

Heikki Seppälä

# FEFCO-9 liimaustestaus

Opinnäytetyö  
Materiaalitekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2013




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>				
<b>Tekijä(t)</b> Heikki Seppälä	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Materiaalitekniikka				
<b>Nimeke</b> FEFCO-9 liimaustestaus					
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyössä tutkittiin Savon Sellu OY:n toimeksiannosta FEFCO-9 standardiin perustuvaa testimenetelmää. The European Federation of Corragated Board Manufacturers (FEFCO) on Euroopassa sijaitsevä järjestö, jonka tehtävänä on markkinoida ja teettää standardisoituja testauksia aaltopahvin valmistajille. Testauksen jälkeen aaltopahvin valmistajat voivat markkinoida tuotteidensa läpäisseen standardisoidun menetelmän.</p> <p>FEFCO:n suunnittelema standardisoitu menetelmä FEFCO-9 on tarkoitettu mittaamaan aaltopahvin vedenkestoa, sekä liimauksen pitoa nesteessä mekaanisen rasituksen alaisena. Työn tarkoituksena on löytää oikea liimaseos, sekä löytää lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä. Työ tehtiin Mikkelin Ammattikorkeakoulun materiaali laboratoriossa, jossa oli mahdollista käyttää laboratoriovälineitä. Työssä saadut tulokset on esitetty erillisillä liitteillä luottamuksellisesti.</p> <p>Aaltopahvia käytetään suurimmaksi osaksi hedelmien ja vihannesten kuljetukseen. Monet hedelmät ja vihannekset tulevat kaukaa aina toisilta mantereilta asti, siksi ne on laitettu kosteisiin kylmiöihin, etteivät ne pilaantuisi. Tällöin pahvilaatikot joutuvat samallaisen mekaanisen rasituksen alaiseksi, kuin FEFCO-9 testimenetelmässä. Työ on erittäin tärkeä tulevaisuuden kannalta, koska kehitysmaissa noin 25-50% ruuasta tuhoutuu kuljetuksen aikana huonojen kuljetuslaatikoiden takia, kun taas se on Euroopassa vain prosentin luokkaa.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Aaltopahvi, FEFCO, FEFCO-9, Savon Sellu					
<b>Sivumäärä</b> 28+6	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomaus (huomautukset liitteistä)</b> Osa liitteistä luottamuksellisia					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Tapio Lepistö	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Savon Sellu OY				

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Heikki Seppälä		Degree programme and option Material engineering	
Name of the bachelor's thesis FEFCO-9 glue testing			
<p><b>Abstract</b></p> <p>This thesis focuses on FEFCO-9 standardized test method. The subscriber of the thesis is Savon Sellu OY. The European Federation of Corrugated Board Manufacturers, later referred as FEFCO is a European organization whose mission is to market and conduct standardized testing to corrugated board manufacturers.</p> <p>FEFCO has designed standardized method FEFCO-9. It is designed to measure corrugated water resistance, glue's adhesion in water under mechanical stress. The aim is to find the right glue mixture and to find the factors affecting the outcome. The experiment was done in Mikkeli University of Applied Sciences material laboratory, where it was possible to use laboratory tools for producing glue.. The achieved results are presented on confidential annexes.</p> <p>Corrugated cardboard is mostly used for transporting fruits and vegetables. Many of the fruits and vegetables are harvested far away from the end-users and that is why they have to be put in the freezer while transporting. Then cardboard boxes are under similar mechanical stress and conditions, as in FEFCO-9 test method. The work is extremely important for the future, because in developing countries, about 25-50% of food is destroyed during transportation because of the poor transport boxes, while in Europe it is only one percent.</p>			
<p><b>Subject headings, (keywords)</b></p> <p>Corrugated cardboard, FEFCO-9, FEFCO, Savon Sellu</p>			
Pages 28+6	Language finnish	URN	
<p><b>Remarks, notes on appendices</b></p> <p>Appendixes are confidential</p>			
Tutor Tapio Lepistö		Bachelor's thesis assigned by Savon Sellu OY	

## SISÄLTÖ

1	SAVON SELLU.....	1
2	AALTOPAHVI.....	2
2.1	Aaltopahvin historia.....	2
2.2	Markkinat.....	3
2.3	Aaltopahvin perusrakenne .....	4
3	AALTOPAHVIN VALMISTUS .....	5
3.1	Flutingin valmistusprosessi .....	7
4	AALTOPAHVIN LIIMAUS .....	8
4.1	Yleistä .....	8
4.2	Märkälujaliimaus .....	10
4.3	Liimaus aaltopahvin valmistuksessa.....	10
4.4	Ongelmat.....	12
5	FEFCO .....	12
5.1	FEFCO-Standardit .....	13
5.2	FEFCO-9.....	13
6	KOKEELLINEN OSUUS.....	13
6.1	Testilaitteisto.....	14
6.2	FEFCO-9 testi.....	17
6.2.1	Liiman valmistus.....	19
6.2.2	Arkkien liimaus.....	19
6.2.3	Testiliuskat.....	20
7	TULOKSET .....	22
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	24
	LÄHTEET .....	29

### LIITE/LIITTEET

liite 1. Liimaresepti

liite 2. FEFCO-9 standardi

liite 3. Stein Hall sertifikaatti

## 1 SAVON SELLU

Savon Sellun tehtaat sijaitsevat Kuopion Sorsasalossa. Tehdas perustettiin vuonna 1968. Nykyään Savon Sellu on kooltaan yksi Kuopion suurimmista yrityksistä. Siellä työskentelee yhteensä noin 180 henkilöä. Sijainti on hyvä, koska ympärillä on paljon metsää etenkin koivua, jota käytetään pahvin valmistuksessa. Raaka-aineet tulevat sekä Suomesta että Venäjältä. Järvien ympäröimä tehdas on myös liikenteen kannalta hyvä, koska raaka-aineita voi tuoda vesistöjä hyväksikäyttäen. (Savon Sellun kotisivut)

Savon Sellusta tuli osa Powerflute Groupia vuonna 2005. Tämän jälkeen tehdas on tasaisesti kehittynyt tehokkuudessa ja tuotekehityksessä, mikä on antanut sille johtavan aseman fluting-markkinoilla. Powerflute Oyj oli ensimmäinen suomalainen yritys, joka meni Lontoon pörssiin vuonna 2007. (Savon Sellun kotisivut)

Tehdas tuottaa 300 000 tonnia vuodessa flutingia. Fluting on aaltopahvin välissä olevaa aalloitettua kartonkia. Suurin osa Savon Sellun tuottamasta aalloituskartongista käytetään hedelmien ja vihannesten kuljettamiseen käytettävien aaltopahvilaatikoiden valmistukseen. (Savon Sellun kotisivut)



**Kuva 1. Savon Sellun tehtaat ilmasta**

## 2 AALTOPAHVI

Aaltopahvi on eniten käytetty pakkausmateriaali maailmassa, sitä valmistetaan 42 miljardia m<sup>2</sup> vuodessa ympäri maailman, eli noin Tanskan pinta-alan verran. (FEFCON kotisivut) Aaltopahvin etuna on sen monipuolisuus. Sillä voi kuljettaa turvallisesti helposti särkyvää elektroniikkaa aina toiselta mantereelta saakka tai vihanneksia ja hedelmiä trooppisista maista. Kuljetuksen jälkeen aaltopahvi on helppoa kierrättää joko polttamalla tai viemällä se keräyspisteisiin, joista se siirretään kierrätysjärjestelmään. (Aaltopahvin käyttäjän käsikirja internetsivut)

### 2.1 Aaltopahvin historia

Vaikka paperilla on todella pitkät historian juuret aina ajanlaskumme alkutaipaleille asti, vasta vuonna 1817 englantilainen Sir Malcom valmisti ensimmäisen kaupallisen pahvilaatikon. Todistettavasti ensimmäiset patentit aaltopahvista julkaistiin Englannissa vuonna 1856. Yhdysvalloissa 1870-luvun taitteessa alettiin käyttämään pahvilaatikoita pakkaamistarkoitukseen. 20 vuotta myöhemmin Yhdysvalloissa alettiin suunnitella tuotantokoneita, joilla tuottaa suurempia massoja. 1900-luvun alussa aaltopahvin valmistus aloitettiin myös monissa Euroopan maissa. (Suomen Aaltopahviyhdistys, 2009)

**Taulukko 1. Aaltopahvin valmistuksen aloitus maittain (Laakso, Rintamäki, 2000)**

<i>Maa</i>	<i>Vuosi</i>
Belgia	1902
Alankomaat	1902
Italia	1905
Sveitsi	1905
Ruotsi	1905
Venäjä	1907
Unkari	1909
Suomi	1911
Tanska	1913

Suomessa ensimmäisenä aaltopahvia alkoi valmistamaan Tamperelainen TAKON kartonkitehdas vuonna 1911. Vasta 1.maailmansodan jälkeen aaltopahvin ja koneiden kehitystyö alkoi lisääntyä Suomessa. (Laakso, Rintamäki, 2000)

## 2.2 Markkinat

**Taulukko 2. Euroopassa valmistettävien aaltopahvien lopullinen käyttö (FEFCO vuosikertomus 2011)**

	Austria	Belgium	Croatia	Czech Repub	Finland	France	Germany	Hungary	Italy	Netherlands	Norway	Poland	Portugal	Romania	Slovakia	Spain	Sweden	Turkey	United Kingd	Weighted Average
1	n.a.	48.7	37.4	24.8	26.1	n.a.	27.5	20.7	7.9	36.3	n.a.	31.9	16.7	25.0	23.8	16.5	27.9	32.1	n.a.	26.3
2	n.a.	6.4	1.9	2.0	7.6	n.a.	3.5	4.9	42.2	12.8	n.a.	4.4	4.8	6.0	3.1	23.0	1.7	8.1	n.a.	9.2
3	n.a.	4.4	7.9	5.0	8.5	n.a.	5.4	1.1	9.2	6.3	n.a.	6.7	12.5	4.0	7.6	15.0	4.9	3.9	n.a.	7.8
4	n.a.	0.4	1.1	1.4	0.0	n.a.	0.9	0.7	1.2	1.8	n.a.	1.3	0.4	1.0	0.6	1.6	0.0	1.0	n.a.	1.1
Subtotal	n.a.	59.9	48.3	33.2	42.2	n.a.	37.3	27.4	60.5	57.2	n.a.	44.3	34.4	36.0	35.1	56.1	34.5	45.1	n.a.	44.4
5	n.a.	2.2	1.7	0.4	1.4	n.a.	1.3	0.6	1.5	1.2	n.a.	0.9	3.3	2.0	0.3	1.0	0.6	5.1	n.a.	1.2
6	n.a.	2.3	1.3	2.5	2.4	n.a.	1.9	4.6	1.2	0.3	n.a.	4.0	4.5	7.0	1.8	1.0	5.8	3.3	n.a.	1.9
7	n.a.	4.8	2.9	4.9	15.6	n.a.	5.0	2.8	12.5	7.6	n.a.	2.7	5.8	2.5	2.9	2.5	19.2	1.2	n.a.	5.4
8	n.a.	7.7	1.5	2.5	2.7	n.a.	5.9	1.4	3.2	4.1	n.a.	2.6	1.7	1.5	6.5	2.0	4.6	2.8	n.a.	4.4
9	n.a.	3.4	1.4	7.5	1.4	n.a.	4.2	5.3	3.8	0.6	n.a.	5.4	2.4	1.5	11.2	3.0	0.0	4.0	n.a.	3.4
10	n.a.	0.2	1.4	3.3	1.8	n.a.	4.0	0.5	1.2	4.3	n.a.	0.8	2.5	1.0	0.1	1.0	0.0	2.0	n.a.	2.6
11	n.a.	1.5	1.4	6.2	2.5	n.a.	1.3	0.8	5.4	1.1	n.a.	2.1	5.4	3.5	0.1	3.0	1.1	6.4	n.a.	1.9
12	n.a.	0.9	0.9	1.5	3.6	n.a.	3.8	0.6	2.0	1.4	n.a.	0.8	2.1	0.2	0.4	0.5	4.1	4.0	n.a.	2.4
13	n.a.	2.9	0.1	1.5	1.8	n.a.	1.3	3.5	0.5	0.5	n.a.	0.3	0.4	3.0	3.2	1.4	0.0	1.1	n.a.	1.4
14	n.a.	0.1	2.8	4.8	3.6	n.a.	2.4	1.5	0.6	0.6	n.a.	3.3	0.8	1.5	3.9	1.9	2.1	1.5	n.a.	2.1
15	n.a.	0.2	0.1	8.5	1.3	n.a.	0.8	17.9	2.6	0.2	n.a.	4.2	0.7	1.0	6.8	3.0	0.0	0.4	n.a.	1.8
16	n.a.	0.2	2.0	2.7	0.4	n.a.	1.1	4.9	1.0	0.4	n.a.	2.3	1.0	2.5	1.0	1.5	0.0	6.5	n.a.	1.2
17	n.a.	1.2	0.0	3.5	0.4	n.a.	2.4	0.1	0.5	1.9	n.a.	2.3	0.8	0.5	0.0	1.5	0.0	6.5	n.a.	1.8
18	n.a.	0.3	0.0	0.0	0.1	n.a.	0.7	0.0	1.0	0.6	n.a.	0.1	0.0	0.1	0.0	0.9	0.0	0.0	n.a.	0.6
19	n.a.	0.0	2.7	3.3	1.8	n.a.	0.0	7.3	1.1	2.4	n.a.	3.8	1.4	1.0	18.7	1.3	0.0	3.2	n.a.	1.0
20	n.a.	1.0	0.0	2.1	0.2	n.a.	0.6	2.3	0.4	0.3	n.a.	0.1	0.7	2.5	0.1	2.0	0.0	0.1	n.a.	1.0
21	n.a.	3.4	0.2	1.1	2.7	n.a.	3.1	0.0	0.5	2.0	n.a.	1.2	2.9	0.2	0.0	2.5	0.0	0.0	n.a.	2.5
22	n.a.	3.7	23.7	4.4	5.3	n.a.	15.9	13.0	0.0	8.0	n.a.	11.5	24.8	31.0	7.9	11.2	20.5	3.9	n.a.	13.4
23	n.a.	4.1	7.6	6.1	8.8	n.a.	7.0	5.5	0.5	5.3	n.a.	7.3	4.4	1.5	0.0	2.7	7.5	2.9	n.a.	5.5
Subtotal	n.a.	40.1	51.7	66.8	57.8	n.a.	62.7	72.6	39.5	42.8	n.a.	55.7	65.6	64.0	64.9	43.9	65.5	54.9	n.a.	55.6
Total	n.a.	100.0	100.0	100.0	100.0	n.a.	100.0	100.0	100.0	100.0	n.a.	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	n.a.	

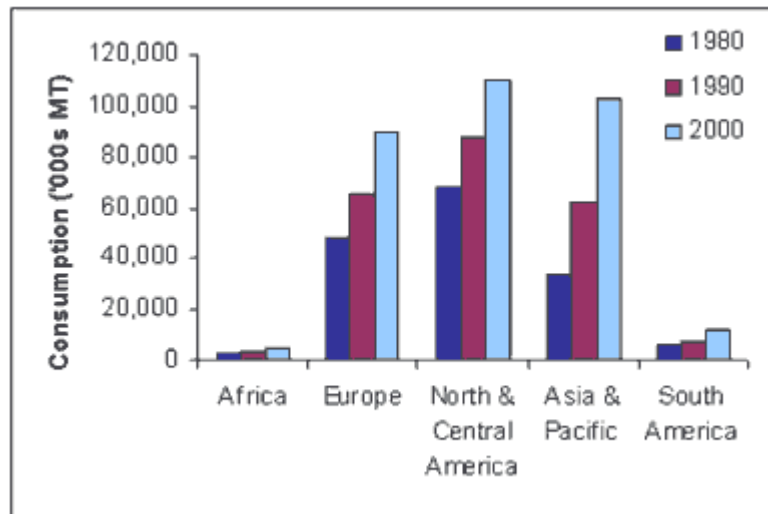
### Categories for classification:

- |  |   |
|--|---|
| 1 Foodstuffs                                     | 13 Machines and parts   |
| 2 Agricultural Produce and Fresh Food            | 14 Electrical equipment and accessories (except domestic appliance) |
| 3 Beverages                                      | 15 Audio, video and communication equipments                        |
| 4 Tobacco Products                               | 16 Electric appliances  |
| 5 Textiles, clothing, leather goods              | 17 Means of transport   |
| 6 Wooden goods and furniture                     | 18 Precision instruments, optical equipment and watches             |
| 7 Paper goods and printed matter                 | 19 Other industrial product   |
| 8 Chemicals and related products                 | 20 Sportswear and accessories, toys                                 |
| 9 Detergents, soaps, perfumes, cosmetics, etc.   | 21 Direct mail companies, dispatching houses                        |
| 10 Rubber goods                                  | 22 Corrugated Board converters (sheet plans)                        |
| 11 Glassware, ceramicware and other non minerals | 23 All other not classified above                                   |
| 12 Metalware                                     |   |

Fefco Annual Statistics 2011

Päämarkkinat aaltopahviteollisuudessa Euroopassa ovat pääsääntöisesti taulukon 2 mukaisesti hedelmä- ja vihanneskuljetuksiin tarkoitettut tuotteet 44% ja loput 56% teolliseen pakkaukseen tarkoitettut tuotteet. Tuotteita lähtee Suomesta pääasiassa Länsi ja Etelä-Eurooppaan, kuten Espanjaan, Italiaan, Turkkiin ja Kreikkaan. Tulevaisuudessa uusia nousevia markkinoita on tulossa Aasiasta ja Etelä-Amerikasta.

On arvioitu, että kehitysmaissa ruuan kuljetuksessa tuhoutuu 25-50% vihanneksista ja hedelmistä kuljetuksen aikana, kun taas Euroopassa se on noin prosentin luokkaa hyvien kuljetuslaatikoiden takia. (Savon Sellun kotisivut)



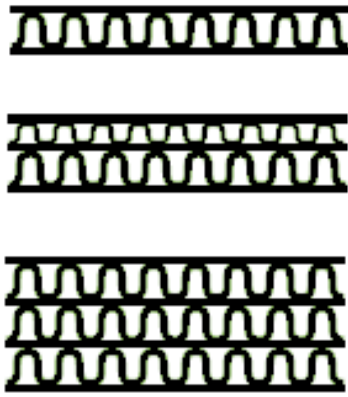
**Kuva 2. Aaltopahvin kulutus (FAO internetsivu)**

Aaltopahvin markkinoiden odotetaan kasvavan 4,8% vuosina 2011-2015. Yksi tärkeimmistä tekijöistä kasvaviin markkinoihin on elintarvike- ja juomateollisuuden nousu maailmanlaajuisesti. (Ibisworld internetsivu) Aaltopahvin kulutus on kasvanut 20 vuoden aikana tasaisesti noin 3,3 prosentin vuosivauhdilla, mutta Aasiassa kasvu on ollut 5,7 prosenttia. Kasvu johtuu Aasian nousevasta tuonnin ja viennin määrästä. 30 vuoden aikana Aasiassa on aaltopahvin tuotanto kasvanut 400 prosentilla. (Fao internetsivu)

### 2.3 Aaltopahvin perusrakenne

Aaltopahvin perusrakenne koostuu pintakartongeista ja niiden välissä olevasta aalloitetusta flutingista. Aaltopahvi voi koostua yksi-, kaksi- tai kolmiaaltoisesta kerroksesta. Suosituin pakkausmateriaali on yksiaaltoinen aaltopahvi. Kaksiaaltoinen aaltopahvi koostuu viidestä kerroksesta ja sitä käytetään, kun halutaan suurta lujuutta. Kolmiaaltoisessa aaltopahvissa on yhteensä seitsämän kerrosta. Kolmiaaltoista käytetään silloin, kun halutaan suurempia lujuuksia ja pinota painavia aaltopahvilaatikoita päällekkäin. Kuvassa 3 aaltopahvin perusrakenteet. (Suomen aaltopahvi yhdistys ry, 2009)



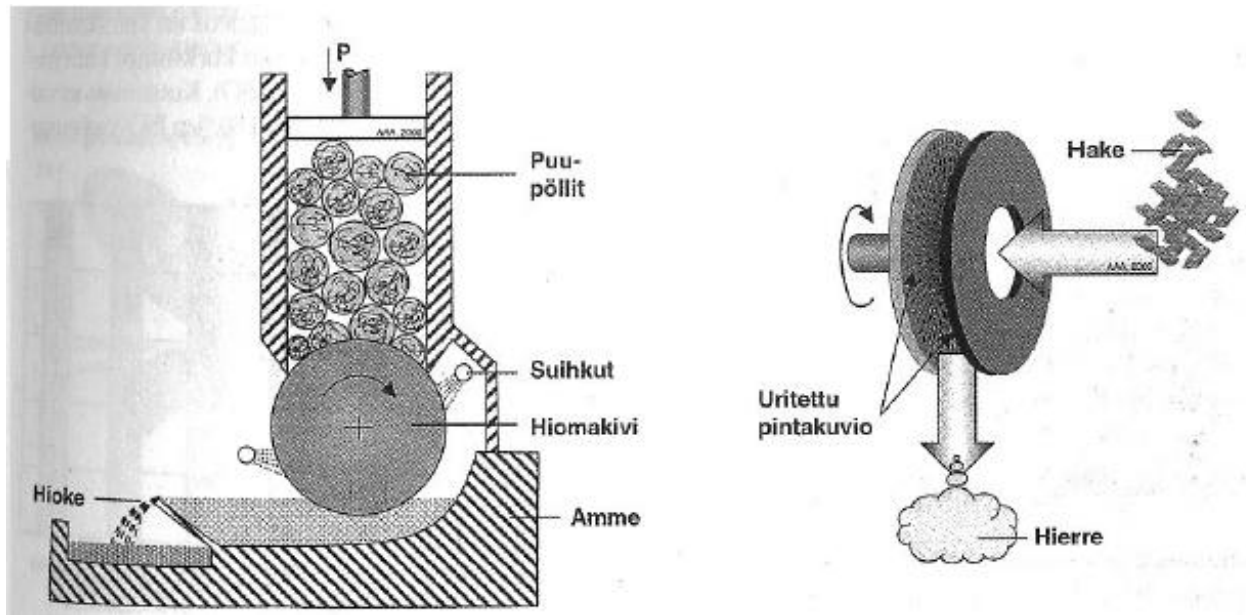


**Kuva 3. Aaltopahvin perusrakenteet (Suomen aaltopahviihdistys, 2009)**

### 3 AALTOPAHVIN VALMISTUS

Flutingin ja pintakartonkien eli lainereiden tärkein raaka-aine on kasvikuidut. Yleisin aine, josta saa kasvikuittuja on puu, esimerkiksi mänty, kuusi ja koivu. Työn tilaaja Savon Sellu valmistaa flutinginsa koivusta. Lehtipuukuidut ovat aallotuskartongin, eli flutingin parasta raaka-ainetta. Puun kuidut ovat enimmäkseen selluloosaa ja ligniiniä, joka on puussa kuituja sitova aine ja se sitoo selluloosan ja hemiselluloosan yhteen. Ligniini on haitallista, koska selluloosa ja ligniini on erotettava toisistaan, jotta voidaan valmistaa flutingia. Selluloosan ja ligniinin voi erottaa toisistaan kuiduttamalla, jota on kaksi päämenetelmää, jotka ovat mekaaninen ja kemiallinen kuidutus. (Laakso, Rintamäki, 2000)

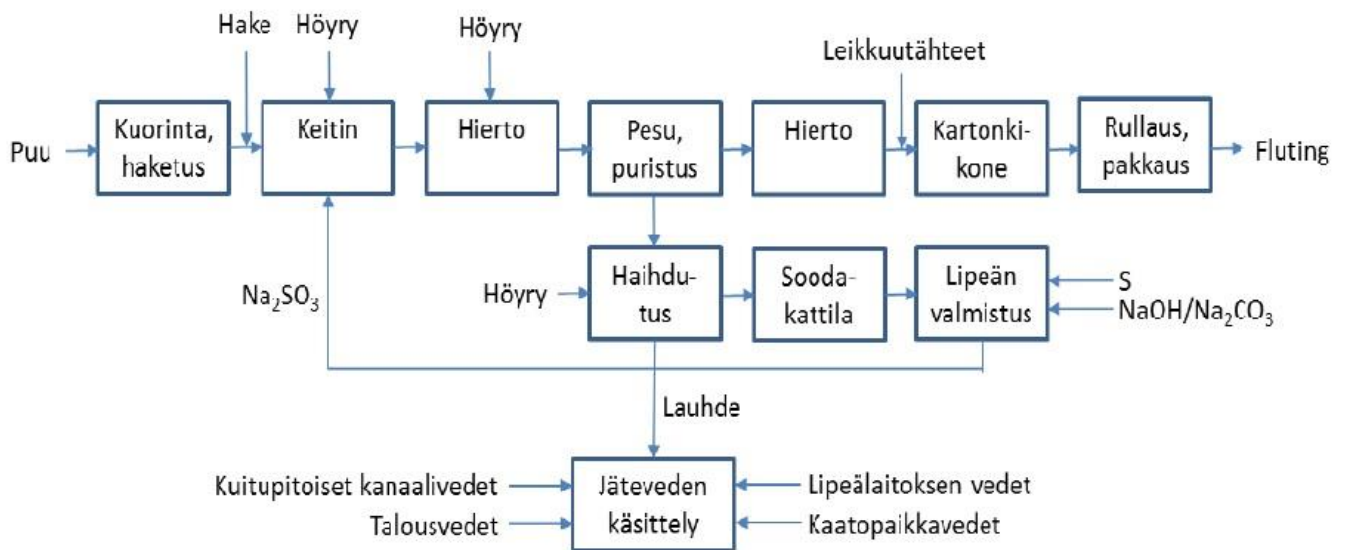
Mekaanisessa kuidutuksessa hiomakivi pyörii märkää puun runkoa vasten. Lopputulosta voi säädellä eri tavoin, kuten säätämällä hiomakiven lämpötilaa lämpimän vesisuihkun avulla. Mekaanista kuidutusta käytetään pääsääntöisesti hieno-, paino-, sanomalehti- ja pehmopapereiden sekä monikerroskartonkien valmistukseen. Kuvassa 4 on esitetty mekaanisten massojen valmistusperiaatteet. (Laakso, Rintamäki, 2000)



**Kuva 4. Mekaanisten massojen valmistusperiaatteet (Hägglom-Ahnger, Komulainen 2000)**

Kemiallisessa menetelmässä eli sellun teossa puusta tehdään ensin haketta. Hake kuumennetaan eri kemikaalien kanssa keittokattilassa. Nykyään kemiallista massaa valmistetaan vain sulfaattimenetelmällä, jossa liuos sisältää veteen lisättyä natriumsulfidia ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) ja natriumhydroksidia eli lipeää ( $\text{NaOH}$ ). Kuitujen sidosaine ligniini liukenee keittokattilassa liuokseen, jonka voi helposti uudelleen käyttää, koska se sisältää vain puusta liuenneita tuotteita. Yleensä liuenneet aineet joko poltetaan, tai haihdutetaan. (Virkola, 1983)

### 3.1 Flutingin valmistusprosessi

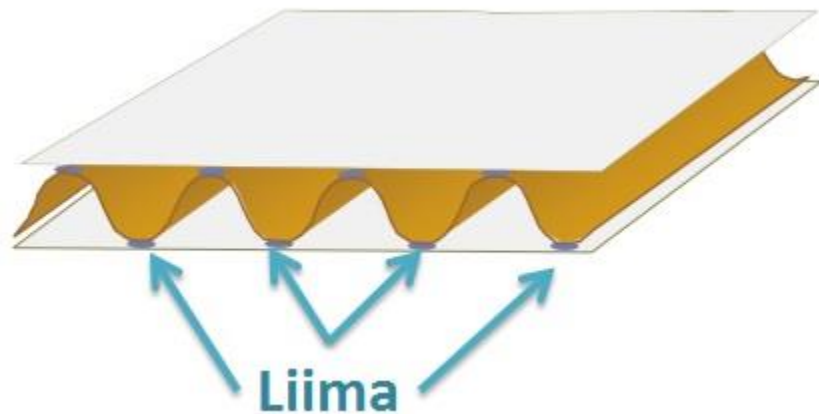


**Kuva 5. NSSC-prosessikaavio (European commission, 2011)**

Savon Sellun valmistama flutingi valmistetaan puolikemiallisella prosessilla, *Neutral Sulphite Semi-Chemic (NSSC)*. Koivu on paras vaihtoehto aallotuskartongin valmistukseen, koska siinä on korkea hemiselluloosapitoisuus ja alhainen ligniinipitoisuus verrattuna havupuihin. Havupuissa on korkea ligniinipitoisuus, joten se on käsiteltävä kemikaalisesti voimakkaammin kuin lehtipuut. (Moring 2012)

Aluksi puu kuoritaan, jonka jälkeen se haketetaan ja varastoidaan kasoiksi hakekentälle. Seulonnan jälkeen hake nostetaan massaosastolle, jossa se esihöyrytetään 95 °C asteisella vesihöyryllä, jonka jälkeen se imeytetään natriumsulfiitilla. Massaa keitetään kunnes ligniinisidokset ovat katkenneet. Tämä käsittely on melko hellävarainen, koska se katkoo sidoksia sen verran, ettei se haittaa myöhemmin mekaanisessa käsittelyssä. Seuraavana vaiheena pehmeestä hakeesta hierretään sellua mekaanisin menetelmin, joka tehdään levyjauhimilla. Sen jälkeen flutingi lajitellaan ja pestään. (Moring, 2012)

## 4 AALTOPAHVIN LIIMAUS

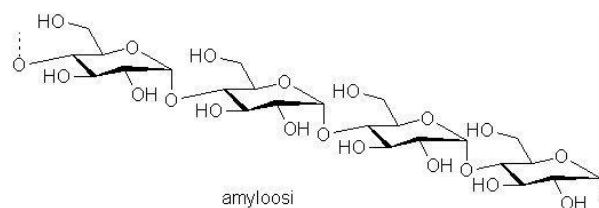


**Kuva 6. Liimaa laitetaan aaltojen huipuille (Aaltopahvi, internetsivu)**

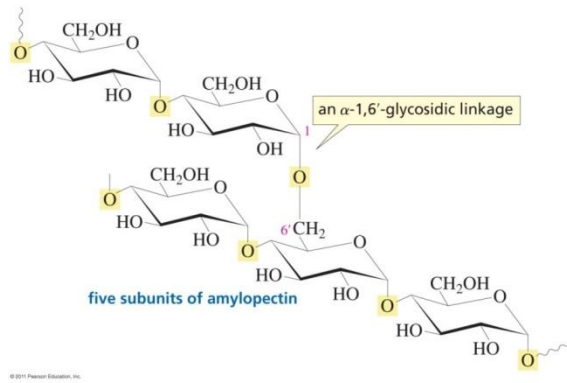
### 4.1 Yleistä

Flutingi kiinnitetään lainereihin eli pintakartonkeihin tärkkelysliimalla, joka on yleensä maissitärkkelystä. Liimaksi sopii myös vehnä- ja perunatärkkelys, mutta nämä ovat harvinaisempia. Tärkkelysliima koostuu vedestä, tärkistä, lipeästä ja boraxista. Liimaan on myös mahdollista lisätä aineita, jotka parantavat sen ominaisuuksia, esimerkiksi vedenkestäviä hartseja. (Laakso, Rintamäki, 2000)

Maissitärkkelys sopii parhaiten aaltopahvin valmistukseen, koska sen liukoisuusominaisuudet ovat paremmat kuin muilla, mikä johtuu erilaisesta amyloosin ja amylopektionin suhteesta. Jotta liimaus onnistuu, on liiman ja pahvin välillä oltava korkeampi adheesio kuin koheesio. Koheesio tarkoittaa materiaalin sisäisten molekyylien vuorovaikutusta toisiinsa ja adheesio kahden eri materiaalin molekyylitason keskinäistä vuorovaikutusta, tässä tapauksessa liiman ja pahvin välistä vuorovaikutusta. Esimerkiksi perunatärkkelyksen molekyyliketju on pidempi kuin maissitärkkelyksen, joten se penetroituu heikommin pahviin.

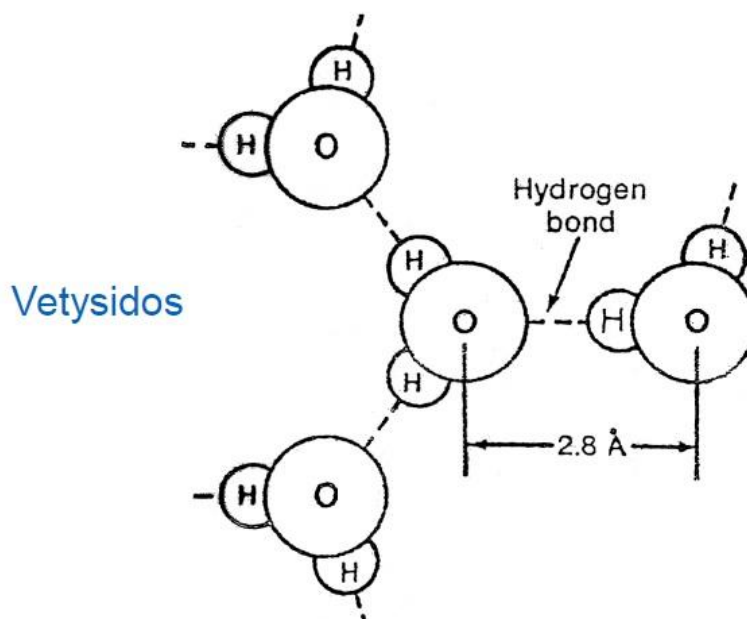


**Kuva 7. Ketjuuntunut amyloosi (Lukion materiaali, internet sivu)**



**Kuva 8. Haarautunut amylopektiini (chemistry.edu, internetsivu)**

Vesi on erittäin tärkeässä roolissa, koska se auttaa tärkkelystä penetroitumaan pahviin. Kun pahvia kuumennetaan, sen tärkkelysvesisuspensiorakeet sitovat itseensä vettä, jolloin ne turpoavat ja lopulta liukenevat. Tätä tapahtumaa kutsutaan liiman gelatinoitumiseksi. Pahvin pinnalla tärkkelys alkaa gelatinoitumaan, kun se savuttaa gelatinoitumislämpötilan. Gelatinoitumislämpötilaan vaikuttavia tekijöitä ovat tärkkelyspartikkelin muoto ja koko. Gelatinoitumislämpötilaa voidaan alentaa lipeällä. Optimaalisin gelatinoitumislämpötila on liimalle 60-64 °C. (Thayer, Thomas, 1971)



**Kuva 9. Vetysidos (Hiltunen, 2013)**

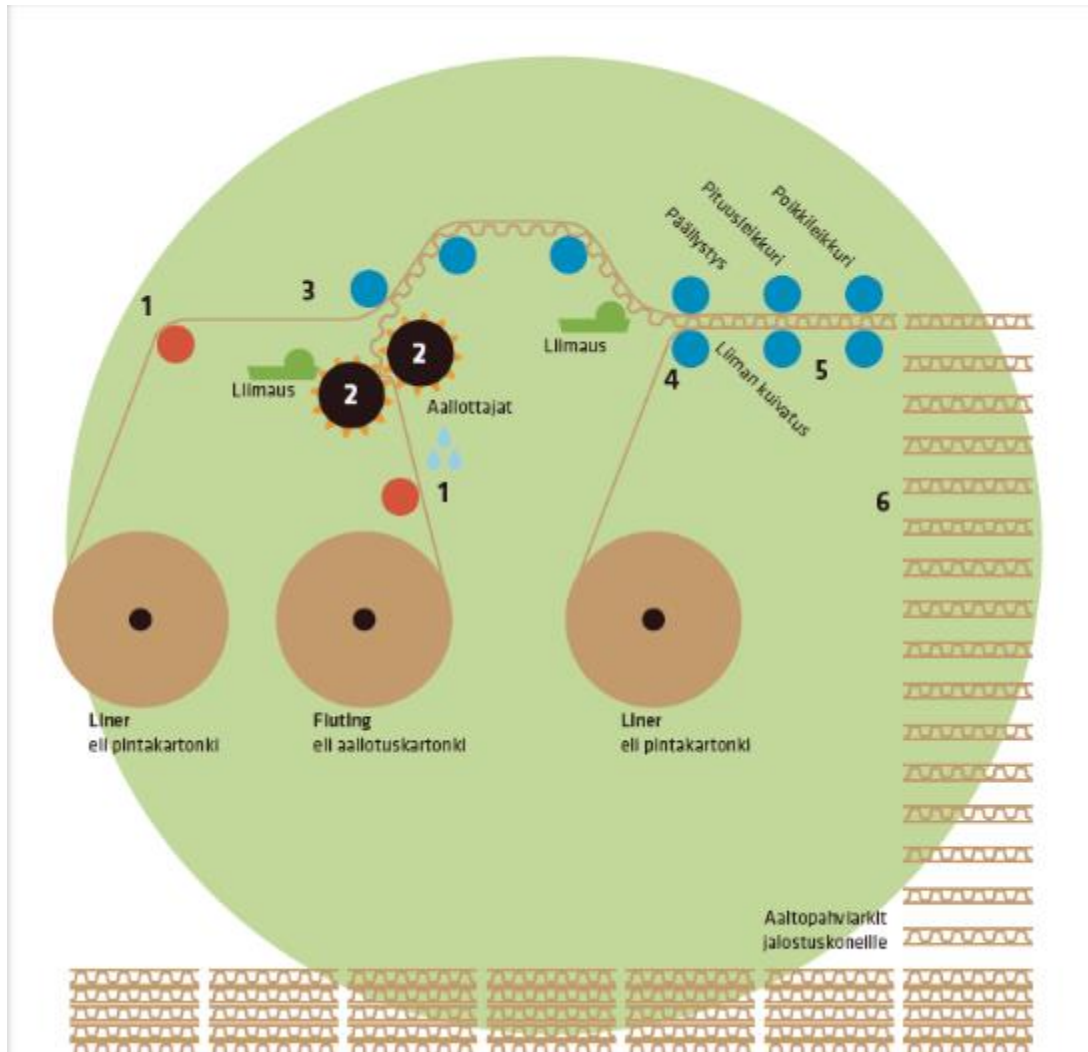
Liiman valmistuksen ja sen toiminnan kannalta sen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat liiman viskositeetti, gelatinoitumislämpötila, kuiva-ainepitoisuus ja vesiretentio. Nämä kaikki ominaisuudet johtuvat tärkkelyksen perusrakenteesta, glukoosiyksiköiden sisältämistä OH-ryhmistä, jotka voivat muodostaa vetysidoksia. Liimassa vetysidokset muodotuvat vesimolekyylien ja tärkkelyksen välille. Pahvia lämmittäessä vesi poistuu höyrystymällä ja vetysidokset muodostuvat tärkkelyksen ja kuitujen välille. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2000)

#### **4.2 Märkälujaliimaus**

Aaltopahvin kastuessa sen lujuus laskee, koska kuitujen väliset vetysidokset korvautuvat kuidun ja veden välisillä vetysidoksilla. Märkälujuutta voi parannella erilaisilla erikoiskemikaaleilla. Märkälujaliimat ovat pienimolekyyllisiä polymeerejä, jotka sitoutuvat kuituihin ja vahvistavat vetysidoksia. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2001)

#### **4.3 Liimaus aaltopahvin valmistuksessa**

Jotta flutingin saisi taipuisaksi ja pehmeäksi, tarvitsee sitä lämmittää lämmityssylinterien sekä höyryn avulla. Lämmitys ja kosteus alentavat ligniinin Tg:tä, eli lasittumislämpötilaa, jolloin kuidut pehmenevät ja muokkaantuvat helposti aallotuksessa. Lämpötilan laskettua hemiselluloosa ja ligniini kovettuvat uudestaan ja kuitu lujittuu uudestaan muotoonsa. Kuvassa 10 on esitetty aaltopahvin valmistuksen periaate. (Hägglom-Ahnger, Komulainen, 2000)



**Kuva 10. Aaltopahvin valmistus (Aaltopahvi, internetsivu)**

Ennen flutingin aalloittamista, se esilämmitetään sylinterillä, kunnes sen lämpötila on 80-90 °C. Flutingia aalloittaa kaksi päällekkäistä aalloitussylinteriä, kuten kuvassa 10 kohdassa 2 on näytetty. Sylintereiden lämpötilan on oltava 177-188 °C, koska fluting tarvitsee riittävän lämpötilan plastisoimiseksi ja liima riittävän lämpötilan gelatinoitumiseen. Aalloitettua kartonkia on pidettävä aalloituksen jälkeen aalloitussylinterin pinnassa imun ja paineilman avulla. Näin aalloitettu pahvi säilyttää aaltonsa tasavälisinä liimaukseen asti. Liima levitetään aalloitussylinterin jälkeen liiman levityskoneella. Liiman levityskone levittää liiman aallonharjoille. Aalloitettu kartonki ei ole kosketuksissa laitteen kanssa vaan se koskettaa koneesta tulevaa liimafilmiä. Filmin paksuus aallonpinnalla vaihtelee 0,2mm-0,64mm välillä riippuen kartongin laadusta ja ajonopeuksista. (Laakso, Rintamäki,2000)

Pintakartongit on lämmitettävä lämmityssylintereiden avulla, jotta myöhemmin liimausvaiheessa liima gelatunoituisi. Lainerin pinnan lämpötila tulisi olla 95-98 °C ennen liimausta. Lämmitys poistaa myös kosteuden, joten laineri ei vääntyile muodottomaksi myöhemmin. Liika lämmitys on haitallista, koska sen seurauksena laineri saattaa murtua, tai se saa lainerin vääntymään. (Laakso, Rintamäki, 2000)

Aalloitettu kartonki ja pintakartonki kohtaavat aalloitussylinterin ja puristussylinterin risteyskohdassa. Tämän jälkeen liiman tulisi penetroitua laineriin ja raa-an tärkein pitäisi gelatinoitua, jotta saataisiin riittävän luja sidos. Puristussylinterin jälkeen aaltopahvi etenee kuivaukseen, jossa kuivatus tapahtuu kuumennettujen levyjen avulla. On tärkeää, että liimasaumamat kuivuvat koko pituudeltaan, ettei heikkoja kohtia synny. Lopuksi pahvi leikataan halutun kokoisiksi arkeiksi, jonka jälkeen liiman annetaan vielä kuivua jonkin aikaa. (Laakso, Rintamäki, 2000)

#### **4.4 Ongelmat**

Tyypillisimmät ongelmat liimauksen kanssa ovat viskositeetin tason vaihtelu ja gelatinoitumislämpötilan vaihtelu. Näiden muuttaminen voi vaikuttaa aaltopahvin laatuun. Esimerkiksi korkea gelatinoitumislämpötila vaikuttaa negatiivisesti ajonopeuksiin ja alhainen gelatinoitumislämpötila saa liiman geeliytymään liian aikaisin ja sidoksesta tulee heikko. Näiden muutosten takana voi olla monia syitä, mutta yleisimmät ovat vesimäärän tai tärkkelyksen määrän muuttuminen, bakteeritoiminta, lämpötilan muutokset, väärä sekoitusnopeus tai lipeän määrä muutos. (Savon Sellun sisäiset tutkimukset)

## **5 FEFCO**

The European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO), on järjestö joka ajaa Eurooppalaisten aaltopahvin tuottajien etuja Euroopassa. FEFCO:n pääkonttori sijaitsee Belgian pääkaupungissa Brysselissä ja se on perustettu 1952.

Järjestö on voittoa tavoittelematon ja sen päätehtävänä on tutkia kaikkia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa aaltopahvin valmistukseen. FEFCO:n tehtävänä on myös nostattaa aaltopahvinvalmistajien imagoa markkinoilla. (FEFCO:n kotisivut)



## 5.1 FEFCO-Standardit

FEFCO Standards Committee on Euroopan aaltopahviteollisuudelle suunnattu työryhmä, jonka tehtävänä on kehittää erilaisia standardeja aaltopahville. Standardeja kehitellään, jotta aaltopahvin ominaisuudet olisivat vertailukelpoisia ympäri maailmaa. FEFCO standardeja on tällä hetkellä yhteensä 55 kappaletta ja niitä tulee jatkuvasti lisää. Kaikki standardit löytyvät FEFCON internet sivuilta neljällä eri kielellä. (FEFCO:n kotisivut)

## 5.2 FEFCO-9

FEFCO-9 standardissa testataan aaltopahvin vedenkestävyyttä sekä liimauksen pitoa. Tämä menetelmä käy kaikenlaisiin aaltopahveihin, joiden tulee kestää erittäin kosteissa olosuhteissa, esimerkiksi vihannes- ja hedelmälaatikot. Liitteessä 2 on FEFCO-9 standardi kokonaisuudessaan englanniksi. (FEFCO:n kotisivut)

## 6 KOKEELLINEN OSUUS

Kokeellisen osuuden tavoitteena on löytää optimaalisin liimaseos, sekä paras gelatinoitumislämpötila, jolla liimaus läpäisee FEFCO-9 testin. Työssä tulisi myös löytää vaikuttavia tekijöitä FEFCO-9 tulokseen ja miten ympäristön ilmankosteus, sekä lämpötila vaikuttavat lopputulokseen. Testiliuskoja pidettiin altaassa yhteensä kolmen päivän ajan, jolloin tulos todettiin riittäväksi.

FEFCO-9 testit aloitettiin ensin kokeilemalla esilämmityksen, sekä kuivatuksen vaikutusta lopputulokseen, jossa ainoana muuttujana käytettiin lämpölevyn lämpötilaa. Lämpölevyn lämpötilaa vaihdeltiin 80-125 °C välillä. Esilämmityksen ja kuivatuksen aikaa pidettiin samana koko testauksen ajan. Testauksessa parhaaksi lämpötilaksi osoittanutta lämpötilaa tullaan käyttämään myöhemmissä testauksissa. Liiman reseptinä käytettiin liitteen 1 reseptiä.

Optimaalisimman lämpötilan löydettyä seuraavaksi alettiin muuntelemaan liiman reseptiä, joka aloitettiin ensin muuttamalla märkälujakomponenttien määrää,

myöhemmin märkälujia. Märkälujan määrää vaihdeltiin 0-2,30 prosentin välillä muun liimareseptin ja valmistus metodien ollessa vakio.

Seuraavaksi haluttiin saada selville tärkkelyksen vaikutus liimasauman pitävyydelle. Märkälujan määränä käytettiin pienintä määrää, jolla FEFCO-9 standardi läpäistiin viime koeosuudessa. Tärkin määrän vaihteluväli oli 27,3 ja 37,5 prosentin välillä. Koesarjoja tehtiin yhteensä neljä kappaletta.

Viimeisenä testinä haluttiin saada selville märkälujan vaikutus, kun liiman koostumus on laihaa. Testissä ainoana muuttujana oli märkälujan määrä, jota vaihdeltiin 1,6-3,9 prosentin välillä. Koesarjoja tehtiin yhteensä neljä kappaletta.

Koko koesarjan ajan mitattiin ilman lämpötilaa ja kosteutta. FEFCO-9 standardissa lämpötilan ja ilmankosteuden tulisi olla EN 20 187 standardin mukaisesti, ilma  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja ilmankosteuden  $50\% \pm 2\%$  r.h.

## **6.1 Testilaitteisto**

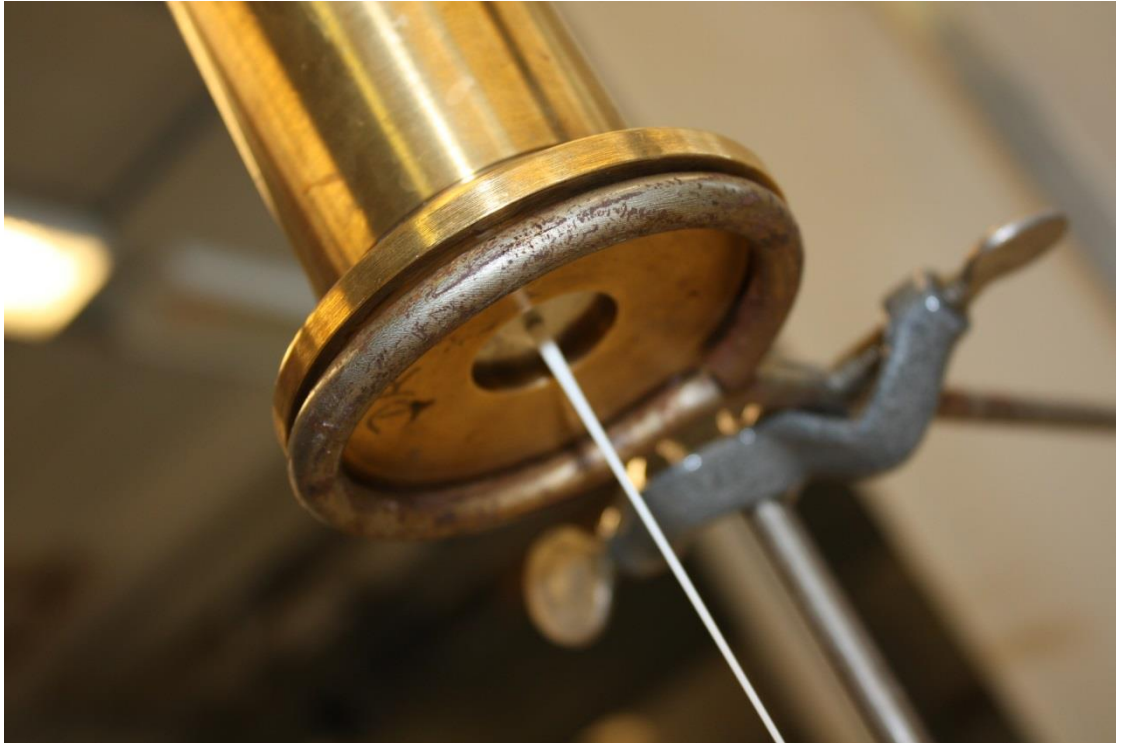
Liima valmistetaan reseptin mukaisesti vakiolämpötilassa  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämpöaltaana käytettiin lämmityslevyä, sekä isoa dekanteria. Kuvassa 11 lämpöallas ja liimasekoitin.

Liima sekoitettiin laboratoriosekoittimella, jonka pyörimisnopeutta voitiin säätää välillä 50-2000 rpm. Pyörimisnopeutena käytettiin yleensä 1500rpm, koska kyseinen nopeus todettiin parhaimmaksi. Sekoitinteränä käytettiin niin sanottua leikkaavaa terää, koska tällä saavutettiin tärkkelyksen kannalta vaadittavat leikkausvoimat. Kuvassa 11 liimasekoitin ja lämpöallas.



**Kuva 11. Liimasekoitin ja lämpöallas**

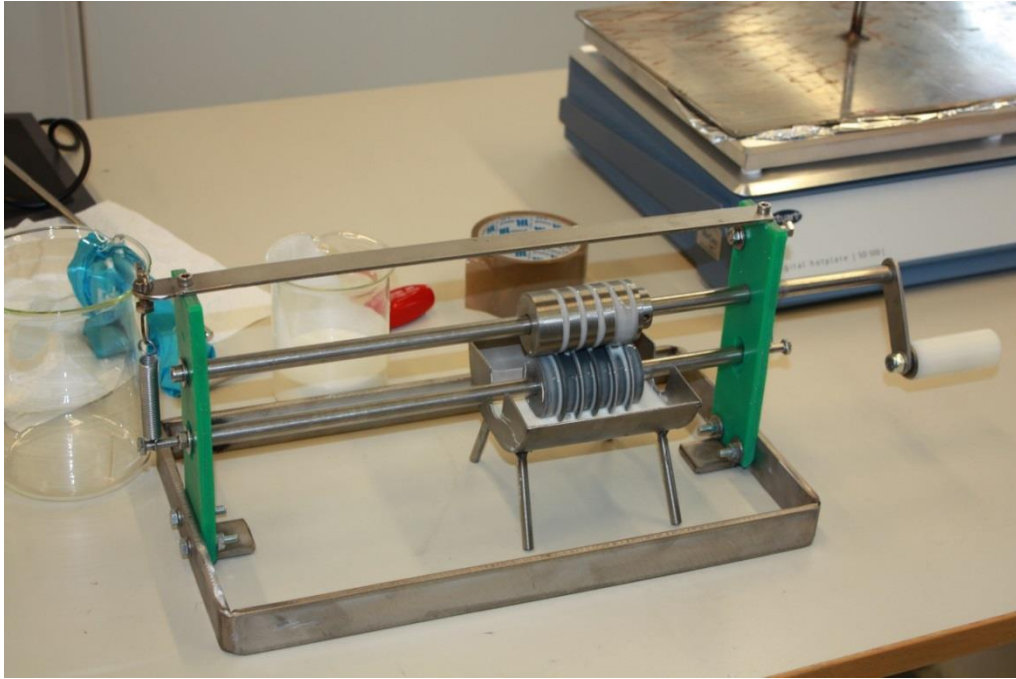
Stein Hall-viskometrillä saadaan testattua liiman viskoottisuus [s]. Viskosimetri on suora sylinteri, jossa on kaksi mittaviivaa, ylhäällä ja noin puolessa välissä. Liiman viskoottisuus määritellään niin, että liiman annetaan valua sylinterin lävitse samalla mitaten aikaa, joka kuluu, kun liiman rajapinta ohittaa alimman mittaviivan. Viskometrillä pohjassa on pieni reikä, josta liima valuu dekanteriin. Liiman valumista mitattiin sekuntikellolla. Opiteksi viskoottisuus liimalle on noin 50-60 sekuntia. Kuvassa 12 on esitetty Stein Hall-kuppi. Liitteenä 2(5) Stein Hall-viskometrillä sertifikaatti.



**Kuva 12. Stein Hall-viskometri**

Kartonkiarkit lämmitettiin lämpölevyn päällä. Lämpölevynä käytettiin Stuartin lämpölevyä, jolla saatiin haluttu lämpötilansäätötarkkuus  $\pm 1$  °C astetta. Lämpölevyä käytettiin sekä esilämmityksessä että kuivatuksessa.

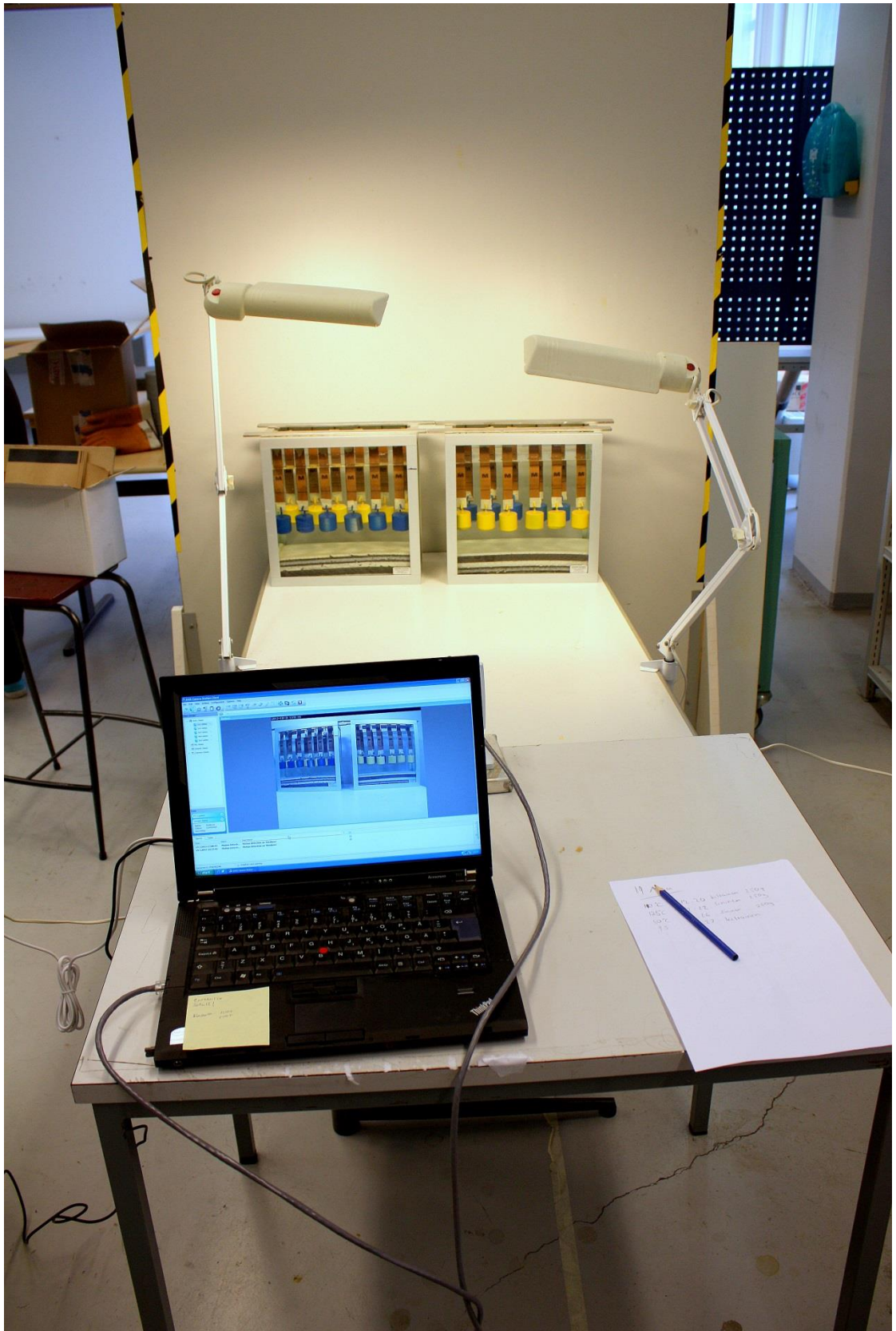
Liiman levityksessä käytettiin Savon Sellun valmistamaa liiman levityslaitteistoa. Laite tekee viisi liimavanaa arkkiin. Kuvassa 13 on esitetty liiman levityslaite.



**Kuva 13. Liiman levityslaite**

## 6.2 FEFCO-9 testi

Testissä mitattiin liimasauman veden kesto. Näyteliuskat sijoitettiin altaaseen siten, että liuskan yläpää kiinnitettiin koukkuihin ja alapäähän laitettiin 250 gramman paino. Kymmenestä testiliuskasta yhdeksän tulee kestää altaassa 24 tuntia, jotta tulos on hyväksyttävä FEFCO-9 standardin mukaisesti. Mitä pidempään näyte kestä, sen onnistuneempi on liimaliitos. Liuskoja pidettiin altaassa maksimissaan kolme päivää. Testiä seuraamaan asennettiin liiketunnistuskamera, joka tallensi kaikki tapahtumat tietokoneelle. Kuvassa 14 on esitetty FEFCO-9 koejärjestely.



**Kuva 14. FEFCO-9 koejärjestely**

### 6.2.1 Liiman valmistus

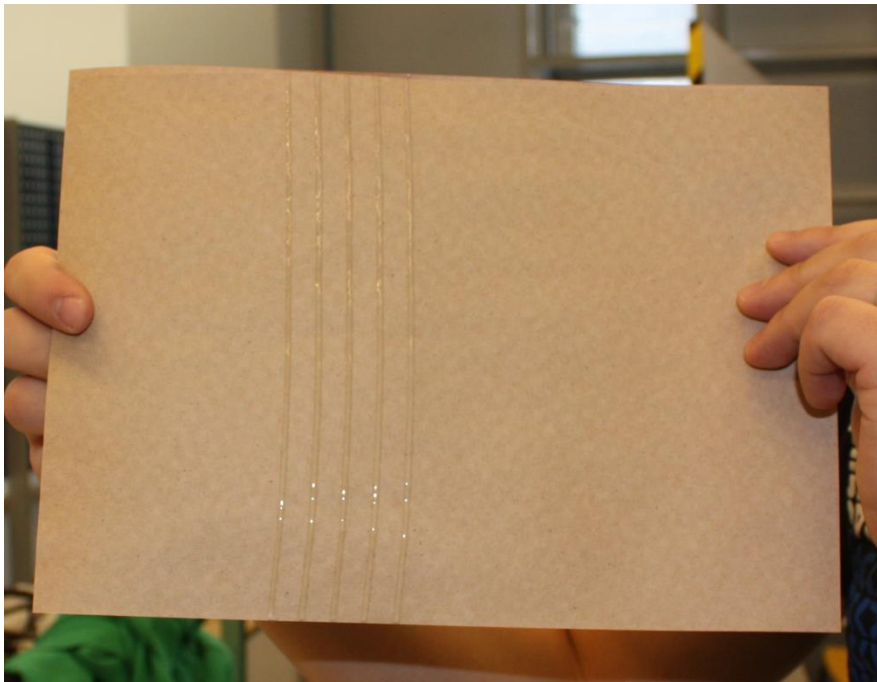
Liiman valmistuksessa on useita tekijöitä, jotka vaikuttavat lopputulokseen, mutta tärkeimmät niistä ovat sekoitusaika ja -nopeus. Jos liiman valmistuksessa käytetään liian suuria sekoitusnopeuksia ja -aikoja, on vaarana, että liiman viskoottisuus huononee. Kokeessa pyrittiin käyttämään vakiokierrosnopeuksia ja sekoitusaikaa, jotta ainoat muuttujat olisivat reseptin sekoitussuhteet. Onnistuneen liiman tunnistaa sen viskositeetistä, jonka voi todeta Stein Hall-viskometrillä. Valmis liima on käytettävä kahden tunnin sisällä, koska märkälujakomponentin toiminta alkaa heiketä ja liiman tärkkelys alkaa turvota jolloin viskositeetti nousee liian korkeaksi.

### 6.2.2 Arkkien liimaus

FEFCO-9 testi tehtiin aalloittamattomilla fluting-arkeilla. Arkkeihin tehtiin viisi liimavanaa, jotka levitettiin tilaajalta saadulla levityslaitteella. Viskoottisuudella oli merkitystä liimavanan laatuun, sillä sen ollessa matala liimavanat olivat epätasaisia, kuten kuvassa 15. Kun liiman viskoottisuus ylittää Stein Hall-viskometrin avulla yli 180 sekuntia liimausprosessi vaikeutuu ja tasaista jälkeä on lähes mahdotonta saada, koska liima juuttuu liiman levitys telaan epätasaisesti. Ennen liimausta fluting-arkki ja laineri esilämmitettiin lämpölevyllä, jonka lämpötila oli yleensä 95 °C. Noin minuutin kestäneen esilämmityksen jälkeen fluting-arkkille levitettiin liima suoja-arkin kanssa levityslaitteiston avulla. Liiman levityksen jälkeen se asetettiin lainerin päälle ja laitettiin takaisin lämpölevylle, jossa liima alkaa gelatinoitumaan. Kolmen minuutin kuivatuksen jälkeen liimatut arkit poistettiin lämpölevyjen välistä, jonka jälkeen niiden annetaan vielä kuivua huoneenlämmössä vuorokauden ennen FEFCO-9 testiä.



**Kuva 15. Epäonnistunut liimavana, koska liimavanat eivät ole tasaisia.**



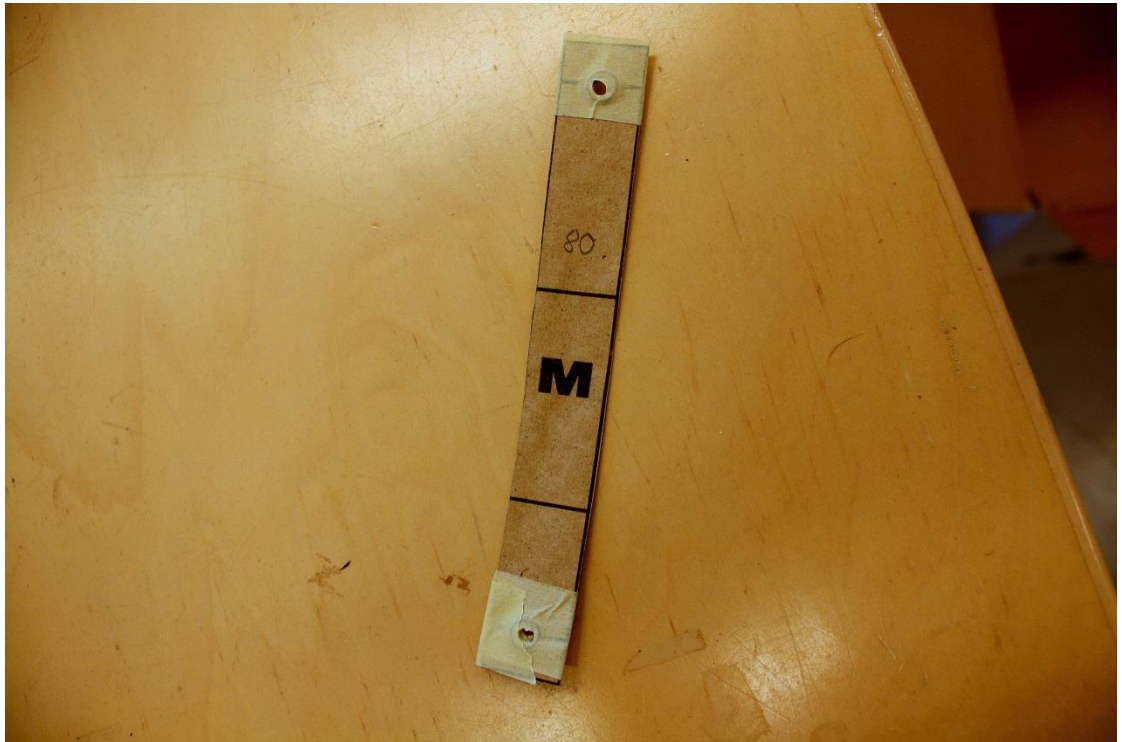
**Kuva 16. Onnistunut liimavana**

### **6.2.3 Testiliuskat**

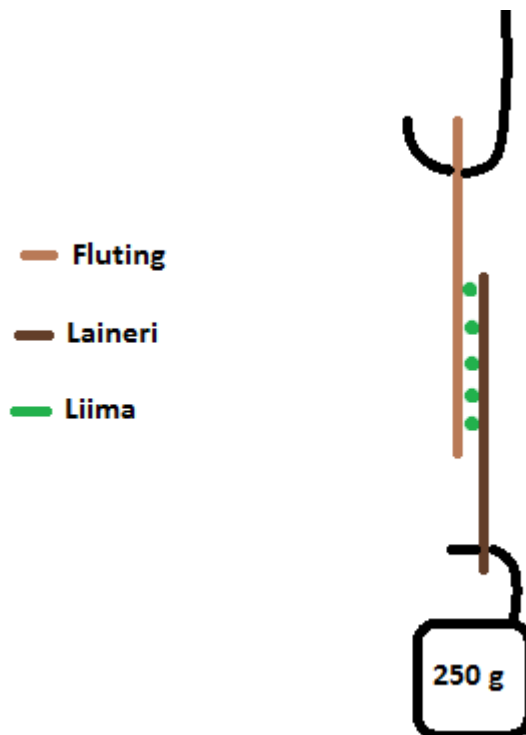
Vuorokauden jälkeen liimasaumat olivat kuivuneet, jonka jälkeen niistä leikattiin standardin mukaiset liuskat. Leikkauksen helpottamiseksi flutingiin tulostettiin standardin mukainen kaavain. Leikkauksen jälkeen liuskaan painettiin kaksi reikää



ylös flutingiin, sekä alas laineriin. Reikä tehtiin niin sanotulla vyön rei'ittimellä ja vahvistettiin metallisilla niiteillä, jotka prässättiin liuskaan kiinni. Testiliuskoja vahvistettiin maalarinteipillä liimaamattomilta alueilta.



Kuva 17. FEFCO-9 standardin mukainen testiliuska



Kuva 18. FEFCO-9 testiliuska

## 7 TULOKSET

Testissä käytetyt liimareseptit ja lopulliset tulokset ovat liitteenä luottamuksellisesti.

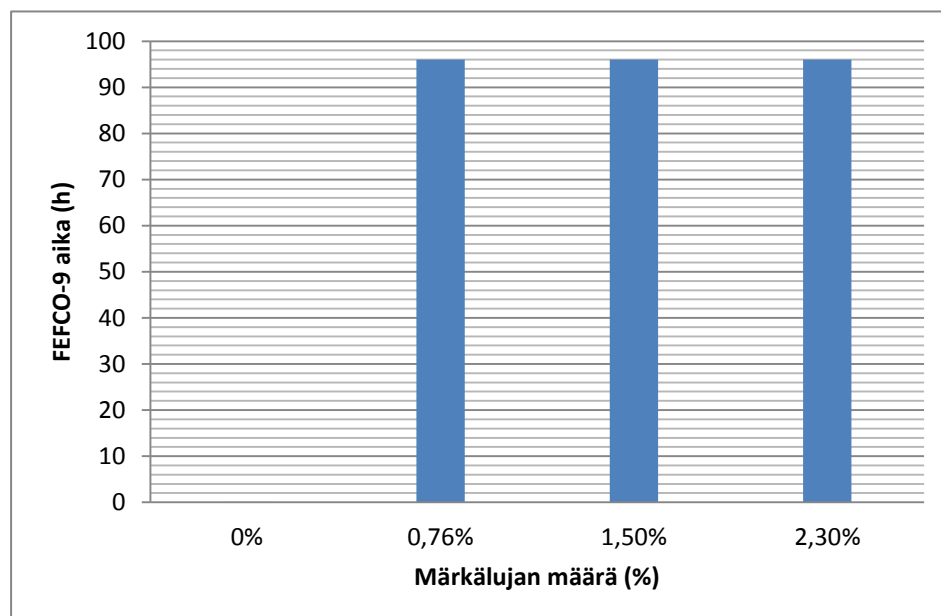
Taulukossa 3 on esitetty lämpötilat ja ajat, jota käytettiin FEFCO-9 testissä. Kaikki koesarjat kestivät yli kolme päivää, joten testi keskeytettiin ja parhaaksi lämpötilaksi todettiin 95 °C

**Taulukko 3. Käytetyt lämpötilat ja ajat**

Lämmityslämpötila (°C)	Esilämmitysaika (min)	Kuivatus (min)
80	1	3
95	1	3
110	1	3
125	1	3

Reseptissä käytetyt seosaineet on näytetty prosentteina [%].

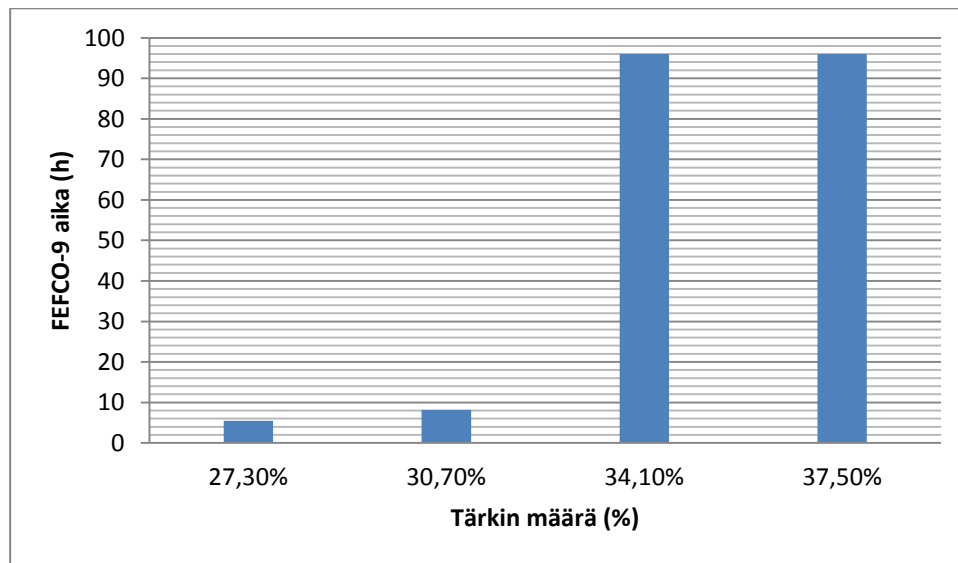
$$\text{Seosaineen määrä} = \frac{\text{Seosaineen määrä (g)}}{\text{Liiman kokonaismäärä (g)}} \times 100\%$$



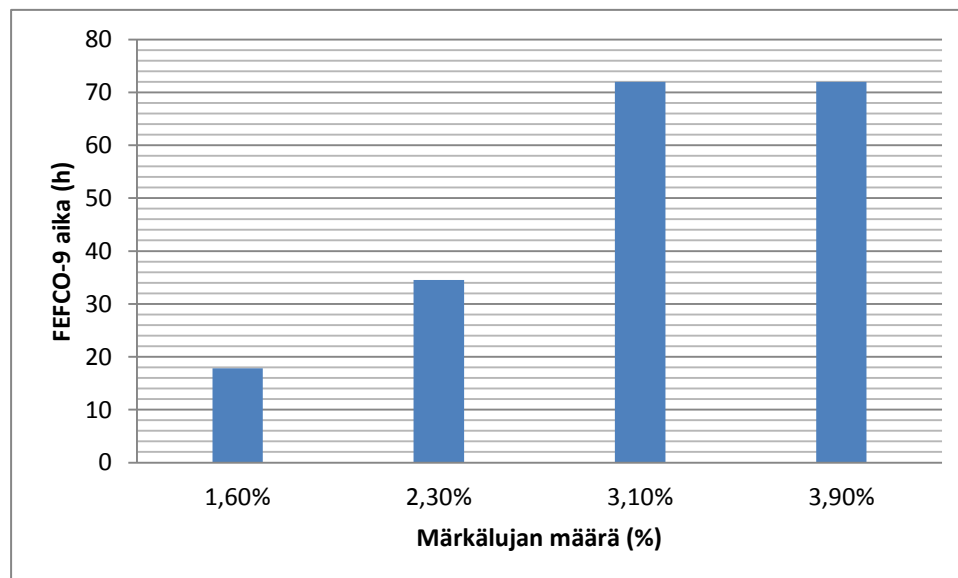
**Kuva 19. Märkälujan vaikutus FEFCO-9 tulokseen**

Kuvan 19 mukaan 0,76% märkälujaa sisältänyt liimaseos todettiin vähintäänkin yhtä pitäväksi kuin 1,50% ja 2,3%. Testi keskeytettiin neljän päivän kuluttua. 0% märkälujaa sisältänyt kesti vaivaiset 7 minuuttia 20 sekuntia.

Tärkkelystä lisättiin liimaseokseen kuvan 20 mukaisesti. Märkälujaa lisättiin 0,76%, koska se todettiin vähintäänkin yhtä pitäväksi kuin 1,5% ja 2,3% märkälujaa sisältäneet viime koesarjassa. 34,1% ja 37,5% tärkkelystä sisältäneet olivat altaassa 4 päivää, jolloin testi keskeytettiin, kun taas 27,3% ja 30,7% kestivät molemmat alle 10 tuntia.



**Kuva 20. Tärkin vaikutus FEFCO-9 tulokseen**



**Kuva 21. Märkälujan vaikutus kun liima on laihaa**

Viimeisenä testinä haluttiin saada selville märkälujan vaikutus, kun liiman kuiva-aine on alhainen. Ensimmäinen koesarja, joka sisälsi 1,60% märkälujaa ei läpäissyt FEFCO-9 testiä. Muut koesarjat läpäisivät virallisen FEFCO-9 testin. Kolmen päivän FEFCO-9 testin läpäisivät vain koesarjat, jotka sisälsivät 3,10% ja 3,90% märkälujaa.

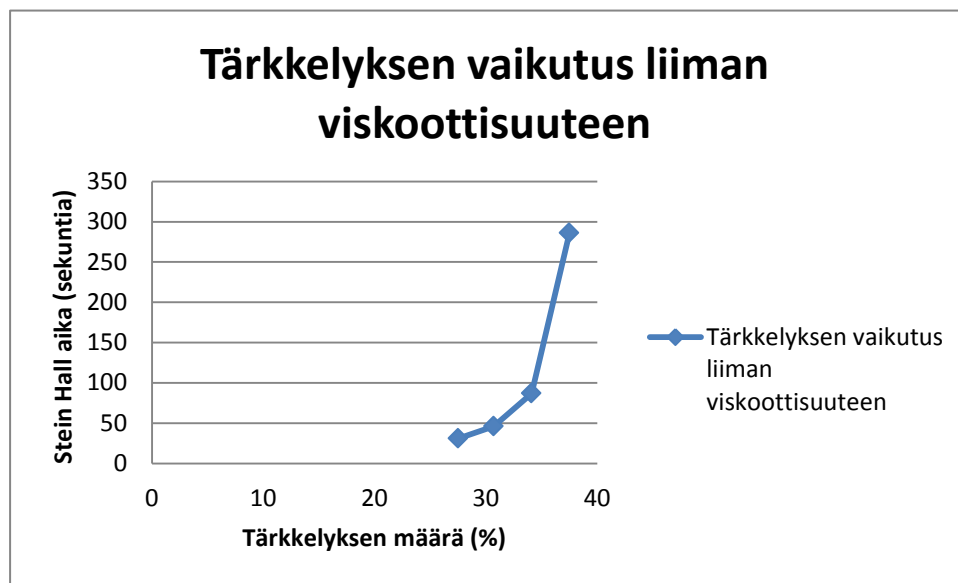
Koko koesarja tehtiin ilmastoidussa tilassa, jossa ilmankosteus oli keskimäärin 10 rh% ja lämpötila oli keskimäärin 23 °C. Ilmankosteus poikkesi standardin mukaisesta ilmankosteudesta noin 40%. Huoneenlämpötila täytti standardissa mainitut lämpötilat koko koesarjan ajan.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ensimmäisessä testissä, jossa haluttiin saada selville paras lämpötila FEFCO-9 tulokseen päädyttiin 95 °C, koska siinä lämpötilassa liimasaumat kuivutuksen jälkeen jäivät hieman kosteiksi, kun taas liimasaumat kuivuivat kokonaan 125°C kuivauksen jäljiltä. Liiman pitävyydestä tulee parempi, jos saumat saavat kuivua rauhassa huoneen lämmössä pidemmän aikaa. Lämpötilan vaihteluita kokeiltiin vain yhdelle liimareseptille, jonka tiedettiin varmasti olevan tarpeeksi lujaa läpäistääkseen FEFCO-9 testin. Myöhemmässä vaiheessa huomattiin, että jos liiman viskoottisuus on 30-60 sekunnin välillä liimasaumasta jää kosteampi verrattuna 60-150 sekunnin viskoottisuudessa oleviin. Tällöin liiman koostumus on nestemmäisempää, joten se tarvitsee enemmän lämpöenergiaa haihduttaakseen veden pois ja rakentaakseen vetysidoksia.

Toisessa testissä selvitettiin märkälujan vaikutus lopputulokseen. Liiman valmistuksessa käytettiin vain yhtä reseptiä, jossa muuttujana oli vain märkälujan määrä, jota vaihdeltiin 0-2,3% välillä. Testiliuskat, jotka eivät sisältäneet märkälujia komponenttejä sinnittelivät altaassa vain 7 minuuttia 20 sekuntia, kun taas lisäämällä liiman kokonaismäärään 0,76% märkälujaa saatiin FEFCO-9 standardi suoritetuksi. 0,76% sisältäneet testiliuskat todettiin yhtä pitäviksi kuin 1,50% ja 2,30% märkälujaa sisältävät ja testit keskeytettiin neljän päivän kuluttua. 0,76% märkälujaa sisältänyttä liimaseosta käytettiin hyväksi myöhemmässä vaiheessa, koska haluttiin tietää onko se myös yhtä pitävä, kun liiman koostumus on laihaa.

Kolmannessa testissä muuttujana oli tärkkelys, jossa tärkkelyksen määrää vaihdeltiin 27,3-37,5% välillä. Märkälujan määrä testissä oli 0,76%. Tärkkelys vaikuttaa liiman viskoottisuuteen todella paljon, kuvassa 22 on näytetty Stein Hall viskometrillä saadut liiman viskoottisuus arvot. 10% tärkkelyksen lisäys liiman reseptissä saa viskoottisuuden nostettua 31 sekunnista 286 sekuntiin. Testin läpäisseet koesauvat sisälsivät 34,1% ja 37,5% tärkkiä. 27,3% ja 30,7% sisältäneet kestivät altaassa vain muutamia tunteja. Kun liima on todella viskoottista se ei muodosta tarpeeksi vetysidoksia.

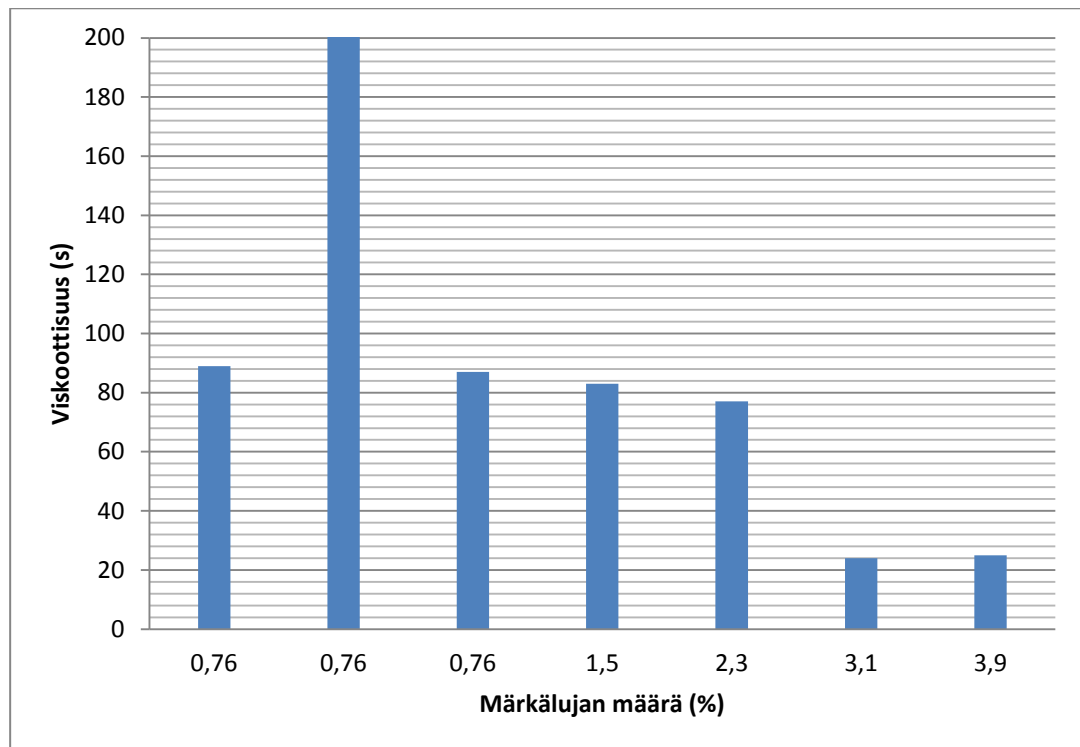


**Kuva 22. Tärkkelyksen vaikutus liiman viskoottisuuteen**

Viimeisessä osassa haluttiin saada selville märkälujan vaikutus, kun liiman koostumus on laihaa. Tärkkelyksen määrä testissä oli 27,3% ja märkälujan määrää vaihdeltiin 1,6-3,9% välillä. Testissä saatiin selville, pystyykö märkäluja sitoutumaan kuituihin ja vahvistamaan vetysidoksia. Tuloksista päätellen märkäluja pystyy vaikuttamaan ja vahvistamaan liiman vetysidoksia, kun tärkkelyksen määrä on pieni, mutta sen hyötysuhde on silloin todella pieni, koska märkälujan määrää pitää kolminkertaistaa perusreseptissä olevaan määrään nähden, jolla läpäistiin FEFCO-9. Kun liiman viskoottisuus on 60-90 sekunnin välissä 0,76% märkälujaa riittää FEFCO-9 standardin suoritukseen.

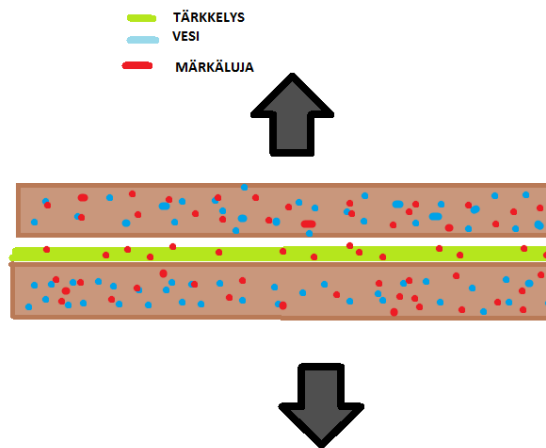
Testin kannalta parhaan liimaseoksen viskoottisuus tulisi olla 80-100 sekunnin välillä, koska silloin märkälujan määrää voidaan pienentää ja siitä saadaan parempi

hyötysuhde. Kuvassa 23 on esitetty kolmen päivän testin suorittaneiden viskoositeetti ja märkälujan määrä. Märkäluja toimii myös hyvin myös korkea viskoottisissa liimaseoksissa, mutta liiman levitys on todella haastavaa ja liima kuivuu nopeammin verrattuna viskoottisiin liimoihin.

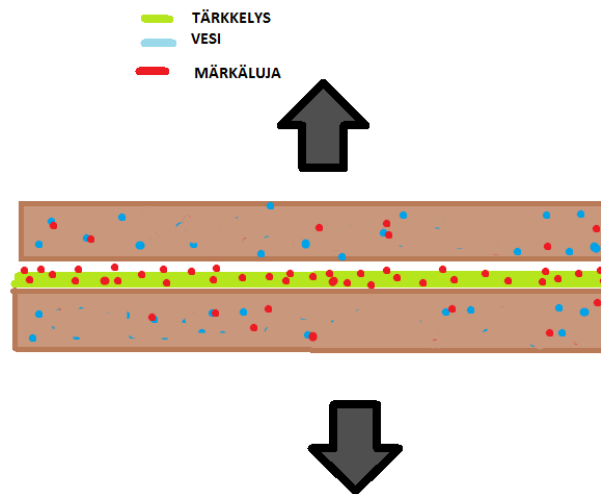


**Kuva 23. Kolmen päivän FEFCO-9 testin suorittaneiden viskoottisuus ja märkälujan määrä**

Kun laimaa liimaa kuivatetaan, seoksessa olevasta märkälujasta suurin osa kulkeutuu veden mukana pois. Kuvassa 24 on havainnollistettu veden ja märkälujan imeytymistä aaltopahvin sisälle kuivausvaiheessa. Vesi ja märkäluja imeytyvät aaltopahvin sisälle, jonne märkäluja lopulta jää. Märkäluja ei haihdu veden mukana ilmaan.



**Kuva 24. Liiman ollessa laihaa märkälujia imeytyy veden mukana pahvin sisälle ja jää sinne**



**Kuva 25. Märkälujan kulkeutuminen kun liima on viskoottista**

Kuvassa 25 on havainnollistettu kuivausvaiheessa veden ja märkälujan kulkeutumista, kun liimalla on oikea viskoottisuus. Pahvin sisälle kulkeutuu murto-osa märkälujasta ja loput sitoutuvat vahvistamaan vetysidoksia.

Lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat myös näytteen lepoaika huoneenlämmössä, sekä kuivatusaika. Jos kuivatusaika on todella pitkä, kuivumista tapahtuu enemmän ja märkälujaa imeytyy sen mukana enemmän. Kuivauksen jälkeen liiman tulisi olla vielä

hieman kosteaa ja kuivua kokonaan vasta huoneen lämmössä. Huoneenlämmössä vesi haihtuu hitaammin pois, eikä näin ollen siirrä niin paljoa märkälujaa mukanaan.



## LÄHTEET

Aaltopahvi, Käyttäjän käsikirja, Internet-sivut <http://aaltopahvi.fi/> Viitattu 5.3.2013

Hiltunen Eero, Paperi ja Kartonki oppimateriaali, 2013. Internet-sivu [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/puu-0.2020/luennot/Puu-0\\_2020\\_paperi\\_ja\\_kartonki.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/puu-0.2020/luennot/Puu-0_2020_paperi_ja_kartonki.pdf) Viitattu 1.4.2013

Eilliam O. Kroeschell, Bonding on corrugator, the myth of penetration, Tappi Journal, 1990. Internet-sivu <http://www.tappi.org/Downloads/unsorted/UNTITLED---90feb069pdf.aspx> Viitattu 4.4.2013

FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations, Internet-sivu [http://www.fao.org/index\\_en.htm](http://www.fao.org/index_en.htm) Viitattu 11.4.2013

FEFCO:n standardit, FEFCO-organisation, Internet-sivu [http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/import\\_anglais.pdf](http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/import_anglais.pdf) Viitattu 3.3.2013

FEFCO-organisation, kotisivut, <http://www.fefco.org/> Viitattu 3.3.2013

FEFCO:n vuosikertomus. [http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/Fefco\\_AnnualEvaluation\\_2011.pdf](http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/Fefco_AnnualEvaluation_2011.pdf) Viitattu 25.4.2013

Helena Moring, puolikemiallesen sellu- ja kartonkitehtaan lietteen hyötykäyttö, Lahti tiede- ja yrityspuisto OY, 2012 Suora linkki [http://ymparisto.lahtisbp.fi/easydata/customers/ymparisto/files/mabu\\_5124/mabu\\_puolikemiallisen\\_sellu\\_ja\\_kartonkitehtaan\\_lietteen\\_hyotykaytto\\_2012.pdf](http://ymparisto.lahtisbp.fi/easydata/customers/ymparisto/files/mabu_5124/mabu_puolikemiallisen_sellu_ja_kartonkitehtaan_lietteen_hyotykaytto_2012.pdf) Viitattu 15.3.2013

Global Cardboard Box & Container Manufacturing: Market Research Report, Ibis-world internet sivu. <http://www.ibisworld.com/industry/global/global-cardboard-box-container-manufacturing.html> Viitattu 12.4.2013

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) European Commission, 2001, internet-sivu [http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/ppm\\_bref\\_1201.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/ppm_bref_1201.pdf) Viitattu 20.3.2013

Internetix opinnot, Ari Kiviniemi, Otavan Opisto, Internet-sivu [http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ke/ke1/5\\_bio-organainen\\_kemia/5.2hiilihydraatit?C:D=hNkS.hfZI&m:selres=hNkS.hfZI](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ke/ke1/5_bio-organainen_kemia/5.2hiilihydraatit?C:D=hNkS.hfZI&m:selres=hNkS.hfZI) Viitattu 5.3.2013

Nils-Erik Virkola, Puumassan valmistus, Teknillisten tieteiden akatemia, 1983

Osmo Laakso, Taisto Rintamäki. Aaltopahvin valmistus ja jalostus, kemiallinen metsäteollisuus 4, Suomen Aaltopahviyhdistys RY, opetushallitus, Jyväskylä, 2000

Petri Nousiainen, Polymeerit, 2010. Internet-sivu

[https://docs.google.com/document/d/1K\\_UZH8iteVPbWwdhcBu1WpShd0tsYqMXWnGDL5KthXA/edit?sort=name&layout=list&pid=0B7bb9QBbM9KlMzFhZGI2ZTEtOGZkYS00ZTJlLtk2N2YtODgyMzA0ZDgwYjE2&cindex=5&pli=1](https://docs.google.com/document/d/1K_UZH8iteVPbWwdhcBu1WpShd0tsYqMXWnGDL5KthXA/edit?sort=name&layout=list&pid=0B7bb9QBbM9KlMzFhZGI2ZTEtOGZkYS00ZTJlLtk2N2YtODgyMzA0ZDgwYjE2&cindex=5&pli=1) Viitattu

4.4.2013

Savon Sellu, yrityksen koti-sivut, <http://www.powerflute.fi/> Viitattu 1.3.2013

Sähköpostikeskustelu. Jukka Silvennoinen, Tuotepäällikkö, Savon Sellu, 2.3-20.4.2013

Suomen Aaltopahviyhdistys ry, Tietoa aaltopahvista ja aaltopahvipakkauksista, Power Point-esitys, 2009

Ulla Häggblom-Ahnger, Pekka Komulainen. Paperin ja kartongin valmistus, kemiallinen metsäteollisuus 2, opetushallitus, Helsinki, 2000

W.Z Thayer, C.E Thomas, Analysis of glue lines in corrugated boards, Tappi Journal, Vol. 54, No.11 pp. 1853-1858, 1971

Yleinen liimaresepti

1.100g tärkkiä dekanteriin

2.Lisätään tärkin joukkoon 280g vettä

→Sekoitus 38 asteen lämpötilassa 1500rpm 40min

3.Lisätään vielä 10g vettä

4.Lisätään 0-10g märkälujakomponentteja

→Sekoitus 38 asteen lämpötilassa 1500rpm 5min

Viskositeetin tavoite on n 122sekuntia.

Liimareseptiä tullaan muuttamaan testin edetessä.

**FEFCO TESTING METHOD N° 9**

July 1985 (improved version of 1968)

*Determination of the water resistance of the glue bond of corrugated fibreboard by immersion***1 Scope**

To define the apparatus and test procedure used to determine the water resistance of the glue lines of corrugated board. This method is applicable to all types of corrugated board for which a high degree of bond strength is required to resist the influence of wet conditions.

**2 References**

FEFCO testing method n° 1 : sampling procedure

EN 20 187 : paper, board and pulps - Standard atmosphere for conditioning and testing and procedure for monitoring the atmosphere and conditioning of samples.

**3 Principle**

The water resistance of the glue of corrugated fibreboard is expressed by the length of time during which a predetermined combination of glue lines, immersed in water, resists the pull of a suspended weight in the plane vertical axis of the board, at a right angle to the glue lines.

**4 Apparatus**

**4.1.** A water tank, preferably glass, for easy observation, large enough for the free suspension of the required number of test specimens. The depth of the tank shall be at least 25 cm. The bottom of a glass tank may be lined with a rubber sheet to prevent damage.

**4.2.** A number of rods or bars with hooks. These to be placed across the tank for suspension of the test specimens.  
Means for proper identification of test specimens shall be provided.

**4.3.** A soft rubber stamp to mark the sample corrugated board with outlines and other details for cutting the test specimens. The design to be imprinted on the corrugated board is shown in fig. 1.

**4.4.** A knife with a sharp, thin blade.

**4.5.** A straight edge.

**4.6.** Punch pliers.

**4.7.** Eyelet pliers, and eyelets.

**4.8.** A 250 g copper weight for each test specimen.  
Each of these weights shall be provided with a hook.

**4.9.** A time control device.

**5 Sampling**

Sample in accordance with FEFCO Testing Method N° 1.

**6 Conditioning**

The samples shall be conditioned in accordance with EN 20 187 (i.e.  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $50\% \pm 2\%$  r.h.).

**7 Preparation of test pieces****7.1. Sample**

Individual samples must be large enough to permit the cutting of test pieces, size  $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  by  $150\text{ mm}$  approximately, with the flutes at right angles to the length of the specimen. Except for routine production control tests, the corrugated board to be tested should generally be at least three days old to allow it to develop its water resistance properties. The time will be dependent on temperature and adhesive formulation.

**7.2. Test specimens**

The test specimens shall be conditioned in accordance with EN 20 187 (i.e.  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $50\% \pm 2\%$  r.h.).

To guide the operator in preparing the test pieces, the corrugated board sample will be marked by means of the rubber stamp (clause 4.3.).

The specimens to be tested are picked at least 50 mm away from a crease, edges and finger lines and also from small local defects in the paper. Not more than one specimen should be cut out of an area approx.  $1/2\text{m}^2$ .

Unless otherwise specified test pieces have to be free from all irregularities or damage, especially by water, mechanical stress (e.g. finger lines).

Two holes shall be punched into the pieces, their centres being at a distance of 10 mm from either end and side, respectively.

Eyelets are inserted into these holes and clenched.

Alternatively a suitable clamp may be used to suspend the test specimen from the rod. A cooper clamp may be used at the lower end to suspend the weight. This clamp and any additional copper weight shall not exceed a total of 250 g.

### 7.3. Determination of the glue lines to be tested

The shearing stress is concentrated on five lines to be tested within zone M (see fig. 1). These glue lines shall be isolated by cuts through the components as may be necessary to achieve this object, as exemplified in fig. 2 for single wall, fig. 3 for double wall board.

## 8 Procedure

Five test pieces of each set of glue lines to be tested (standard number), with their ends loaded with weight (see 4.8), are suspended in the tank, which be filled with neutral water (distilled, deionized, demineralized, hydrant) that all M zones (clause 7.3.) of the specimens remain immersed 25 mm below the surface of the water throughout the test period. Care should be taken to avoid the inclusion of air bubbles in the flutes.

Individual test pieces will not be used to test more than one set of five glue lines between the selected lines and its fluting.

### 8.1. Test temperature

The temperature of the water shall be  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### 8.2. Timing

The immersed specimens will be checked for failure at 24 hour or such shorter intervals as may be suitable. An automatic time control device is recommendable.

### 8.3. Failure

Failure of a specimen is shown by complete separation of the five bonds on the same liner side, which will cause the weight to drop.

## 9 Test report

The test report will contain the following details :

- 1 Date and place of testing
- 2 Description and identification of the product tested
- 3 Identification of each specimen tested
- 4 Number of specimens tested and number of failures at each set glue lines at the chosen test intervals. State intervals.
- 5 Statement whether after rupture :
  - \* fibres adhere to the glue
  - \* glue predominates on the fibre surface.
- 6 Details of any deviation from this testing method
- 7 Any other information which may assist in the interpretation of the test results.

## 10 Interpretation of the test results

The board can be considered as « water resistant » :

- if for every test specimen the time of resistance is at least 24 hours without a dropped weight (standard : 5 test pieces of each cutting type).
- should there be one early failure per sample type within a period of 24 hours under load, the test will have to be repeated with the corresponding sample type with the full number of specimens (standard : 5 test pieces).

In this case the test will also be considered as successful, if in the repeated test all specimens remain resistant for at least 24 hours.

- in all other cases (more than one early failure per sample below 24 hours in the first test round, as well as one more early failure in the repeated testing), then the test will be considered as not successful.

Sporadic weak spots in the paper being technically unavoidable, are not taken into consideration in respect to moisture-proof bonding. (Sporadic impurities do not influence the acceptance but systematical ones in the paper may be a reason for rejection).

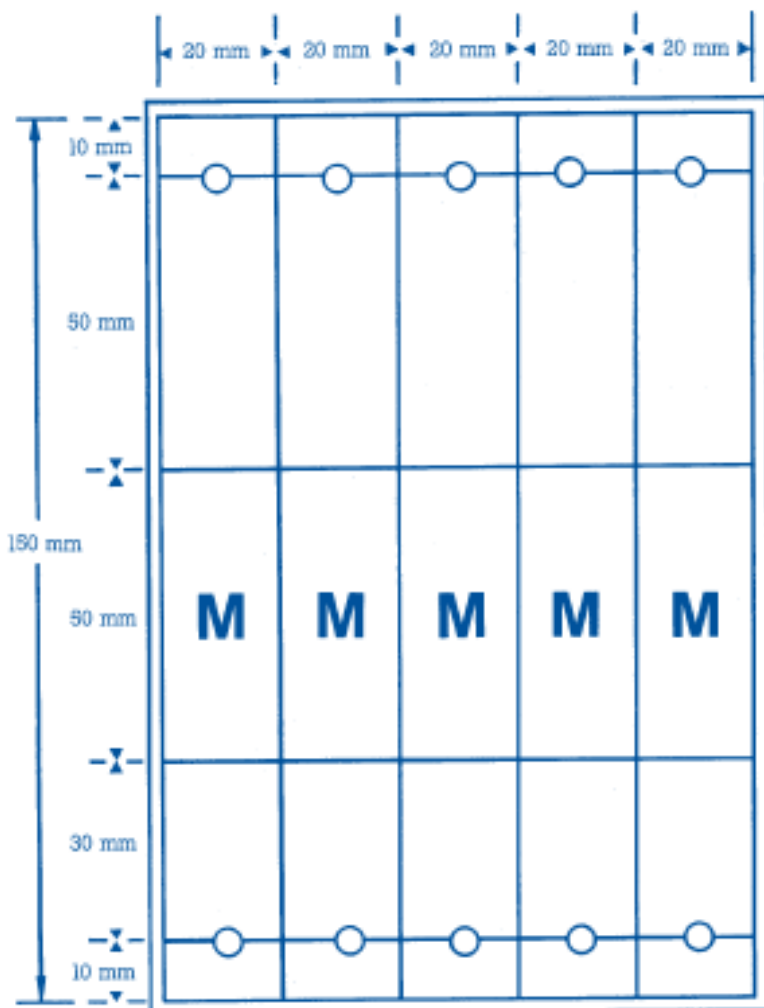
## 11 Notes

**Water resistance of the manufacturer's joint of a box.** (Only valid for joints, made with an adhesive or taping band, which can be reactivated with water).

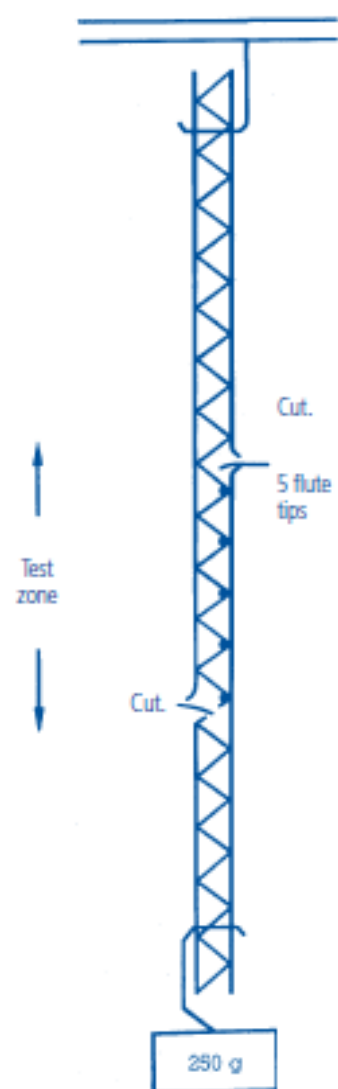
This is also a very good method to test the water resistance of the manufacturer's joint of a box. In this case 2 cm wide strip cuts across the manufacturer's joint are tested according the prescribed method for ordinary board specimens. The whole glued zone has to remain under water. The evaluation of test results has to be done as described in clause 10.

**FEFCO TESTING METHOD N° 9**

**Diagrams**



*Fig. 1  
Rubber stamp*



*Fig. 2  
Diagram showing suspension  
arrangement and typical cuts  
in s.w. board*

Diagrams showing typical cuts in D.W. board to isolate the five glue lines, to be tested

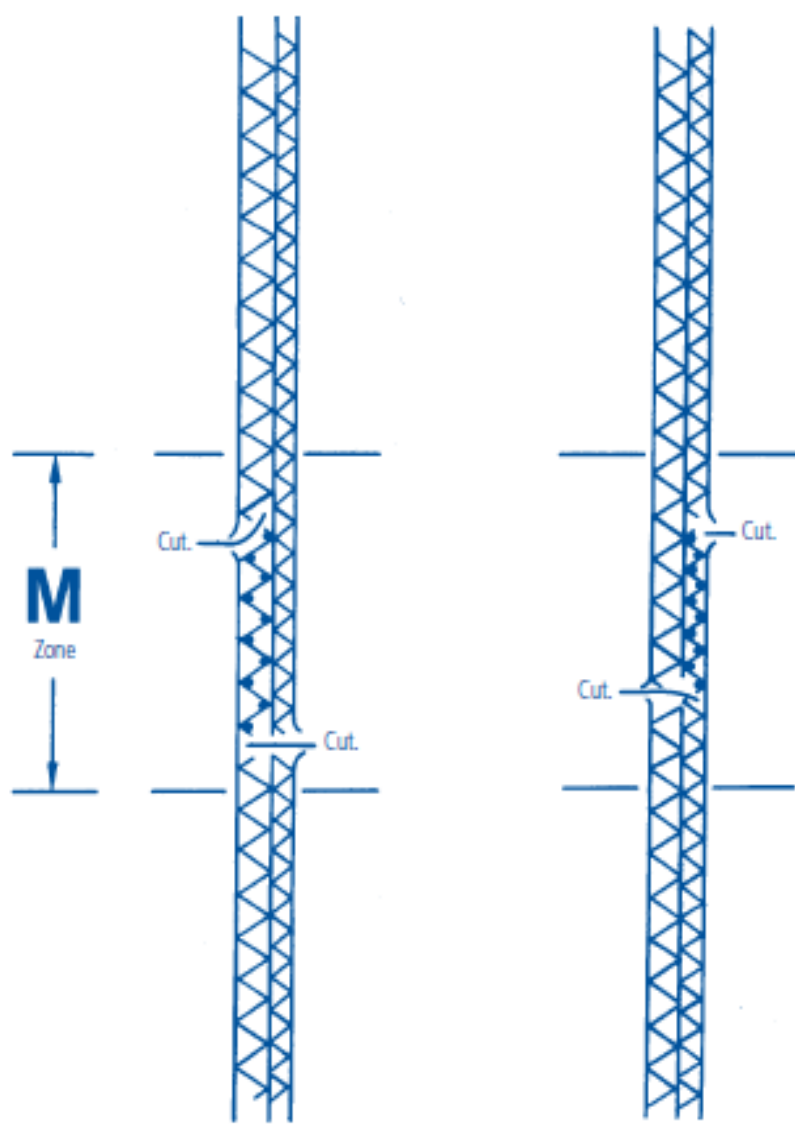


Fig 3  
"A" "A"  
flute/liner flute/centre

Fig 4  
"B" "B"  
flute/liner flute/centre



**The Certificate of the Stein Hall Cup**

The calibration of the SteinHall cup is carried out with a mixture of Brook field Viscosity Standard oils of type "Fluid 100" and "Fluid 500" in a ratio of 1:1 [w/w] The desired flow out time at 20°C is set to 55seconds ± 2 seconds per 100ml measured with a calibrated stopwatch.

The calibration of the flow out nozzle is carried out on both sides of the plate in which the nozzle is placed.

The SH-cup should be calibrated once a year!

Please keep this device clean in order to be able to measure the viscosity precisely!

The calibration data:

Viscosity of oil Fluid 100 : 98.5 mPa\*s

Viscosity of oil Fluid 500 : 485 mPa\*s

Number of the cup : DK 4

Calibration date : 04.02.03

Flow out time at side 1 : 54 sec

Flow out time at side 2 : 55 sec

Customer :

AC IS-Krefeld, 04.02.03

Signature

:



**LIITE 2(6).**

**Monisivuinen liite**