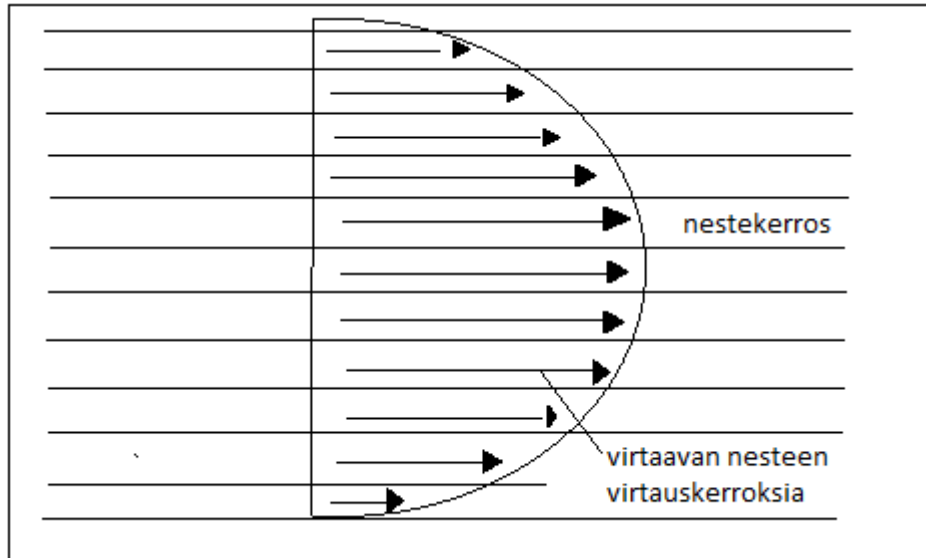
KUVA 5. Telalevitin (Quick 2015)

Liimoille voidaan määrittää telaikä. Telaikä on liiman käyttöaika telalevittimellä. Kiilto Oy:ssä telaikä määritetään Acimall telalaitteistolla. Telojen pyörimisnopeus säädetään sopivaksi ja punnitaan telalevittimeen tarvittava liimamäärä, eil puuliimoille 500 grammaa. Haluttu levitysmäärä on 200 g/m^2 . Levitysmäärä voidaan tarkistaa ajamalla esimerkiksi tietyn kokoinen vanerilevy levittimen läpi. Ennen liiman laittamista teloille telat kostutetaan vedellä. Liiman valumisen estämiseksi telat asetetaan tarpeeksi lähelle toisiaan, säädetään liimamäärä oikeaksi valitulle telavälille ja annetaan liiman pyöriä telalla kunnes liimapinta tuntuu tahmealta. Telaiäksi saadaan kulunut pyörimisaika. (Kuusisto 2013.)

2.4 Viskositeetti

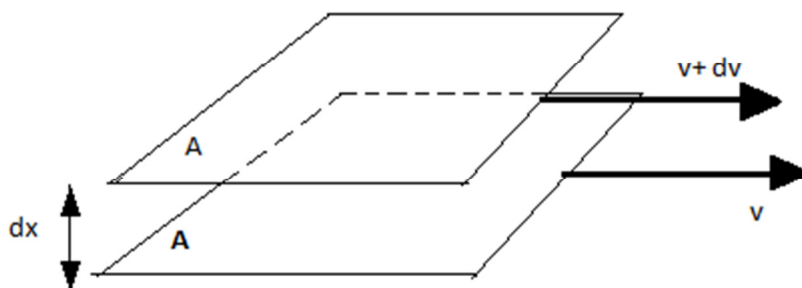
Viskositeetti eli nesteen sisäinen kitka johtuu hiukkasten välisestä koheesiosta ja liikemäärän vaihdosta. Lämpötila ja paine vaikuttavat viskositeettiin. Nesteiden viskositeetti

pienenee lämpötilan noustessa. Paineen kasvaminen taas kasvattaa nesteiden viskosi-
teettia. (Oulun yliopisto 2015.)



KUVA 6. Nesteen nopeusjakauma putkessa (Repo 1997, mukaelma)

Nesteen virratessa hitaasti putkessa (kuva 6.) seinän välittömässä läheisyydessä virtaavat molekyylit tarttuvat seinään kiinni adheesion vaikutuksesta. Tästä syntyy nestekerros, jonka vauhti hidastuu jyrkästi jopa nolnaan. Hidastuttuaan uloin kerros hidastaa seuraavan kerroksen ja se taas seuraavan ja niin edelleen. Tällä lailla virtaavaan nesteeseen syntyy eri virtauskerroksia, joilla on nopeuseroja. (Repo 1997.) Kun nestekerrokset eivät sekoitu, sanotaan virtausta laminaarisiksi. Virtausta, jossa kerrokset sekoittuvat ja jossa on pyörteitä, sanotaan turbulentsiksi. (Oulun yliopisto 2015.)



KUVA 7. Nestekerroksen liike (Noppa 2015, mukaelma)

Kuvassa 7 kaksi tasomaista nestekerrosta liikkuu toistensa suhteen. Nestekerroksista tarkastellaan yhtä suurta pinta-alaa A , ja kerrosten välimatkaa merkataan dx ja nopeuseroa dv . Nopeuseroa ylläpitää samansuuruiset, mutta vastakkaisuuntaiset voimat. Voima F on suoraan verrannollinen kerrosten pinta-alaan A ja nopeuseroon dv , mutta kääntäen verrallinen välimatkaan dx . Tästä voidaan kirjoittaa kaava 2. (Oulun yliopisto 2015.)

$$F = \eta A \frac{dv}{dx} \quad (2)$$

Kaavassa η merkitsee dynaamista viskositeettia. Dynaamisen viskositeetin yksikkö on Ns/m^2 eli $\text{Pa}\cdot\text{s}$. (Oulun yliopisto 2015.)

2.4.1 Viskositeetin määrittäminen



KUVA 8. Brookfield-viskosimetri. (AC/DC Electronic Systems Inc.)

Kiilto Oy:n tuotekehityksessä viskositeetin määrittämiseen on käytössä Brookfield-viskosimetrejä (kuva 8.). Ne ovat rotaatioviskosimetrejä, joiden toiminta perustuu vääntömomenttiin. Brookfield-viskosimetrillä voidaan mitata nesteitä, jotka ovat erittäin viskootteja. Aluksi valitaan näytteeseen sopiva anturi ja kierrosnopeus, jolla anturia pyöritetään nesteessä. Pyöräminen synnyttää liikettä, joka aiheuttaa viskositeettivastusta, joka on sitä suurempi mitä viskoottisempaa neste on. Viskositeettivastuksen voittamiseksi tarvitaan yhä suurempaa vääntömomenttia, jotta anturia pystytään pyörittämään valitulla nopeudella. Brookfield-viskosimetri mittaa tämän vääntömomentin. (Opetushallitus, 2015.)

Elintarvikeanalytiikassa viskosimetriä nimitetään reometriksi. Reometri ja viskosimetri ovat periaatteessa sama laite. Myös reometrit mittaavat leikkausjännityksiä ja leikkausnopeuksia. (Repo 1997.)

3 MITTAUKSET

3.1 Testilaitteisto

Testilaitteisto valmistettiin Kiilto Oy:n kunnossapito-osastolla. Laitteisto pohjautui lainassa olleeseen raitalevittimeen (kuva 9.), jonka perusteella rakennettiin testeihin sopiva laitteisto.



KUVA 9. Lainassa ollut raitalevitin

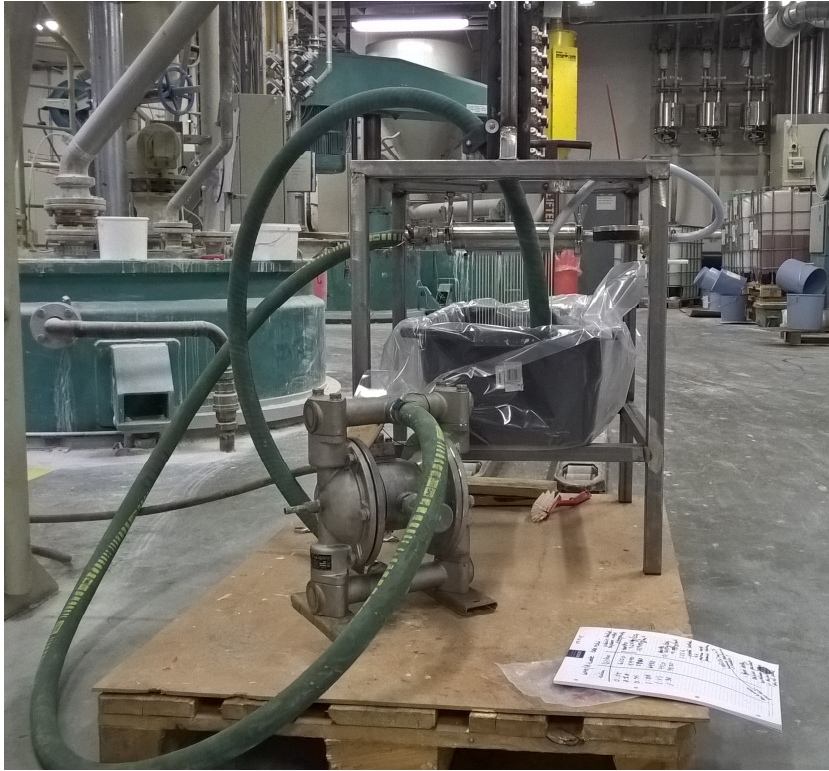
Testilaitteisto koostui raitalevittimestä (kuva 10.) sekä pumpusta. Laitteistossa käytettiin kahdenlaista pumpua: ruuvi- ja kalvopumppua (kuvat 11. ja 12.).



KUVA 10. Työssä käytetty raitalevitin

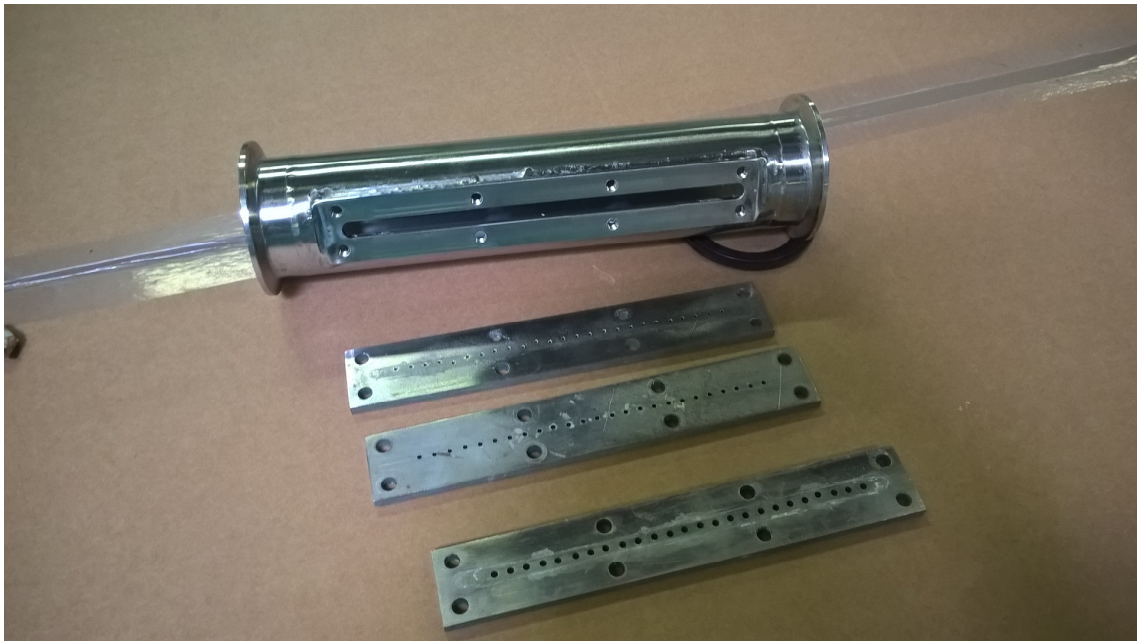


KUVA 11. Raitalevitin ruuvipumpulla



KUVA 12. Raitalevitin isommalla kalvopumpulla

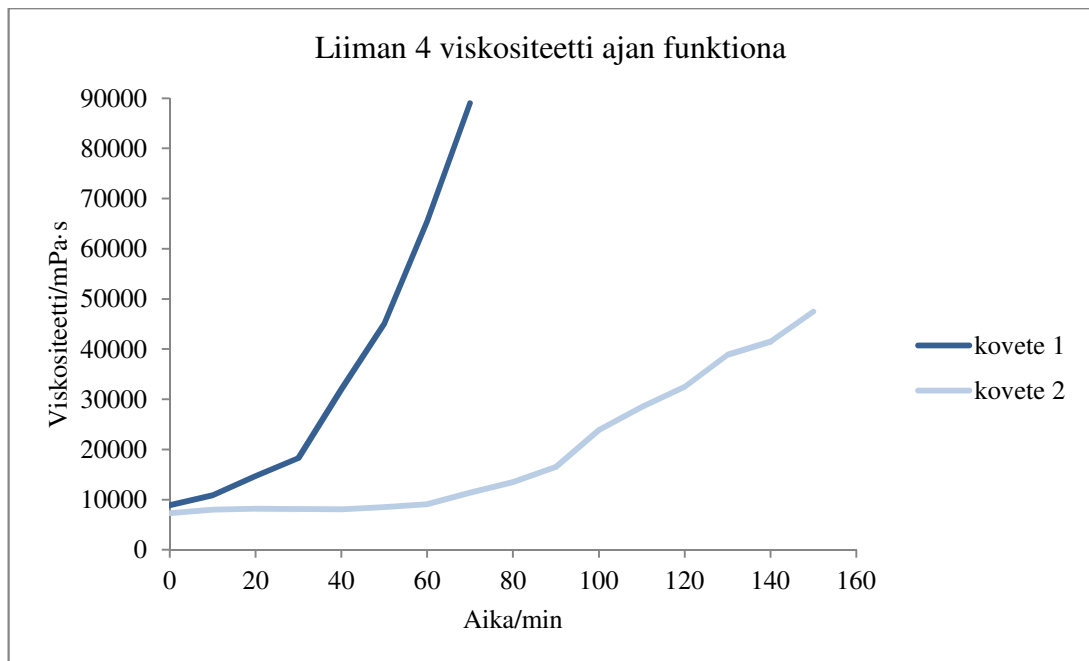
Laitteistossa oli lisäksi teline, jonka päälle raitalevitin oli asetettu sekä astia, josta liimaa kierrätettiin pumpun kautta levittimelle. Koska ruuvipumpun painetta ei voi säätää, oli laitteistossa lisäksi ohijuoksutin, jonka avulla painetta olisi voinut säätää. Raitalevittimeen on mahdollista vaihtaa kolmen kokoiset reikäkammat 1 mm, 2 mm ja 3 mm, jotta löydetään optimaalinen reikäkoko. Kuvassa 13 näkyy vaihdettavat reikäkammat sekä niiden kiinnitys itse levittimeen.



KUVA 13. Levittimen vaihdettavat reikälevyt

3.2 Viskositeetikäyrät

Liimasta 4 tehtiin Potlife-ajanmittaus molemmilla kovetteilla seuraamalla viskositeettia. Viskositeettia mitattiin viiden tai kymmenen minuutin välein kaksi kertaa annetun käyttöajan verran eli noin yhden tunnin tai kaksi tuntia riippuen kovetteesta. Viskositeetin mittausväli oli eri pituinen eri kovetteilla, koska kovetteella 1 viskositeetin nousu oli nopeampaa kuin kovetteella 2. Mittaukset suoritettiin laboratoriossa. Viskositeettia seurattiin myös koeajon aikana. Molemmille koveteille piirrettiin liiman 4 viskositeetista laboratoriossa viskositeetikäyrät (kuvio 1.).



KUVIO 1. Viskositeetti ajan funktiona laboratorio-olosuhteissa

3.3 Levityskokeet

3.3.1 Ensimmäinen levityskoe

Laitetta testattiin ensimmäiseksi vedellä ja liimalla, jossa ei ollut kovetetta. Mittalaitteisto toimi hyvin, joten levityskokeet voitiin aloittaa.

Ensimmäiseksi testattiin liimaa 4 kovetteella 1. Levityskoe tehtiin 1 mm ja 2 mm reikäkooilla. Liima levisi hyvin, mutta levitysmäärä oli liian suuri. Yritettiin säätää painetta pienemmäksi, että saataisiin säädettyä levitysmäärä noin 200 g/m^2 . Tuotto mitattiin ottamalla kymmenen sekunnin ajan liimaan talteen ja punnitsemalla se. Sen jälkeen mitattiin tuotto noin puolen tunnin ja tunnin ajon jälkeen reikäkooille 1 mm ja 2 mm. Tulokset taulukoitiin taulukkoon 2. Vaikka laitteessa oli ohijuoksutusputki, ei ruuvipumpun painetta saatu säädettyä tarpeeksi, jotta levitysmäärä olisi ollut sopiva. Tämän vuoksi pumppu vaihdettiin kalvopumpuksi. Ohijuoksutuksen paineen säätö ei riittänyt, joten koko ajo ajettiin ohijuoksutusputki kiinni.

TAULUKKO 2. Levitysmäärä ruuvipumpulla

Reikäkoko mm	Aika [min]	Paino [g]	Levitysmäärä [g/m ²]
1	30	5559 (15 s)	2616
	60	3668,3	2897
2	25	4478	3161
	69	3668,3	2897

Laskettiin levitysmäärä kaavalla 1. Todettiin, että ruuvipumpulla tuotto on aivan liian suuri, kymmenkertainen, haluttuun nähden.

3.3.2 Toinen levityskoe

Seuraavaksi kokeiltiin käyttää mittauslaitteistoa kahdenlaisella kalvopumpulla. Laitteistoa testattiin liimalla 1, kovetteella 1, koska sitä oli helposti saatavilla. Ensimmäiseksi tehtiin levityskoe pienellä kalvopumpulla. Laitteisto toimi hyvin, mutta tuotto oli liian pieni.

Laitteistoon vaihdettiin isompi kalvopumppu ja levityskokeita jatkettiin liimalla 1. Nyt mitattiin tuotto, jonka todettiin olevan lähellä haluttua. Levityskokeita päätettiin jatkaa liimalla 4, kovetteella 2.

3.3.3 Kolmas levityskoe

Tässä vaiheessa levityskokeet tehtiin liimalle 4, kovetteella 2 reikäkoot 2 mm ja 3 mm. Seuraavaksi tehtiin liimaa 4 tuotannossa. Levityskokeita jatkettiin reikäkoolla 1 mm, jolloin huomattiin, ettei tuotannossa tehty liima levittänyt yhtä hyvin. Liimaa sekoitettiin laboratoriossa lisää ja todettiin levittyvyyden paranevan. Jatkettiin levityskokeita liimalla 4 vielä kaikilla reikäkooilla ja molemmilla kovetteilla.

Myös tuotannossa oleville EPI-liimoille tehtiin levityskokeet liimoille 1, 2 ja 3 pienimmällä reikäkoolla. Tuotannossa olevat EPI-liimat ajettiin pienimmällä reikäkoolla, kos-

ka sillä päästiin testiliimalla lähimmäs haluttua levitysmäärää. Kuvassa 14 näkyy liiman levitys Kiilto Oy:n testilaitteella.



KUVA 14. Liiman levitystä testilaitteella

4 MITTAUSTULOKSET

4.1 Liimojen viskositeetti levityskokeen aikana

Levityskokeiden aikana liimasta mitattiin viskositeettia 15 minuutin välein. Ensimmäinen viskositeetti otettiin viiden minuutin kohdalla ja viimeinen juuri ennen ajon lopetusta. Viskositeetit taulukoitiin taulukoihin 3, 4, ja 5, ja niistä piirrettiin kuvaajat kuvioihin 2, 3, 4 ja 5.

TAULUKKO 3. Liimalla 4, kovetteella 2 mitatut viskositeetit [mPa·s]

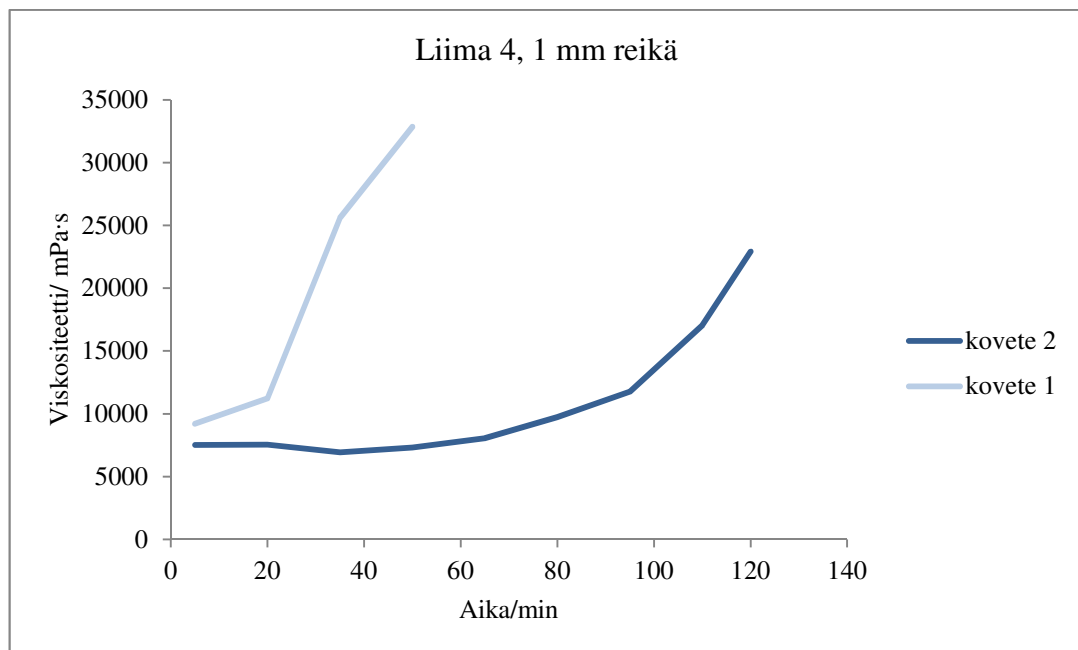
	Liima 4 kovete 2 1 mm reikä	Liima 4 kovete 2 2 mm reikä	Liima 4 kovete 2 2 mm reikä	Liima 4 kovete 2 3 mm reikä
aika/min	laboratoriossa tehty liima	tuotannossa tehty liima	tuotannossa tehty liima+extra sekoitus	laboratorioliima
5	7520	8760	6880	6100
20	7540	7720	6740	5940
35	6920	7820	7620	5880
50	7320	8160	9100	
65	8040	9680	12300	6480
80	9740	11580		7520
95	11740	15760		9480
110	17040	26900		13700
120	22900	36200		22000

TAULUKKO 4. Liimalla 4, kovetteella 1 mitatut viskositeetit [mPa·s]

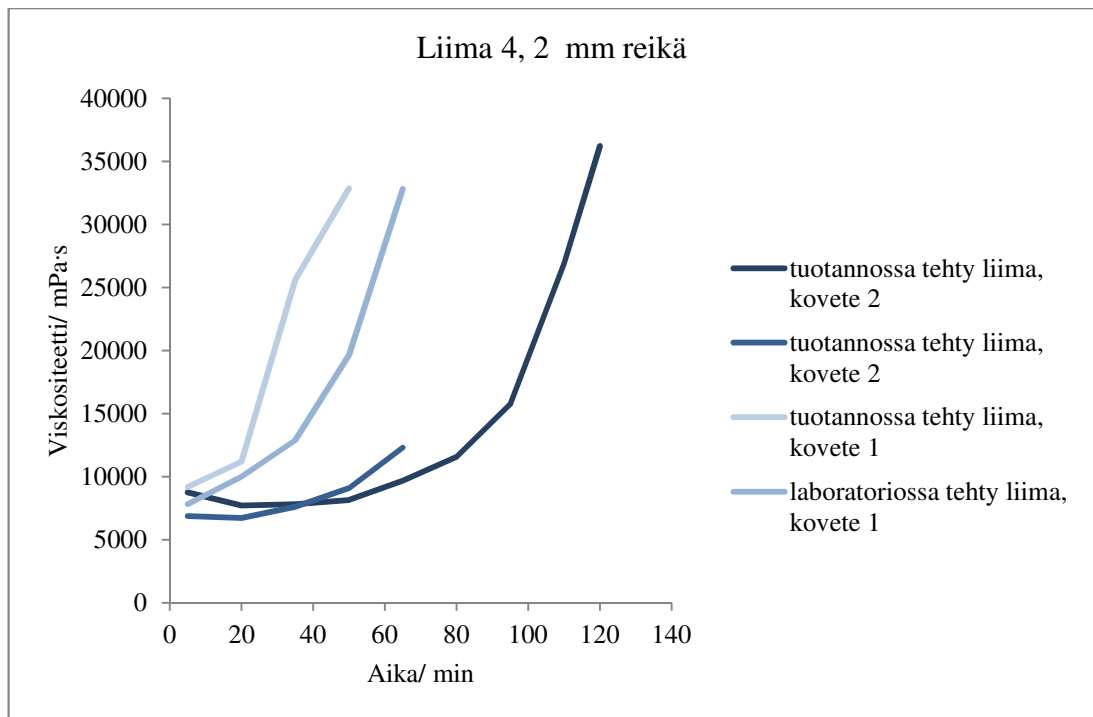
	Liima 4 kovete 1 1 mm reikä	Liima 4 kovete 1 2 mm reikä	Liima 4 kovete 1 2 mm reikä	Liima 4 kovete 1 3 mm reikä
aika/min	tuotantoliima+extra sekoitus	tuotannossa tehty liima	laboratoriossa tehty liima	tuotannossa tehty liima+extra sekoitus
5	7400	9200	7820	7960
20	12400	11200		10200
35	30700	25600	12900	16550
50		32850	19650	28000
65			32800	61400

TAULUKKO 5. Tuotannossa olevista EPI-liimoista mitatut viskositeetit [mPa·s]

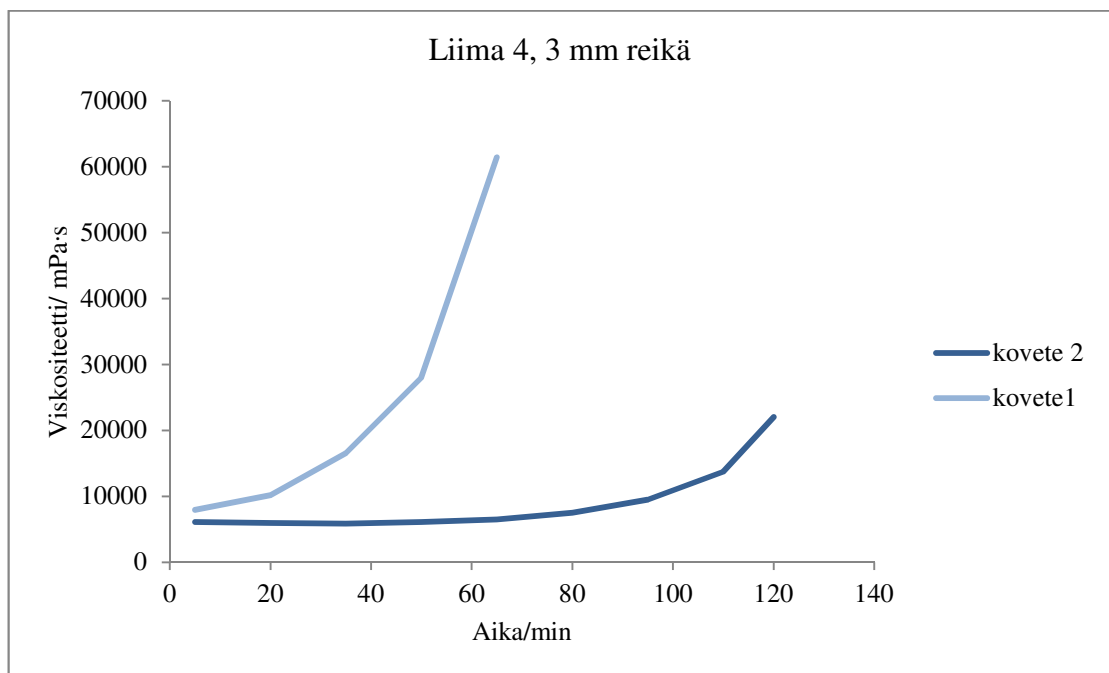
	Liima 3 kovete 1	Liima 1 kovete 1	Liima 2 kovete 1
aika/min	pienin reikä	pienin reikä	pienin reikä
5	10200	19500	5240
20	14400	24250	6500
35	21200	37800	8400
50	29200	97600	11300
65			17300



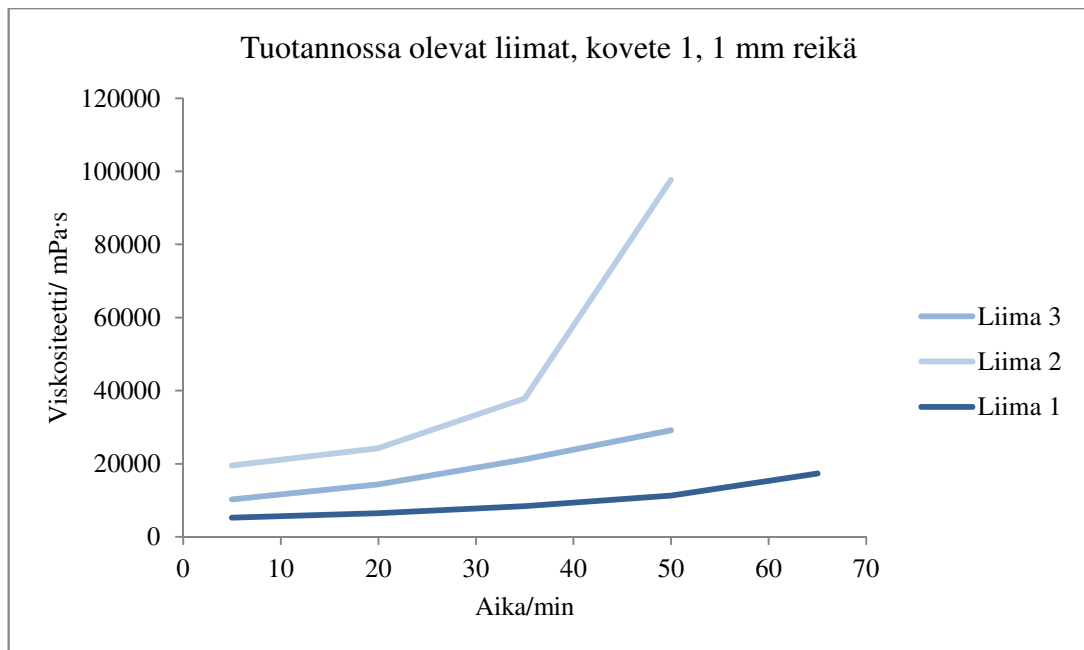
KUVIO 2. Liiman 4 viskositeetti pienimmällä reikäkoolla



KUVIO 3. Liiman 4 viskositeetti keskikokoisella reikäkoolla



KUVIO 4. Liiman 4 viskositeetti suurimmalla reikäkoolla



KUVIO 5. Tuotannossa olevien EPI-liimojen viskositeetti pienimmällä reikäkoolla

4.2 Levitysmäärä

Viskositeettimittausten lisäksi joka levityskokeessa mitattiin raitalevittimen tuotto. Tuotto mitattiin ottamalla liimaa talteen 20 sekunnin ajan, minkä jälkeen liima punnittiin. Tuotto otettiin aina ensimmäisen viskositeettimittauksen jälkeen noin kymmenen minuutin ajon jälkeen. Tuotosta laskettiin levitysmäärä kaavalla 1. Levitysmäärä laskettiin liimalle 4, kovetteella 2. Raitalevittimen hihnannopeudeksi oletettiin 50 m/min ja mitattiin levittimen leveydeksi 0,17 m.

$$\text{Levitysmäärä liimalle 1 kovetteella 1} = \frac{LT}{A} = \frac{LT}{l \cdot v} = \frac{2703 \text{ g/min}}{0,17 \text{ m} \cdot 50 \text{ m/min}} = 318 \text{ g/m}^2$$

Loput tulokset taulukoitiin taulukkoon 3.

TAULUKKO 3. Liimojen levitysmäärät

Liima/kovete/reikäkoko	levitysmäärä g/m²
Liima 4, kovete 1, 1 mm	317,6
Liima 4, kovete 12 mm	645,8
Liima 4, kovete 1, 3 mm	943
Liima 4, kovete 2, 1 mm	101
Liima 4, kovete 2, 2 mm	385,7
Liima 4, kovete 2, 3 mm	488,9
Liima 1, kovete 1, 1 mm	187,8
Liima 2, kovete 1, 1 mm	700
Liima 3, kovete 1, 1 mm	359,3

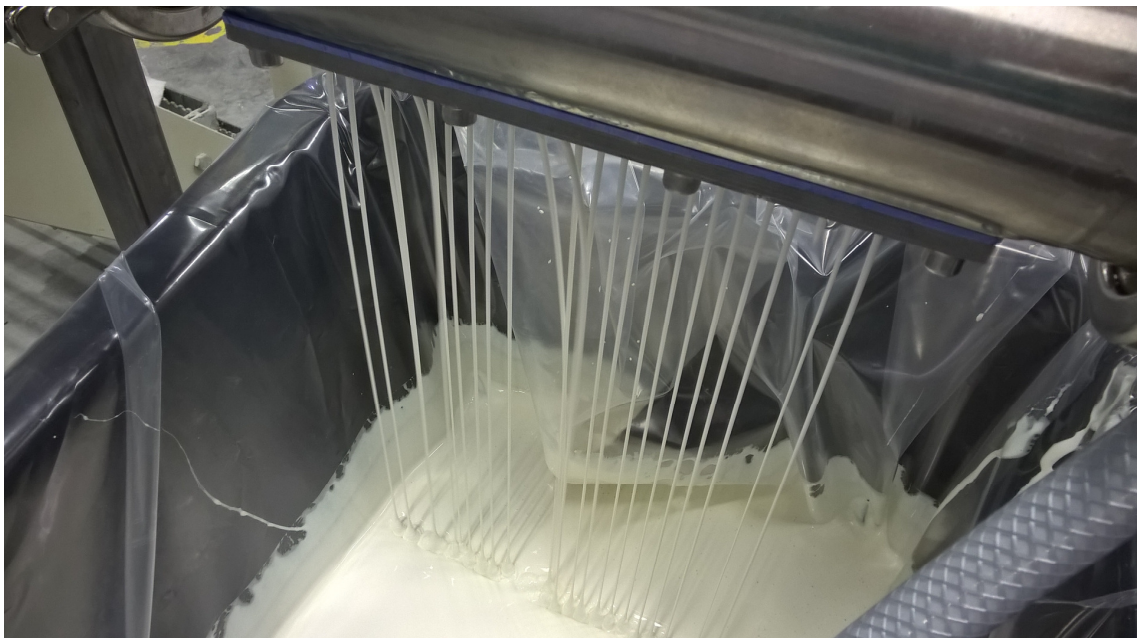
5 POHDINTA

Levityskokeiden aikana huomattiin, että sideainetyypillä ei näyttänyt olevan vaikutusta liiman levittyvyyteen. Tämä pystyttiin päättelemään siitä, että raitalevittimen ajoparametrien muuttaminen vaikutti eri liimoihin samalla tavalla.

Kaikki liimat levittyivät parhaiten pienimmällä reikäkoolla. Pienimmällä reikäkoolla päästiin myös haluttuun levitysmäärään parhaiten. Koska haluttu levitysmäärä oli 200g/m^2 ja koska testilaitteiston pienimmällä reikäkoolla päästiin lähimmäksi tätä liimalla 4, valittiin se reikäkooksi myös tuotannossa oleville liimoille.

Suurimmalla reikäkoolla levittyvyys oli huonointa. Liima levittyi katkonaisesti. Levittimen ilmaus auttoi tähän hetkellisesti, muttei pysyvästi.

Paineella oli jonkun verran vaikutusta liiman levittyvyyteen tuotannossa olevilla liimoilla. Jos liimaa levitti liian suurilla paineilla, liima ei valunut tasaisesti alas levittimestä vaan liimaraita ohjautui sivuun, kuten kuvassa 15 näkyy.



KUVA 15. Liimaraita ohjautuu sivuun

Kaikille opinnäytetyössä testatuille liimoille todettiin sopivan viskositeettialueen olevan $10000\text{--}20000\text{ mPa}\cdot\text{s}$. Jos viskositeetti oli $10000\text{ mPa}\cdot\text{s}$ pienempi, liimaverho reagoi

pumpusta johtuvaan hieman vaihtelevaan paineeseen ajautumalla sivuun. Jos taas viskositeetti oli paljon suurempi kuin 20000 mPa·s, liiman tuotto ja levitysmäärä olivat liian pieniä. Viskositeetin kasvaessa liian suureksi, laitteen peseminen myös hankaloitui.

Kahden kovetteen välillä ei ollut huomattavaa eroa levittyvyyteen suhteen. Liima 4 levittyi hyvin molemmilla kovetteilla. Liimojen välillä ei ollut kovinkaan suuria eroja levittyvyydessä. Sopivalla reikäkoolla, paineella ja viskositeettialueella liima levittyy erittäin hyvin.

Kovetteella 1 on ominaisuuksia, jotka auttavat sitä sekoittumaan helpommin liiman joukkoon. Kovete 1 oli helpompi pestä pois levittimestä. Näistä syistä voisi siis ajatella sen olevan parempi kovete liimalle 4.

Kuten kuvioista 2-4 voidaan huomata, liiman 4 käyttöikä lyheni huomattavasti kovetteella 1. Tästä syystä kovete 1 ei tule kysymykseen etsittäessä kovetetta liimalle 4, koska oli tarkoitus nimenomaan kehittää liima, jonka käyttöikä olisi pitempi. Kovete 2 päätettiin valita kovetteeksi liimalle 4.

Liimasta 4 huomattiin seuraavia asioita. Liima levittyi ensin samoin kuin muut jo tuotannossa olevat liimat. Kun tuotannossa tehtiin suurempi erä liimaa 4 lisätestejä varten, tämä liima levittyi huomattavasti huonommin. Tuotannollinen liimanvalmistus oli ohjeistettu kuten muillakin EPI-liimoilla. Tämän jälkeen liimaa sekoitettiin lisää voimakkaasti ja leikkaavasti. Uudelleen sekoitetun liima 4:n levittyvyys parani. Venäjällä testattavissa ollutta liimaa ei enää ollut saatavilla, joten sitä ei enää voitu sekoittaa lisää ja testata uudestaan.

Tuloksista voitiin päätellä, ettei kehitteillä olleessa liimassa ollut mitään vikaa. Liiman reseptiä ei tarvinnut muuttaa, mutta liiman valmistuksessa tulee ottaa huomioon, että EPI-liimat vaativat voimakasta ja tarpeeksi pitkää loppusekoitusta levittyäkseen kunnolla. Tulosten pohjalta tehtiin muutoksia EPI-liiman valmistukseen.

LÄHTEET

- Grøstad K. & Bredesen R. 2001, EPI for Glued Laminated Timber. Teoksessa Aicher S., Reinhardt H.W. & Garrecht H. Materials and Joints in Timber Structures: Recent Developments of Technology. Luettu 26.3.2015.
<https://books.google.fi/books?id=zEEvBQAAQBAJ&pg=PA54&lpg=PA54&dq=isocyanate+emulsion+polymer+adhesive&source=bl&ots=gmSYpVGhM1&sig=RAyyQMTajYyJgzPftVep3a3yvP8&hl=fi&sa=X&ei=JIYJVZ7-BMHsO4bCgcgE&ved=0CDYQ6AEwBDgU#v=onepage&q=isocyanate%20emulsion%20polymer%20adhesive&f=false>
- Innovative Solutions 2015. Oestergroup verkkosivusto. Luettu 10.4.2015
http://www.oestgroup.com/media/pdf/en/1_OEST_Woodworking_Industry_en.pdf
- Kiilto Oy 2015. Verkkosivusto. Luettu 3.8.2015
<http://www.kiilto.com/fi/teollisuus/tuotteet/>
- Kuusisto T. 2013. T&K/Analyysiohjeet. Liiman telaiän määrittys. Kiilto Oy.
- Ligna 2015. Adhesive ribbon coater. Luettu 30.3.2015.
<http://www.ligna.de/product/adhesive-ribbon-coater/527358/Q488883>
- Mixon 2015. Solutions. Luettu 16.4.2015 <http://www.mixon.se/en/lamina-equipment>
- Opetushallitus 2015. Laboratorioanalyysit. Viskositeetin määrittys Brookfield-viskosimetrillä. Luettu 20.4.2015
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/elintarvikeanalyysit_viskositeetti_brookfield.html
- Oulun yliopisto. Luentomateriaali. Luettu 3.8.2015
<https://noppa.oulu.fi/noppaimages/766106P/VISKOSITEETTI%20JA%20PINTAJANNITYS.pdf>
- Paavilainen, J. 2011. T&K/Analyysiohjeet. EN 302-2 ja ”N 391-B delaminointiohje. Kiilto Oy.
- Repo R. 1997. Fysikaalisen kemian. 3. painos. Helsinki: Edita.
- Rockingham Systems 2015. Luettu 30.3.2015
<http://www.rockinghammpes.co.uk/machine%20catalogue1.html>
- Vehmaa, T. 2014. Koivuvanerin palonkesto-ominaisuuksien parantaminen liimaseoksen koostumusta muuttamalla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Luettu 29.6.2015. <https://doria.fi/bitstream/handle/10024/96408/Koivuvanerin%20palonkesto-ominaisuuksien%20parantaminen%20liimaseoksen%20ominaisuuksia%20muuttamalla.pdf?sequence=2>