

# PUUTISLEPOHJUSTUKSEN VAIKUTUS LÄMPÖKÄSITELLYN PUUN ADHEESIOON LIIMASAUMOISSA

Anssi Koivumäki

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Anssi Koivumäki	
Työn nimi Puutislepohjustuksen vaikutus lämpökäsitellyn puun adheesioon liimasaumoissa	
Päiväys 13.4.2012	Sivumäärä/Liitteet 47/0
Ohjaaja(t) Risto Pitkänen, tuntiopettaja, Mauno Multamäki, Projekti-insinööri	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lunawood Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli tutkia puutislepohjustuksen vaikutusta lämpökäsitellyn puun adheesioon liimasaumoissa. Projekti on osa Tekesin rahoittamaa Purate 2 –hanketta, jossa pyritään kehittämään puutuoteteollisuuden eri osa-alueita Pohjois-Savossa. Työ tehtiin yhteistyössä Lunawood Oy:n kanssa ja tukea ja tietämystä saatiin Savonia-ammattikorkeakoulun ja Bio Mater –keskuksen eri toimihenkilöiltä.</p> <p>Työssä tutkittiin, mikä vaikutus puutislepohjusteella on lämpöpuun liimasaumoihin. Työssä vertailtiin myös eri levitysmäärällä puutislepohjustettuja, käsittelemättömiä sekä HMR–käsiteltyjä lämpöpuukoekappaleita. Koekappaleille tehtiin liimasauman vetolujuus- ja keittokokeita sekä kontaktikulmamittauksia ja mikroskooppitutkimuksia. Liimasauman leikkauslujuus määritettiin liimasauman vetolujuuskokeella standardin EN 314-1 mukaan ja liimasauman sään- ja kosteudenkesto keittokokeella soveltaen standardia EN 391. Veden imeytymistä tutkittiin kontaktikulmamittauksella ja liiman imeytymistä sekä liimasauman rakennetta mikroskooppilla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville, että puutislepohjustus parantaa liimasauman lujuutta kuivissa olosuhteissa, mutta ei sään- ja kosteudenkestoja. Puutislepohjustus paransi lämpöpuun mekaanista adheesiota, jonka vuoksi kuivissa olosuhteissa liimasauman lujuus kasvoi.</p>	
Avainsanat puutislepohjustus, lämpöpuu, liimasauma	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Wood Technology			
Author(s) Anssi Koivumäki			
Title of Thesis The Effect of Wood Distillate Primer to Adhesion of Thermo-Wood in Bond Lines			
Date	13 April 2012	Pages/Appendices	47/0
Supervisor(s) Mr Risto Pitkänen, Full-time Teacher, Mr Mauno Multamäki, Project Engineer			
Project/Partners Lunawood Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this project was to research the effect of wood distillate primer to adhesion of thermo - wood in bond lines. This project was a part of the PURATE 2 - project, sponsored by Tekes. The aim of this project is to develop different field of woodworking industry in Northern Savo. The project was made in co-operation with Lunawood Ltd and support and knowledge was provided by the employees of Savonia University of Applied Sciences and the Bio-Mater center.</p> <p>In this project it was researched how wood distillate primer effects to bond lines of thermo-wood. Also different testpieces were compared: testpieces treated with different amounts of distillate, non treated testpieces and HMR - treated testpieces. The test pieces were examined with microscope and tested by tensile tests, boiling tests and contact angle measurements. The shear strength of the bond line were defined by tensile test according to the EN 314-1 standard and weather and moisture resistance by boiling test applied to the standard EN 391. Water absorption was examined by contact angle measurement. Absorption of glue and the structure of the bond line were examined with microscope.</p> <p>As a result of the tests it was found out that the wood distillate primer improves the strength of thermo-woods bond line in dry conditions but not the resistance of weather and moisture. Wood distillate primer improved the mechanic adhesion of thermo-wood which was the reason for stronger bond lines in dry conditions.</p>			
Keywords wood distillate primer, thermo – wood, bond line			
public			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄMPÖPUU .....	7
2.1	Lämpökäsittelyprosessi .....	7
2.1.1	Lämpötilan nosto .....	7
2.1.2	Varsinainen lämpökäsittely .....	8
2.1.3	Lämpötilan lasku ja kosteuden tasaannutus .....	8
2.2	Käsittelyn vaikutukset puuhun .....	9
2.3	Lämpöpuun tuoteluokat .....	10
3	PUUN TISLAUS .....	12
3.1	Yleistä puun tislauksesta .....	12
3.2	Puutisleen valmistaminen .....	12
4	PUUN POHJUSTUS.....	16
4.1	Pohjustusmenetelmät .....	16
4.2	Puutislepohjustus .....	17
4.3	HMR – pohjustus .....	17
5	PUUN LIIMAUS.....	18
5.1	Liimausprosessi.....	18
5.2	Liimasauman muodostuminen .....	19
5.3	Liima-aineet ja niiden käyttökohteet.....	20
5.4	Ongelmat lämpöpuun liimauksessa .....	21
6	KOESUUNNITELMA.....	23
7	KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS .....	25
8	KOEKAPPALEIDEN TESTAUS.....	29
8.1	Liimasauman vetolujuus .....	29
8.2	Kontaktikulmamittaus.....	30
8.3	Keittokoe .....	31
8.4	Mikroskooppitutkimus .....	32
9	TULOKSET .....	34
9.1	Vetolujuuskoe.....	34
9.1.1	Keittämättömien koekappaleiden vetolujuus.....	34
9.1.2	Keitettyjen koekappaleiden vetolujuus .....	36
9.2	Kontaktikulmamittaus.....	39
9.3	Mikroskooppitutkimus .....	40
10	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	45
11	KEHITYSEHDOTUKSET .....	46
	LÄHTEET.....	47

## 1 JOHDANTO

Lämpöpuu on varteenotettava vaihtoehto, jos halutaan ekologista ja säästä kestävästä materiaalia. Lämpöpuu on itsessään melko tuore keksintö puuteollisuudessa, jonka vuoksi mahdollisista jatkojalostusmenetelmistä ei vielä hyvin paljoa tiedetä. Lämpöpuun valmistusprosessissa puun ominaisuudet kuitenkin muuttuvat melko rajusti, mikä heikentää puun lujuutta ja vaikeuttaa mm. puun työstö-, liimaus-, pintakäsittelyominaisuuksia. Näihin ongelmiin tulisi löytää ratkaisuja, jotta lämpöpuuta voitaisiin käyttää yhä monipuolisemmin.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on pääosin tutkia puutisleestä tehdyn pohjusteen vaikutusta lämpökäsitellyn puun adheesioon liimasaumoissa. Työssä on otettu vertailun vuoksi mukaan myös amerikkalaisvalmisteinen pohjuste HMR (Hydroksi metyyli resorsinoli). Projekti on osa Tekesin rahoittamaa PURATE 2 -hanketta, jonka tarkoituksena on kehittää puutuoteteollisuuden eri osa-alueita Pohjois-Savossa ja tässä tapauksessa lämpöpuun jatkojalostamista. Pääyhteistyökumppanina työssä toimii Lunawood Oy ja tukea ja tietämystä aiheeseen saadaan Savonia – ammattikorkeakoulun sekä BioMater -keskuksen eri toimihenkilöiltä.

Työssä pyritään selvittämään, onko puutislepohjusteilla mahdollista parantaa liimasauman ominaisuuksia lämpöpuussa. Koekappaleille tehdään liimasauman leikkauslujuus- ja keittotestejä, kontaktikulmamittauksia sekä tutkitaan mikroskoopilla liimasauman rakennetta ja liiman imeytymistä puuhun. Puutisleillä pohjustetuille kappaleille vertailukohtana toimii käsittelemättömät sekä HMR-käsitellyt lämpöpuukappaleet.

Liimasauman leikkauslujuus määritetään standardin EN 314-1 mukaan ja liimasauman olosuhteiden kestävyys keittotestillä soveltaen standardia EN 391. Veden imeytymistä tutkitaan kontaktikulmamittarilla ja liiman imeytymistä mikroskoopilla. Testikappaleet saadaan Lunawoodilta. Testit ja siihen liittyvät toimenpiteet toteutetaan Savonia-ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa sekä Itä-Suomen yliopiston Kuopion kampuksella.

## 2 LÄMPÖPUU

Lämpöpuu on lämmön ja vesihöyryn avulla modifioitua puutavaraa. Käsittely antaa puulle ulkonäön lisäksi ominaisuuksia, jotka parantavat mm. kosteuselämistä, lahonkestoaa ja lämmöneristävyttä. Lämpöpuu onkin juuri ominaisuuksiensa vuoksi suosittua paikoissa, joissa vaaditaan säänkestoaa ja ulkonäköä. Usein käyttökohteena on mm. ulkoverhous, terassit, puutarharakenteet ja saunat. Lämpökäsittely puu on hyvä vaihtoehto vaikkapa painekyllästetyn puun tilalle. Lämpökäsittelyssä ei käytetä lainkaan ympäristöä kuormittavia aineita, joita esim. painekyllästyksessä käytetään. Sen vuoksi se on myös todella ekologinen tuote. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

### 2.1 Lämpökäsittelyprosessi

Lämpökäsittelyn puun nykyaikainen valmistus perustuu VTT:n kehittämään Thermo-wood - lämpökäsittelymenetelmään. Prosessi perustuu ainoastaan lämmön ja vesihöyryn käyttöön eikä siinä käytetä mitään ylimääräisiä kemikaaleja. Prosessiin sisältyy kolme eri vaihetta: Lämpötilan nosto, varsinainen lämpökäsittely sekä kosteuden tasaaminen ja lämpötilan lasku. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

#### 2.1.1 Lämpötilan nosto

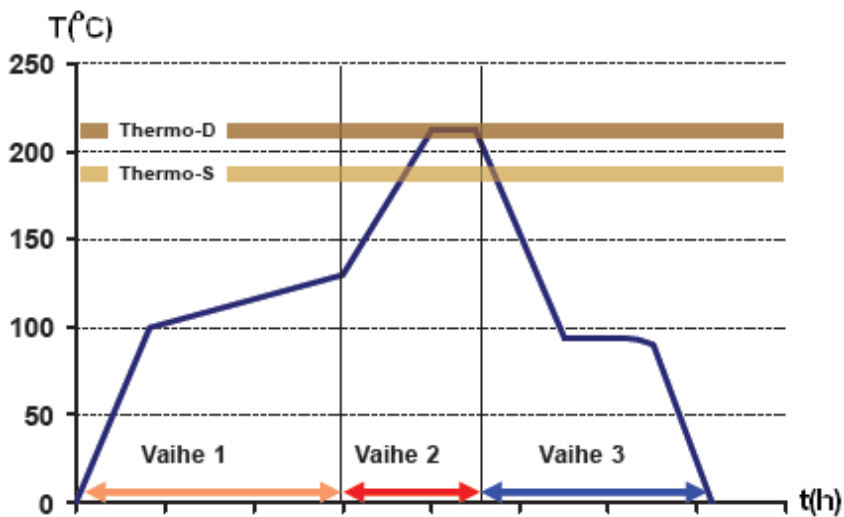
Aluksi puun lämpötilaa kohotetaan 100 °C:seen ja siitä hitaammin 130 °C:seen. Puutavara voi olla ennen käsittelyä joko tuoretta tai esikuivattua. Vesihöyryä käytetään prosessissa suojakaasuna. Vesihöyryn avulla voidaan vaikuttaa puussa tapahtuviin kemiallisiin muutoksiin sekä estää kuivumisen ja lämpötilaerojen aiheuttamia halkeiluja ja muodonmuutoksia. Puun kuivuminen on rajua, sillä puun kosteusprosentti käsittelyssä painuu lähes nolnaan. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

### 2.1.2 Varsinainen lämpökäsittely

Varsinaisessa lämpökäsittelyssä lämpötilaa nostetaan yli 160 °C:n. Lämpötilan suuruudella voidaan määrittää käsittelyaste, joka puulle halutaan. Käsittelyasteen mukainen lämpötila pidetään vakiona 2–4 tuntia. Vesihöyryllä vaikutetaan tässä vaiheessa puussa tapahtuviin kemiallisiin muutoksiin sekä estetään puun syttyminen. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

### 2.1.3 Lämpötilan lasku ja kosteuden tasaannutus

Lämpötilaa lasketaan niin, että käsittelytilaan sumutetaan vettä. Vesi sitoo itseensä lämpöä ja samalla tasaannuttaa puun kosteutta. Puun lopullinen kosteusprosentti määräytyy käyttökohteen mukaan, mutta kosteus on tasaannutuksen jälkeen yleensä yli 4 %. Kuviossa 1 näkyy lämpökäsittelyä kuvaava kaavio. (Hyvä tietää lämpöpuusta)



KUVIO 1. Lämpökäsittelyn vaihteita kuvaava kaavio



## 2.2 Käsittelyn vaikutukset puuhun

Lämpökäsittely muuttaa puun ominaisuuksia sekä positiivisesti että negatiivisesti. Puun tiheys, eli tilavuuspaino, laskee lämpökäsittelyssä. Tiheyden laskeminen johtuu lämmön aiheuttamista rakenteellisista muutoksista, sekä puun sisältämien eri aineiden ja yhdisteiden haihtumisesta. Tiheyden pienentymisellä on todettu olevan vahva yhteys myös puun lujuuden heikkenemiseen. Lämpökäsittely heikentää hieman lujuutta, mutta puun kevetessä käsittelyssä painon suhde lujuuteen pysyy lähes muuttumattomana. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

Taivutuslujuus ei heikkene oleellisesti, jos käsittelylämpötila jää alle 200 °C:n, mutta on suositeltavaa, että lämpökäsiteltyä puuta ei käytettäisi suuren rasituksen alaisena olevissa rakenteissa. Kuitenkin selkein taivutuslujuuden heikkeneminen johtuu usein puun oksaisuudesta ja etenkin kuivista tai kuolleista oksista, koska oksan kohdalla puuainees muuttuu syyrakenteeltaan tiheämmäksi sekä vastakkaissuuntaiseksi. Se voi kuollessaan tai kuivuessaan jopa irrota ympäröivästä puuaineksesta. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

Puristuslujuutta lämpökäsittely ei pienennä. Puristuslujuus voi jopa hieman parantua, mutta suuren kuormituksen alaisena lämpöpuulla ei ole käsittelemättömään puuhun verrattuna niin hyvää elastisuutta. Leikkauslujuuden ei ole myöskään todettu heikenevän merkittävästi lämpökäsittelyssä, mutta halkaisulujuus voi korkealla käsittelyasteella pienentyä jopa 30–40 %. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

Lämpökäsittelyn hyvinä puolina on mm. mittapysyvyyden, säänkeston ja biologisen kestävyuden parantuminen, veden imeytymisen heikkeneminen, tasapainokosteuden pieneneminen sekä alhaisempi lämmönjohtavuus käsittelemättömään puuhun verrattuna. Tasapainokosteus ja mittapysyvyys tangentin suuntaisessa turpoamisessa voi olla jopa 50 % parempi. Säänkesto paranee myös huomattavasti, koska lämpöpuun kosteuspitoisuus on vain noin puolet käsittelemättömään puuhun verrattuna. UV-säteilyn aiheuttamat halkeamat pienevät, mutta alkuperäisen värin haalistumisen estämiseksi tulee käyttää UV-suoja-aineita. Veden hylkivyyden vähentää lahoamista, mutta estää jossain määrin myös erilaisten käsittelyaineiden imeytymistä puuhun. Tämän vuoksi onkin meneillään erilaisia projekteja, jotta lämpöpuun adheesiota ja muita ominaisuuksia saataisiin parannettua. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

### 2.3 Lämpöpuun tuoteluokat

Lämpöpuun luokituksissa on neljä eri käsittelylämpötilaan pohjautuvaa luokkaa, jossa luokka 1 on käsittelylämpötilaltaan suurin ja siinä puun fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat eniten. Maksimi käsittelylämpötila voi olla luokassa 1 jopa 250 °C. Luokissa ylöspäin mentäessä käsittely ei ole niin rajua, eikä fysikaalisien ominaisuuksien muuttuminen niin voimakasta. Luokka 4:n maksimi lämpötila on n.180 °C:n tuntumassa. (Isomäki, Koponen, Nummela & Suomi-Lindberg. 2002, 85-87)

Yleisimmät Suomessa käytetyt tuoteluokat ovat Thermo - S ja Thermo - D. Ne ovat Suomen lämpöpuuyhdistys Ry:n yhteisesti sovitut luokat. Ne pohjautuvat myös käsittelylämpötilan suuruuteen. Thermo - S soveltuu enemmänkin sisäkäyttöön tai paikkaan, jossa ei ole suoranaista säärasitusta. Thermo - D:ssä lämpökäsittely on rajumpi ja näin ollen myös sään- ja lahonkesto on parempi. Kovempi lämpö toisaalta myös heikentää puun lujuutta ja työstettävyyttä. Havu- ja lehtipuille on oma lämpökäsittelyasteisiin perustuva luokituksensa. Tuoteluokan avulla voidaan määrittää, mihin käyttökohteisiin tuote sopii. Taulukossa 1 on selvitetty mihin käyttökohteisiin yleisimmät tuoteluokat havu- ja lehtipuilla parhaiten soveltuvat. (Hyvä tietää lämpöpuusta)

TAULUKKO 1. Havu- ja lehtipuiden soveltuvuus eri käyttökohteissa  
(Hyvä tietää lämpöpuusta)

Lehtipuut	
Thermo-S Käsittelylämpötila: 185 °C +/- 3 °C	Thermo-D Käsittelylämpötila: 200 °C +/- 3 °C
<ul style="list-style-type: none"> <li>- sisustukset</li> <li>- kiintokalusteet</li> <li>- huonekalut</li> <li>- lattiat</li> <li>- saunan rakenteet</li> <li>- puutarhakalusteet</li> </ul>	Käyttökohteet kuten luokassa Thermo-S. Haluttaessa tummempaa värisävyä käytetään luokan Thermo-D tuotteita.
Havupuut	
Thermo-S Käsittelylämpötila: 190 °C +/- 3 °C	Thermo-D Käsittelylämpötila: 212 °C +/- 3 °C
<ul style="list-style-type: none"> <li>- rakennekomponentit</li> <li>- sisustukset ja kiintokalusteet, kuivat tilat</li> <li>- huonekalut</li> <li>- puutarhakalusteet</li> <li>- saunan lauteet</li> <li>- lattiat</li> <li>- ikkuna- ja ovirakenteet</li> <li>- ulkoverhous</li> <li>- ikkunaluukut</li> <li>- räystäslaudat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ulkoverhous</li> <li>- räystäslaudat</li> <li>- ulko-ovet</li> <li>- ikkunaluukut</li> <li>- ympäristörakenteet</li> <li>- sauna- ja kylpyhuone-sisustukset</li> <li>- lattiat</li> <li>- terassit</li> <li>- puutarhakalusteet</li> </ul>

### 3 PUUN TISLAUS

#### 3.1 Yleistä puun tislauksesta

Puutisleet ovat puun luontaisesti sisältämiä aineita, jotka on puuta tislaamalla saatu vapautettua puuaineesta. Puutisle on puun hiillon yhteydessä kondensoitunutta nestettä, joka voidaan jaotella joko tervaksi tai tervavedeksi. Tervavesi sisältää pääasiassa metanolia, etikkahappoa, asetonia sekä vesiliukoista B-tervaa. (Kainuun terva).

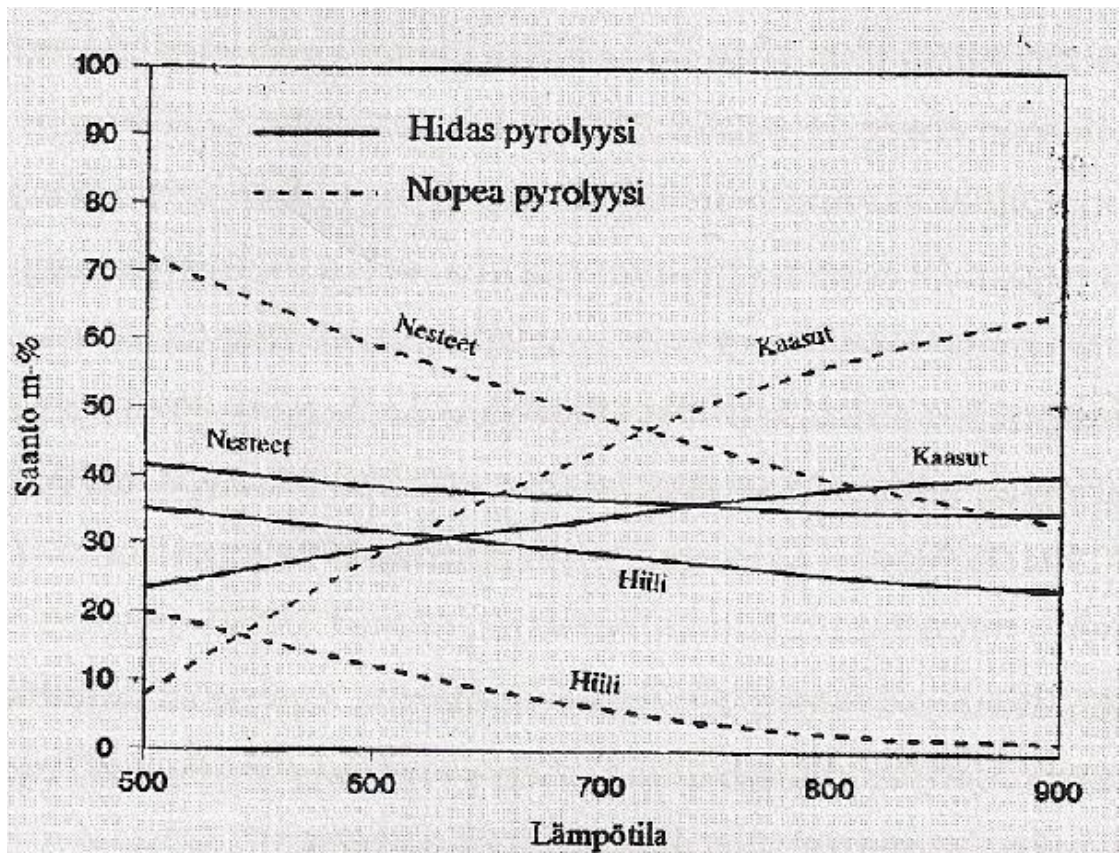
Puun pääasiallisena tislausmenetelmänä teollisuudessa toimii kuivatislaus. Kuivatislauksesta voidaan käyttää myös nimeä pyrolyysi tai destruktiivinen tislaus. Kuivatislaus on kemiallinen reaktio, jossa kiinteä puuainees hajotetaan kuumentamalla sitä niin, ettei happi pääse vaikuttamaan prosessiin. Prosessissa aines fraktioidaan, eli tislataan sellaisenaan, eikä siinä käytetä esim. vettä apuna. Kuivatislaus ei kuitenkaan ole yksikköoperaatio, eli fysikaalinen reaktio, vaan kyseessä on voimakkaasti pelkistävä kemiallinen reaktio. Kuivatislaus rikkoo estereitä ja amideja sekä pilkkoo makromolekyylejä komponentteihinsa. (Kainuun terva).

#### 3.2 Puutisleen valmistaminen

Puuhiilen valmistuksessa vapautuvien tisleiden laatuun ja määrään voidaan vaikuttaa monilla eri tavoilla, kuten puulajilla, puun kosteudella, lämmitysnopeudella ja hiillon loppulämpötilalla. Loppulämpötilalla on suurempi merkitys, jos itse hiillytys tapahtuu matalassa lämpötilassa. Hitaasta lehtipuun hiillosta lopputuotteista noin kolmannes on hiiltä (taulukko 2). Nopeampi lämmitys vapauttaa enemmän kaasuja ja nestemäisiä tuotteita. Jos pyritään mahdollisimman suureen hiilisaantoon, on pyrolyysi tehtävä mahdollisimman hitaasti. Kuvassa 1 on kuvattu hitaan ja nopean pyrolyysin saantoja lämpötilan suhteen. (Rissanen, Selenius, Kuopanportti & Lappalainen 2006, 5 – 13)

TAULUKKO 2. lehtipuun hitaan hiillon lopputuotteita (Rissanen ym. 2006, 6)

	%	
Hiiltä	35	
Vettä	25	
Hiilidioksidia	11	
hiilimonoksidia	4	
Etikkahappoa	6	
Metanolia	1,5	
Tervaa	17,5	



KUVA 1. Hitaan ja nopean pyrolyysin saantoja lämpötilan suhteen (Kuvakaappaus Rissanen, Selenius, Kuopanpotti & Lappalainen 2006, 7)

Puun hiilto jakautuu neljään eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa puu kuivuu, jolloin vesi höyrystyy puusta. Voimakkaimmillaan puun kuivuminen on 130 °C:ssa, mutta kuivumista tapahtuu aina 200 °C:een asti. Oikeanlainen kuivaus on perusta onnistuneelle hiillostumiselle. Kosteaa puuta heikentää hiillon saantoa ja lopputuotteiden laatua. (Rissanen ym, 2006, 5-13)

Toisessa vaiheessa puuaines alkaa hajoamaan. Hemiselluloosa hajoaa parhaiten 200-260 °C:n alueella. Kyseisissä lämpötiloissa vapautuu enemmän palamattomia kaasuja, kuin tervaa. Tässä lämpötila-alueella vapautuvien yhdisteiden, kuten hiilidioksidin, hiilimonoksidin, hajoamisveden sekä puuhapon kiehumispisteet ovat niin alhaiset, että ne alkavat höyrystyä. Puuhappo koostuu mm. asetonista, metanolista ja etikkahaposta. (Rissanen ym, 2006, 5-13)

Hiillon kolmannessa vaiheessa ligniini ja selluloosa alkaa hajota eksotermisesti noin 270 °C:ssa. Eksotermisessä vaiheessa puun hiilto tapahtuu oikeastaan puun hajoamisesta syntyvän energian avulla. Kolmannen vaiheen hiillon huippu on noin 320 °C:een tietämällä, mutta jatkuu aina 350 °C:een asti. Hajoamistuotteina tässä vaiheessa poistuu mm. hiilimonoksidia, vetyä, hiilivetykaasuja, pyrolyysiöljyä ja tervaa. Havupuita hiillettäessä puusta vapautuu edelleen puuhappoa ja tärpättiä. (Rissanen ym, 2006, 5-13)

Halutun hiililytislämpötilan saavuttamisen jälkeen aloitetaan hiillon neljäs ja viimeinen vaihe, eli jäähdyttäminen. Taulukossa 3 näkyy hiillon erittely tuotteiden koostumuksen suhteessa lämpötilaan. (Rissanen ym, 2006, 5-13)

TAULUKKO 3. Hitaan pyrolyysin vaiheet. (Rissanen ym, 2006, 8)

<b>Hiillon vaihe</b>	Veden haihtu- minen	Happi- pitoisia kaasuja	Hiilivety- vaiheen alku	Hiilivety vaihe	Ha- joamis- vaihe	Vetyvaihe
<b>Lämpötila °C</b>	150- 200	200-280	280-380	380-500	500-700	700-900
<b>Saanto %</b>	90	80-70	70-38	38-30	30-26	26-20
<b>Hiilipitoisuus</b>	60	68	78	81	89	91
<b>Kaasun koos- tumus til-%</b>	68,0	66,5	35,5	31,5	12,2	0,5
<b>CO<sub>2</sub></b>	30,0	30,0	20,5	12,3	24,6	9,7
<b>CO</b>	0,0	0,2	6,5	7,5	42,7	80,9
<b>H<sub>2</sub></b>	2,0	3,3	37,5	48,7	20,5	8,9
<b>Hiilivedyt</b>						
<b>Kaasun lämpöarvo MJ/m<sup>3</sup></b>	4,6	5	16,4	20	15,2	13
<b>kondensoituva osa</b>	Vesi	Vesi, etik- kahappo	Etikka- happo, metanoli, kevyt terva	raskas terva	tervat, parafiinit	hyvin pieni
<b>Kaasun määrä</b>	hyvin pieni	pieni	suuri	suuri	Pieni	hyvin pieni

## 4 PUUN POHJUSTUS

Puu on raaka-aine, joka on heterogeeninen ja elää aina jossain määrin sään, kosteuden ja lämpötilan mukaan. Puuaines on myös altis erilaisille rasitteille, kuten kosteudelle, säälle, lämpötilaeroille sekä homeelle ja tuholaishyönteisille. Nämä rasitteet aiheuttavat puuhun sekä fysikaalisia että visuaalisia muutoksia, jonka vuoksi puuta tulee käsitellä sen käyttökohteen mukaisella tavalla.

Puuta voidaan suojata sekä puun ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa esim. puun pohjusteaineilla. Puupinnan pohjustuksella on useita eri tarkoituksia, kuten homeen-, sinistämisen- ja lahonesto, pintamaalin tarttuvuuden ja imeytyvyyden tasoittaminen, sekä kosteuselämisen ja halkeilun vähentäminen. Pohjustus tulisi tehdä mahdollisimman pian puun sahaus- tai höyläyksen jälkeen, jotta pohjuste imeytyisi kunnolla puuhun. Jos pintakäsittely tehdään vasta yli 10 kk jälkeen pohjustuksesta, kannattaa pohjuste sävyttää puun väriseksi, jotta UV-säteily ei pääsisi liiaksi vaikuttamaan puuhun. (Tikkurila)

### 4.1 Pohjustusmenetelmät

Puuta pohjustetaan sekä teollisesti tehtaalla, että työmaalla käsin. Teollista pohjustusta suositaan yleensä suuremmissa kohteissa kuten puujulkisivuissa ja aidoissa. Teollinen pohjustus tehdään aina optimiolosuhteissa heti sahaus-, tai höyläysprosessin jälkeen, jonka vuoksi se on yleensä parempi vaihtoehto lopputuloksen, mutta myös ajan säästämisen kannalta. (Tikkurila)

Pohjustus voidaan kuitenkin tehdä myös käsin. Käsin pohjustus voidaan tehdä mm. tela-, pensseli- tai ruiskulevityksellä. Käsin pohjustus tehdään yleensä pienempiin kohteisiin, kuten terasseihin, patioihin ja ulkokalusteisiin. Käsin tehtäessäkin pohjustus olisi hyvä tehdä mahdollisimman pian sahaus- tai höyläyksen jälkeen kuivalle puupinnalle. (Tikkurila)



## 4.2 Puutislepohjustus

Tämän työn tarkoitus on tutkia puutislepohjustuksen vaikutusta lämpöpuussa ja eritoten sen vaikutusta lämpöpuun adheesioon liimasaumoissa. Yleisestä pohjustuksen tarkoituksesta poiketen sillä ei pyritä adheesioon lisäksi juuri muita ominaisuuksia parantamaan.

Puutisle sisältää puun luontaisesti sisältämiä aineita, joita puuta tislamalla puusta on saatu irti. Lämpökäsittelyllä on osittain samoja vaikutuksia kuin tislauksellakin. Puusta haihtuu erilaisia yhdisteitä, jotka vaikuttavat mm. puun liimaukseen ja pintakäsittelyyn. Tässä työssä puutislepohjusteella pyritään imeyttämään takaisin niitä aineita jotka vaikuttavat liimauksen onnistumiseen. Puutislepohjustus tehdään käsin joko penseli- tai telalevityksellä, koska teollista tuotantolinjaa kyseiselle menetelmälle ei vielä ole kehitetty. (Rissanen ym, 2006, 5-13)

## 4.3 HMR – pohjustus

Viimeisin yhteistyössä U.S. Forest Product Laboratory:n, Virginia Techin ja Mainen yliopiston kanssa tehty tutkimus keskittyi puun liimasauman kestävyuden parantamiseen HMR (hydroksi metyyli resorsinoli)–pohjusteen avulla. HMR-pohjuste oli herättänyt kiinnostusta puun liimaukseen liittyen jo 1990-luvun puolivälistä lähtien. Mielenkiinto heräsi, koska HMR:llä oli todistettu olevan puun liimauksessa käytettävien hart-sikovetteisten liimojen säänkestoon positiivinen vaikutus. (Gardner, Frazier & Christiansen, 2006, 93-94)

Lämpökovetteisia liimoja, joiden säänkesto-ominaisuudet paranivat, oli EPI (emulsio polymeeri isosyanaatti), pDMI (polymeerinen difenyyylimetaanidi-isosyanaatti) ja PRF - hartsi (fenoli-resorsinoli-formaldehydi). Puun ja kuituvahvisteisten muovien liimauksessa parannusta tapahtui epoksi-, PRF-hartsi ja vinyyliesteri-liimoilla. (Gardner ym. 2006, 93-94)

## 5 PUUN LIIMAUS

Liimasauma on liitos, jossa kaksi kappaletta on sidottu kiinteästi toisiinsa. Liimaus on nykypäivänä yksi varteenotettavimmista liitostavoista puutuoteteollisuudessa. Puuta on kuitenkin liimattu jo tuhansia vuosia. Vanhimmat liimausaineet koostuivat ns. luonnon liimoista jotka sisälsivät suurimmaksi osaksi vain valkuaisaineita. Ne kestivät hyvissä olosuhteissa moitteetta, mutta eivät juurikaan sää- ja mikro - organismirasitteita. (opetushallitus)

Nykyään luonnon liimat korvataan lähes poikkeuksetta keinotekoisesti valmistetuilla synteettisillä muoviliimoilla. Ne ovat eritoten teknisiltä ominaisuuksiltaan, kuten sauman kestävyydeltään, kovettumisnopeudeltaan ja monikäyttöisyydeltään luonnon liimoja parempia, mutta myös hinnaltaan huokeampia. (opetushallitus)

### 5.1 Liimausprosessi

Monista limatyypeistä huolimatta itse liimausprosessi on suurimmilla osilla liimoista samankaltainen. Se alkaa liiman valmistuksesta ja sekoituksesta. Liimalla on sen tyyppistä riippuen sekoituksen jälkeen tietty aika, jossa se tulee levittää kappaleiden pinnalle. (opetushallitus)

Liiman levityksen ja ladonnan aloituksen välistä aikaa kutsutaan avoimeksi ladonta - ajaksi. Kappaleiden vastakkain ladonnan jälkeen alkaa ns. suljettu ladonta-aika, jolloin kappaleiden liimasaumat ovat suljettuina ilman puristusta. (opetushallitus)

Liimattavat kappaleet siirretään tämän jälkeen puristimeen. Puristus voidaan tehdä joko lämmittämällä tai ilman lämmitystä. Puristuksen tarkoitus on saada kappaleet mahdollisimman lähelle toisiaan ja liimasauma mahdollisimman symmetriseksi joka kohdasta. Puristuksessa muuttujina on puristusaika, -paine ja lämpötila. Puristusvaiheessa liiman tulee kovettua niin, että kappale ei enää muuta muotoaan vaikka puristin aukaistaan. Yleensä liima kuitenkin kovettuu lopullisesti vasta jälkikovettumisen myötä, kun puristus ei enää vaikuta kappaleeseen. Jälkikovettuminen voi joillain liimatyypeillä olla jopa useita vuorokausia. (opetushallitus)

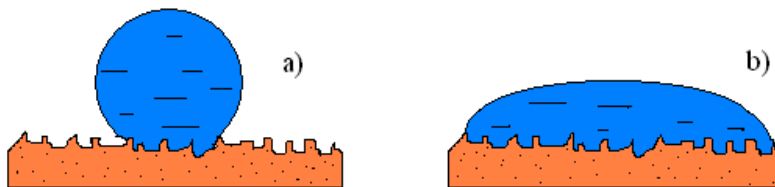
Kaikki prosessin osa-alueet tulee olla kunnossa, jotta liimaus onnistuu oikein. Liiman valmistajalla onkin yleensä tarkat ohjeet, jossa selvitetään mm. liiman ominaisuudet, liimausohjeet, käyttökohteet sekä käyttöturvallisuustiedotteet. (opetushallitus)

## 5.2 Liimasauman muodostuminen

Ensimmäinen oikeanlaisen liimasauman edellytyksistä on se, että liima levityksen jälkeen sitoutuu puuhun oikealla tavalla. Toisin sanoen adheesion tulee olla riittävä. Adheesiolla tarkoitetaan kahden eri aineen välistä vetovoimaa. Adheesiota on kahden tyyppistä; mekaanista ja spesifistä adheesiota. (Puu Proffa)

Mekaanisessa adheesiossa sideaine tunkeutuu puun huokoisuuden vuoksi puun sisään ja pääsee näin muodostamaan sauman puun pintaa syvemmälle. Edellytyksenä mekaaniselle adheesiolle on se, että liima-aine on viskositeetiltaan oikeanlainen. Huokoisemmilla puulajeilla viskositeetti saa olla hieman korkeampi kuin tiheillä puulajeilla. Mekaanista adheesiota voidaan testata ns. kontaktikulmamittauksella. Jos puupinnalle levitetty pisara ei levity tasaisesti, vaan jää pisaramaiseksi palloksi, on imeytyminen liian vähäistä. Pisan levittyessä tasaisesti puun pinnalle, on imeytyminen riittävä. Kuvassa 2 on havainnollistettu kontaktikulmamittauksen toteutusta. (Puu Proffa)

Spesifisessä adheesiossa puun ja liima-aineen molekyylit muodostavat keskenään sidoksia, jolloin puu ja liima-aine sitoutuvat ns. valenssivoimien avulla kiinteästi toisiinsa. Valenssivoima muodostuu kun eri aineiden molekyylit ovat niin lähellä toisiinsa, että niiden elektroniverhot peittävät toisensa. (Puu Proffa)



KUVA 2. Kontaktikulmamittaus, jossa; a) imeytyminen liian vähäistä ja b) oikeanlainen imeytyminen

Adheesion lisäksi liimasauman koheesion, eli sisäisen lujuuden tulisi olla riittävä, jotta se ei heikentäisi liaksi liimatun rakenteen kokonaislujuutta. Liimasauman tulisi myös pystyä kovettuttuaan elämään mm. puun kosteuselämisen mukaan. Muuten rakenne

muuttaa muotoaan ja voi jopa rikkoontua. Liimasauman tulee kestää käyttökohteessaan vanhentumatta ja ominaisuuksiaan menettämättä. Siksi tulee valita oikeanlainen liima oikeanlaiseen käyttökohteeseen. (Puu Proffa)

### 5.3 Liima-aineet ja niiden käyttökohteet

Liima-aineita on sekä kemiallisesti, että fysikaalisesti kovettuvia. Fysikaalisesti kovettuvan liima-aineen molekyylit saadaan liuotinaineella puun sisään. Tämän jälkeen molekyylit kiinnittyvät, eli polymerisoituvat toisiinsa ja liuotinaineen poistuessa solukosta jäljelle jää vain kiinteä liimasauma. (Puu Proffa)

Liuotinaineen imeyttämistä ja haihduttamista kutsutaan dispersioksi. Saumat ovat kuitenkin melko heikkoja kestämään erilaisia rasituksia, kuten vettä tai erilaisia liuotinaineita. Saumat myös meltoutuvat tai jopa sulavat liiallisen lämpötilan vaikutuksesta. Fysikaalisesti kovettuvat liimat ovat pääosin dispersioliimoja. Taulukossa 4 on esimerkkejä fysikaalisesti kovettuvista liimoista. (Puu Proffa)

TAULUKKO 4. Fysikaalisesti sitovat liimat

Fysikaalisesti sitovat liimat		
Luonnon aineet	Synteettiset aineet	
Proteiini	Polyvinyyliasetaatti	
Gluteiini	Polyvinyylieetteri	
Kaseiini	Polyakrylaatti	
Tärkkelys	Polyeteeni	
Selluloosaeetteri	Polystyreeni	
Luonnonkumi	Synteettinen kumi	

Kemiallisesti kovettuvat liimat muodostavat kovettuessaan molekyyliketjuja jotka prosessin edetessä muotoutuvat molekyyliverkoista suuriksi avaruusmolekyyleiksi. Avaruusmolekyylit eivät lämmitessään enää meltoudu, vaan ne hajoavat yleensä riittävän kovissa lämpötiloissa alkuaineisiinsa. Kemiallisesti kovettuvat liimat kestävät näin ollen suurempia lämpötiloja. Ne kestävät paremmin myös sää-, kosteus- ja usein myös mekaanisia rasituksia. Taulukossa 5 on esimerkkejä kemiallisesti sitovista liimoista. (Puu Proffa)

## TAULUKKO 5. Kemiallisesti sitovat liimat

(Puu Proffa)

<b>Kemiallisesti sitovat liimat</b>	
<b>Formaldehydi-pohjaiset</b>	<b>Muut</b>
Ureaharts	Epoksiharts
Melamiiniharts	Polyesteriharts
Fenoliharts	Polyuretaaniharts
Resorsinoliharts	

## 5.4 Ongelmat lämpöpuun liimauksessa

Lämpökäsittely puu tuo omat haasteensa liimaukseen. Lämpökäsittelyn vuoksi puu-aineen rakenne ja koostumus muuttuvat niin, että käsittelemättömän puun liimauksessa käytettäviä ohjeita ei voida aina suoraan soveltaa lämpöpuun liimauksessa.

Liimattavuus riippuu paljolti käsittelyluokasta. Mitä korkeampi lämpökäsittelyaste on, sitä heikompi liimasaumasta tulee. Etenkin leikkauslujuus pienenee. Suurin syy liimasauman heikkenemiseen on kuitenkin puun lujuuden heikkenemisessä. Liimasauma ei anna periksi, vaan puu murtuu siitä kohden, missä liimasauman raja kulkee. Puustamurtumisprosentti liimasaumassa voi olla jopa 100, mikä kertoo, että puu on antanut liimasauman sijasta periksi. (Thermo Wood käsikirja)

Vesiohenteisten liimojen käyttö ei myöskään ole suositeltavaa. Se on mahdollista, mutta lämpökäsittely heikentää veden imeytymistä puuhun ja näin ollen vaikeuttaa prosessia. Jotkut liimat, kuten yleisin puun liimaukseen käytetty PVAc-liiman (polyvinyyliasetaatti) kovettuminen perustuu siihen, että vesi imeytyy puuhun. PVAc-liimoilla liimattaessa tulee veden määrä liima-aineessa pitää melko pienenä. EPI-liima on myös vesiohenteinen, mutta se on miedosti emäksinen ja sillä on pitkä kuivumisaika, jonka vuoksi EPI-liima tunkeutuu melko tehokkaasti myös lämpökäsittelyyn puuhun. Vesiohenteisellä liimalla liimattaessa puun- ja ilmankosteuden tulisi olla oikeanlainen, jotta liimausprosessi onnistuu. (Thermo Wood käsikirja)

Kemiallisesti sitovat MUF ja FF -liimat toimivat lämpöpuun liimauksessa verraten hyvin, mutta liimasauman lujuus ei siinäkään tapauksessa ole aivan käsittelemättömän puun tasolla. Lämpökäsitellyn puun rakenteen heikentymisen lisäksi käsittely haihduttaa osittain puusta aineita, jotka muutoin reagoivat kemiallisesti liiman ainesosien kanssa. Liimasta riippumatta lämpökäsittelyn luokka vaikuttaa suoraan liimasauman lujuuteen. Mitä rajumpi käsittely on, sitä heikompi liimasaumasta tulee. (Thermo Wood käsikirja)

## 6 KOESUUNNITELMA

Tähän opinnäytetyöhön kuului myös kokeellinen osio, jossa koekappaleille tehtiin erilaisia testejä, kuten liimasauman vetolujuus- ja keittotestejä sekä mikroskooppitutkimus. Ennen koekappaleiden valmistusta tehtiin koesuunnitelma. Koesuunnitelman avulla tiedetään mm. miten paljon koekappaleita tarvitaan, miten ne valmistetaan ja mitä niistä testataan.

Liimasauman vetolujuuskokeessa koekappaleita oli 12 rinnakkaiskappaletta ja keittokokeessa sekä mikroskooppitutkimuksessa 4-6. Ennen koestuksia tehtiin koesuunnitelmataulukko, jonka avulla nähdään kunkin testikappaleen ominaisuudet. Taulukossa 6 näkyy työssä käytetty koesuunnitelmataulukko.

Taulukko 6. Koesuunnitelmataulukko

Koekappale	Pohjuste	pohjusteen määrä (g/m <sup>2</sup> )	liima	Liiman sekoitussuhde	liimamäärä (g/m <sup>2</sup> )	Puristusaine (N/mm <sup>2</sup> )	Puristusaika	Puristuslämpötilä (oC)	Vetolujuus (kN)	Vetopinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Vetolujuus (N/mm <sup>2</sup> )	murtumisprosentti
1.1.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
1.1.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
1.2.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
1.2.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
1.3.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
1.3.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
3.1.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
3.1.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
3.2.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
3.2.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
3.3.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
3.3.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
4.1.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
4.1.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
4.2.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
4.2.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
4.3.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
4.3.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
6.1.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
6.1.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
6.2.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
6.2.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
6.3.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
6.3.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
7.1.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
7.1.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
7.2.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
7.2.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
7.3.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
7.3.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
9.1.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
9.1.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
9.2.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
9.2.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
9.3.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
9.3.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
10.1.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
10.1.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
10.2.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
10.2.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
10.3.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
11.1.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
11.1.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
11.2.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
11.2.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
11.3.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				
11.3.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60				

Vetolujuuskoe suoritettiin standardin 314-1 mukaan. Vetolujuuskokeella pyritään selvittämään liimasauman lujuutta. Liimasaumanvetolujuuskokeessa koekappaleeseen kohdistetaan jännitys ainoastaan liimasauman alueelle, jolloin saadaan selville todellinen liimasauman lujuus. Vetokokeessa määritetään lujuus pinta-alaa kohden ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) sekä puustamurtumisprosentti. Jos kappale murtuu suurimmaksi osaksi puusta, voidaan todeta, että liimasauma kestää vähintään saman kuin puukin.

Keittokokeeseen ei erillistä standardia ole laadittu, mutta siinä pyritään pitkälti selvittämään samaa asiaa kuin delaminointikokeessa, eli ääriolosuhteiden kestävyyttä. Keittokokeessa koekappaleita keitetään veden kiehumispisteen alueella vähintään 4 tuntia. Keittokokeen avulla tutkitaan, miten liimasauma kestää äärimmäisen kovan kosteus- ja lämpörasituksen.

Mikroskooppitutkimuksella tutkitaan, miten liimasauma on muodostunut eri pohjustusmenetelmän saaneilla ja pohjustamattomilla koekappaleilla. Sillä tutkitaan sekä keittämättömät, että keittotestin läpikäyneet koekappaleet.

Kontaktikulmamittauksella selvitetään, miten hyvin vesi imeytyy puuhun. Kontaktikulmamittauksella voidaan tutkia, onko puun adheesio mahdollisesti muuttunut pintakäsittelyn vuoksi niin, että sillä olisi jokin merkitys liimasauman muodostumiselle.



## 7 KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS

Koekappaleet valmistettiin lämpökäsittelystä männystä, jossa käsittelyasteena oli Thermo - D. Thermo - D on käsitelty  $212 \pm 2$  °C lämpötilassa, joka on n. 20 °C Thermo - S luokassa käytettävää lämpötilaa suurempi. Thermo - D on väriltään tummempi ja sen säänkesto ominaisuudet ovat Thermo - S luokkaa paremmat mutta lujuusominaisuudet jonkin verran heikommat.

Koekappaleiden valmistus aloitettiin sahatavaran valinnasta. Sahatavara oli paksuus- ja leveysdimensioiltaan 50 \* 98 mm. Sahatavarasta leikattiin 600 mm pitkiä, mahdollisimman oksattomia koekappaleaihioita yhteensä 11 kpl. Koekappaleet höylättiin ensiksi oikohöylällä kummaltakin lappeeltaan tasaisiksi, jonka jälkeen ne halkaistiin pyörösahalla paksuussuunnassa 20 mm vahvaisiksi kappaleiksi.

HMR:llä ja puutisleellä käsiteltävät kappaleet höylättiin ensiksi oikohöylällä pitkiltä sivuilta kertaalleen ja sen jälkeen tasohöylällä 9 mm vahvaisiksi aihioiksi. Kappale höylättiin kummaltakin lappeeltaan kaksi kertaa, ensiksi 3 mm puoleltaan ja lopuksi 2,5 mm puoleltaan. Liimattavat aihiot olivat lopullisilta dimensioiltaan 600 mm \* 9 mm \* 98 mm.

Höyläyksen jälkeen kappaleet punnittiin, jotta tiedetään kuinka paljon pohjustetta kappaleeseen imeytetään. Ensiksi kolmeen ensimmäiseen aihioon imeytettiin n.100 g/m<sup>2</sup> ± 10 g/m<sup>2</sup> 96 %:sta koivutislettä ja ne numeroitiin luvuin 1.1-3.2. Tisletti levitettiin pensselilevityksellä tasaisesti joka kohtaan ja punnittiin kunnes 100 g/m<sup>2</sup> saavutettiin.

Kappalekohtainen levitysmäärä saatiin laskettua seuraavalla kaavalla;  $100 \text{ g/m}^2 * (0,05 \text{ m} * 0,95 \text{ m}) = 5,88 \text{ g}$ . Eli kussakin kappaleessa tulisi 100 g/m<sup>2</sup> levitysmäärällä olla n. 6 g pohjustetta.

Seuraaviin kolmeen kappaleeseen tislettä pyrittiin levittämään n.  $50 \pm 10 \text{ g/m}^2$ . Tällöin kappalekohtainen levitysmäärä oli puolet edellisestä, eli n. 3 g kussakin kappaleessa. 50 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä olevat kappaleet numeroitiin luvuin 4.1 - 6.2. Taulukossa 7 on esimerkki levitysmäärätaulukosta.

TAULUKKO 7. Puutisleen levitysmäärätaulukko

Koekappaleaihio	Paino ennen käsittelyä (g)	Paino käsittelyn jälkeen (g)	tisleen määrä	Aihion pinta-ala (m <sup>2</sup> )	g/m <sup>2</sup>	Keskiarvo g/m <sup>2</sup>
1.1	241,1	247,6	6,5	0,0588	110,0	106,9
1.2	221,6	227,7	6,1	0,0588	103,7	
2.1	269,7	277,1	7,4	0,0588	125,5	107,0
2.2	246,5	251,7	5,2	0,0588	88,4	
3.1	244,2	249,9	5,7	0,0588	96,4	103,9
3.2	257,8	264,4	6,6	0,0588	111,4	
4.1	216,3	219,7	3,4	0,0588	57,8	58,7
4.2	220,3	223,8	3,5	0,0588	59,5	
5.1	230,1	232,8	2,7	0,0588	45,9	43,4
5.2	232,8	235,2	2,4	0,0588	40,8	
6.1	222,9	227,0	4,1	0,0588	69,7	54,4
6.2	220,4	222,7	2,3	0,0588	39,1	

HMR-pohjustetuille kappaleille levitysmäärä oli  $100 \pm 10$  g/m<sup>2</sup> ja levitys tehtiin samalla menetelmällä kuin puutisleen levitys. HMR-käsitellyt kappaleet numeroitiin luvuin 10.1-11.2. Koekappaleiden annettiin kuivua vuorokauden ajan pohjustuksen jälkeen normaalissa sisäilmassa 23 °C:een lämpötilassa.

Käsitlemättömät lämpöpuukappaleet höylättiin erikseen juuri ennen liimausta, jotta liimaustulos olisi paras mahdollinen. Ne höylättiin 9 mm vahvaisiksi niin, että molemmilta lappeilta höylättiin saman verran pois. Nämä aihiot olivat myös dimensioiltaan 600 mm \* 9 mm \* 98 mm. Kappaleet numeroitiin luvuin 6.1-6.2. Kuvassa 3 näkyy liimaamattomat puutisleellä käsitellyt ja käsitlemättömät aihiot.



KUVA 3. Liimaamattomat puutisleellä käsitellyt ja käsittelemättömät koekappaleaihiot. Kuva Anssi Koivumäki 2012

Tämän jälkeen oli vuorossa aihoiden liimaus. Liimana käytettiin Akzo Nobelin 1247 MUF-, eli melamiiniureaformaldehydi-liimaa ja 2526 kovetetta. Liiman ja kovetteen sekoitus suhde oli 100:30, jossa 100 paino-osaa on liimaa ja 30 paino-osaa kovetettä. Liimamääränä käytettiin 200 g/m<sup>2</sup> ja liiman levityksessä telalevitintä. Kappaleet punnittiin ennen liimausta, jotta tiedettäisiin, miten paljon liimaa kappaleelle levitetään. Liimaus tapahtui yksipuoleisella levityksellä. Yksipuoleisessa levityksessä vastapuolen kappaleelle liima vaikuttaa ensimmäisen kerran vasta suljetussa ladontajassa, jolloin kappaleet ovat ilman puristusta vastakkain. Kappaleet olivat n. 5 minuuttia suljetussa ajassa ennen puristusta.

Puristuksessa käytettiin puristuspuheen lisäksi apuna lämpöä, jonka avulla puristusprosessi nopeutuu huomattavasti. Puristuspuheena Käytettiin 0,8 N/mm<sup>2</sup> ja puristuslämpötilana 60 °C. Puristusaika oli 75 min.

Puristuksen jälkeen valmistettiin koekappaleet. Keittotestiin menevät koekappaleet leikattiin pyörösaahalla 50 mm:n päästä liimatun aihion päästä. Keittokappaleita otettiin 2 kpl kustakin liima-aihiosta ja niiden dimensiot olivat 75 mm \* 98 mm \* 22mm. Kuvassa 4 on esimerkki keittokappaleista. Keittokappaleita valmistettiin yhteensä 22 kpl.



KUVA 4. Keittokappaleita. Kuva Anssi Koivumäki 2012

Liima-aihion loppuosasta valmistettiin vetokappaleet. Liima-aihiot höylättiin ensiksi tasohöylällä 11 mm:n vahvuisiksi aihioiksi. Tämän jälkeen 98 mm \* 400 mm \* 11 mm vahvuiset ahiot halkaistiin pyörösahalla neljäksi 20 mm leveäksi soiroksi. Soirot päätettiin tämän jälkeen 150 mm:n pituisiksi vetokappaleaihioiksi.

Vetokappaleaihioihin leikattiin sirkkelillä urat liimasaumaan asti niin, että urat olivat vastakkaisilla puolilla 14 mm:n päässä toisistaan. Urien ajamisessa käytettiin hyväksi jigä, joka mahdollisti tasalaatuisen työstöjäljen jokaiselle koekappaleelle. Tämän jälkeen koekappaleet olivat valmiita koestuksiin. Kuvassa 5 Näkyy esimerkkejä valmiista vetokappaleista. Vetokappaleita valmistettiin yhteensä 88 kpl



KUVA 5. Vetokappaleita.

Kuva Anssi Koivumäki 2012

## 8 KOEKAPPALEIDEN TESTAUS

### 8.1 Liimasauman vetolujuus

Liimasauman vetolujuus tehtiin standardin SFS EN 314-1 mukaan. Koestukset tehtiin TIRA test 28100 aineenkoestuskoneella (kuva 6).



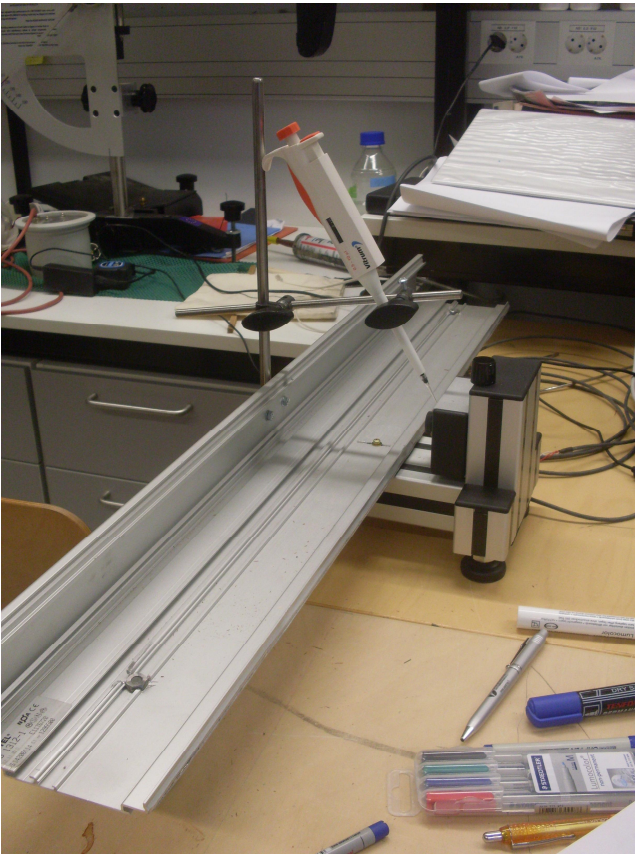
KUVA 6. TIRA test 28100 – aineenkoestuskone.

Kuva Anssi Koivumäki 2012

Testissä koekappaleet aseteltiin molemmista päistään jousikuormitteisten leukojen väliin, niin, että kappale oli samassa linjassa vetolinjaan nähden. Leukojen väli oli 90 mm. Testissä veto kohdistuu liimasaumaan puun syiden suuntaisesti ja vetoaika oli 40–90 s. Vetonopeus oli 0,04 mm/s. Vetoa jatkettiin kunnes vetojännitys putosi 80 %. Tulokset kirjattiin excel – taulukkoon, jossa on selvitettyä puustamurtumisprosentti, vetolujuus (kN) ja laskettu vetolujuus pinta-alayksikköä kohden (N/mm<sup>2</sup>) (Taulukko 8). Vetolujuuskoe tehtiin sekä keitetyille, että keittämättömille koekappaleille.

## 8.2 Kontaktikulmamittaus

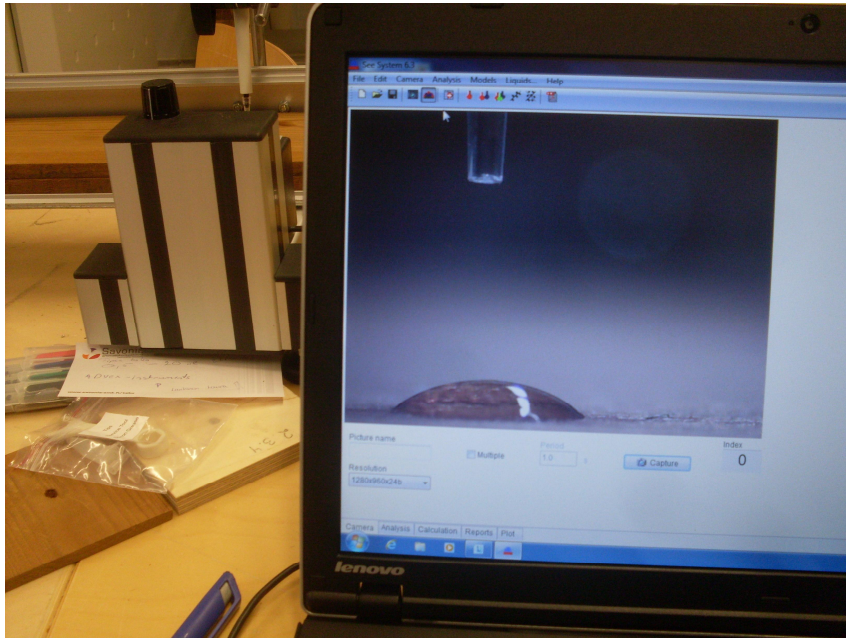
Kontaktikulmamittaukset tehtiin Advex Instrument See System - kontaktikulmamittauslaitteella ja See System for Self – Cleaning 1.0 –ohjelman avulla (kuva 7).



KUVA 7. Advex Instrument See System – kontaktikulmamittauslaite. Kuva Anssi Koivumäki 2012

Kontaktikulmamittauksessa veden imeytyvyysnopeus selvitetään pisaran kulmamuu-  
toksena aikayksikköä kohden. Pisara pudotetaan pipetistä testattavan kappaleen  
pinnalle ja tämän jälkeen kamera ottaa pisarasta kuvia halutun ajan välein. Kyseises-  
sä kokeessa aikavälinä käytettiin 20 sekuntia. Testissä pisaran annettiin imeytyä ku-  
hunkin koekappaleeseen 8 kuvausvälin eli 160 sekunnin ajan.

Kaikki kameran ottamat kuvat tallentuivat tietokoneelle. Jokaiseen kuvaan piirrettiin pisanan ympärille kaari, jonka avulla kulmamuutos voitiin laskea. Kuvassa 8 näkyy tietokoneen näytöllä meneillään oleva kontaktikulmamittaus.



KUVA 8. Kontaktikulmamittaus. Kuva Anssi Koivumäki 2012

### 8.3 Keittokoe

Keittokokeeseen ei standardia ole toistaiseksi olemassa, mutta sitä voidaan soveltaa osittain delaminointitesti EN 391 standardiin. Esimerkiksi keitettävät koekappaleet, lukuun ottamatta vetokappaleita, valmistettiin EN 391 standardin mukaan.

Keittokokeita on tehty mm. useissa Savonia-ammattikorkeakoulun eri projekteissa silloin, kun on haluttu selvittää ääriolosuhteiden kestävyyttä. Kyseinen testausmenetelmä, delaminointitestiin verrattuna, ei vaadi monimutkaista laitteistoa osakseen. Keittotestiin tarvitaan vain riittävän suuri keittoallas, vastus, joka lämmittää ja pitää veden kiehuvana sekä painolevyt, joilla keitettävät kappaleet saadaan pysymään veden pinnan alapuolella. Kuvassa 9 näkyy keittokokeessa käytetty keittoallas.



KUVA 9. Keittokoeallas. Kuva: Anssi Koivumäki 2012

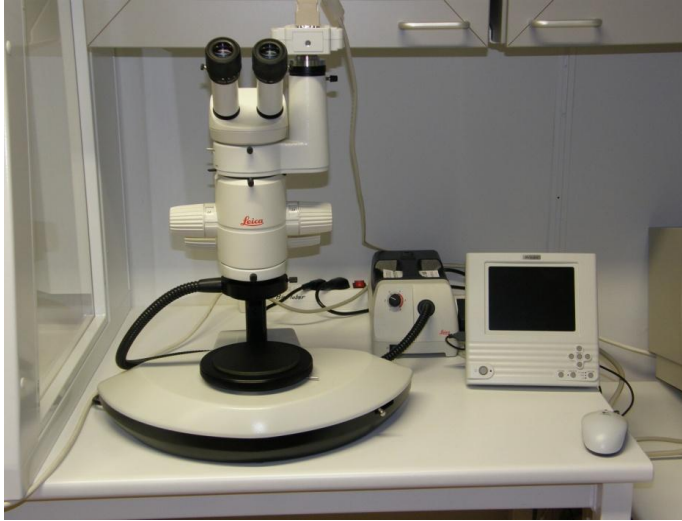
Koekappaleita keitetään ensiksi 4 tuntia kerrallaan niin, että vesi on kokoajan kiehuva. Keiton jälkeen kappaleita kuivattiin kuivausuunissa 24 tuntia 103 °C:n lämpötilassa ilman suhteellisen kosteuden ollessa n. 5 % ja ilman virtauksen n. 3 m/s.

Vetokappaleita keitettiin ainoastaan 4 tuntia, koska ne olivat varsinaisia keittokoe-kappaleita huomattavasti pienempiä. Varsinaisia keittotestikappaleita keitettiin yhteensä 8 tuntia, koska huomattavia muutoksia koekappaleissa ei 4 tunnin keittotestin jälkeen tapahtunut.

#### 8.4 Mikroskooppitutkimus

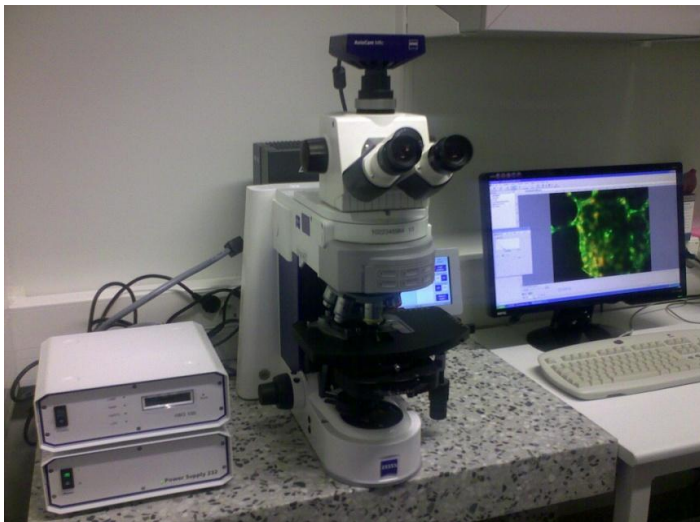
Mikroskooppitutkimus tehtiin Kuopion yliopistossa Bio Mater -keskuksen toimitiloissa. Kokeissa käytettiin kahta mikroskooppityyppiä. Leica MZ75 (kuva 10) on perinteinen stereomikroskooppi, jolla otettiin liimasaumasta isolta alalta yleiskuva. Zeiss Axio Imager M2 –mikroskoopilla kuvattiin (kuva 11) ultraviolettivaloheijasteen avulla tarkemmat ja pienemmällä mittakaavalla olevat kuvat.





KUVA 10. Leica MZ75 -mikroskooppi.

Kuva Anssi Koivumäki 2012



KUVA 11. Zeiss Axio Imager M2 -mikroskooppi.

Kuva Anssi Koivumäki 2012

## 9 TULOKSET

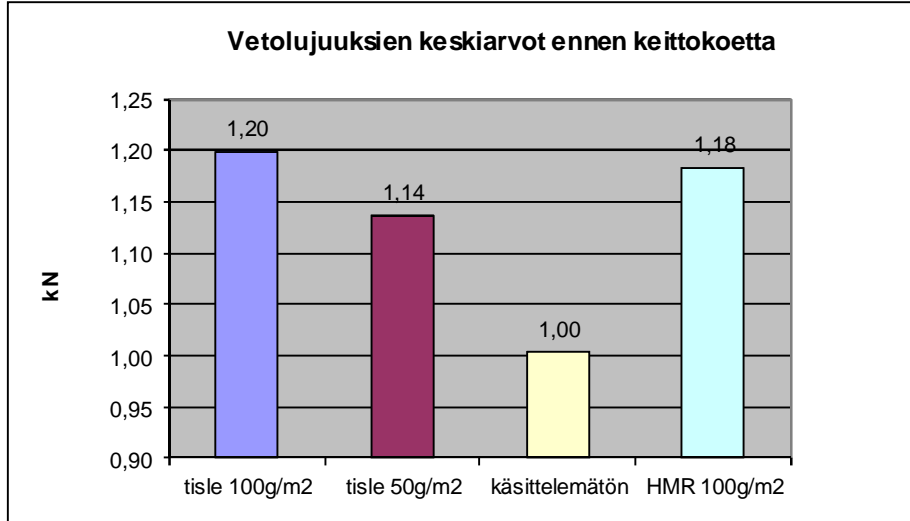
## 9.1 Vetolujuuskoe

## 9.1.1 Keittämättömien koekappaleiden vetolujuus

Taulukkoon 8 on kirjattuna keittämättömien vetokappaleiden lähtötiedot, vetolujuudet, vetolujuudet pinta-alaa kohden ja puustamurtumisprosentti. Taulukosta ei juuri johdonmukaisia eroavaisuuksia pysty havaitsemaan, mutta kuvaajaksi muutettuna erot ovat selkeämpiä. Kuviossa 2 on pylväsdiagrammi vetolujuuksien keskiarvoista ennen keittokoetta.

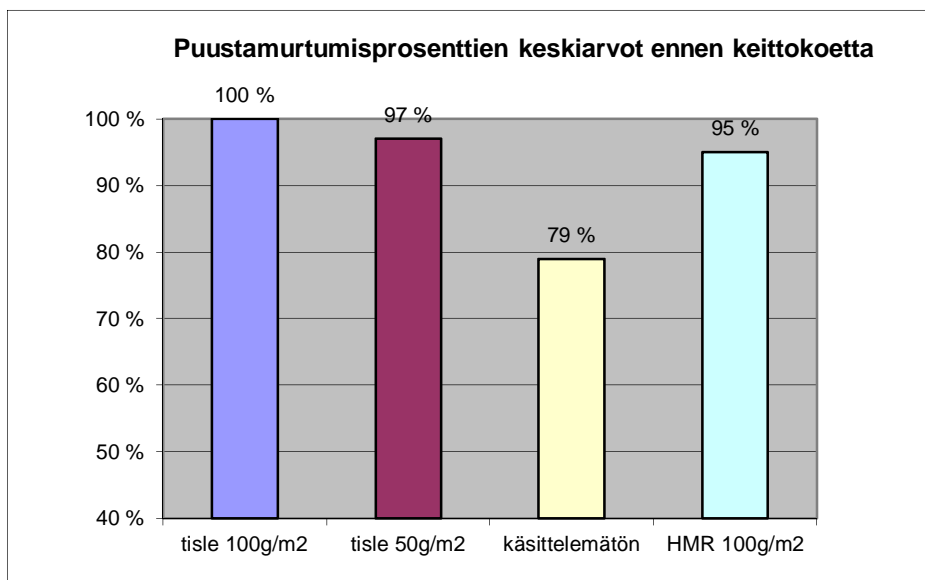
TAULUKKO 8. Keittämättömien koekappaleiden vetolujuustaulukko

Koekappale	Pohjuste	pohjusteen määrä (g/m <sup>2</sup> )	liima	Liiman sekoitussuhde	liimamäärä (g/m <sup>2</sup> )	Puristusaine (N/mm <sup>2</sup> )	Puristus aika	Puristuslämpötila (oC)	Vetolujuus (kN)	Vetopinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Vetolujuus (N/mm <sup>2</sup> )	murtumisprosentti
1.1.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,74	240	0,32	vier
1.1.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,78	240	0,31	100 %
1.2.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,95	240	0,25	100 %
1.2.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,95	240	0,25	100 %
1.3.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,12	240	0,21	100 %
1.3.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,187	240	0,20	100 %
3.1.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,52	240	0,16	100 %
3.1.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,26	240	0,19	98 %
3.2.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,23	240	0,20	100 %
3.2.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,39	240	0,17	75 %
3.3.1	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,48	240	0,16	98 %
3.3.2	Puutisle	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,33	240	0,18	100 %
4.1.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,27	240	0,19	80 %
4.1.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,13	240	0,21	98 %
4.2.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,13	240	0,21	100 %
4.2.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,95	240	0,25	100 %
4.3.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,17	240	0,21	100 %
4.3.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,08	240	0,22	100 %
6.1.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,08	240	0,22	100 %
6.1.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,03	240	0,23	100 %
6.2.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,1	240	0,22	85 %
6.2.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,37	240	0,18	100 %
6.3.1	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,12	240	0,21	100 %
6.3.2	Puutisle	50	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,22	240	0,20	100 %
7.1.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,31	240	0,18	80 %
7.1.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,16	240	0,21	90 %
7.2.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,29	240	0,19	oksa
7.2.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,93	240	0,26	80
7.3.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,73	240	0,33	oksa
7.3.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,9	240	0,27	60 %
9.1.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,13	240	0,21	30 %
9.1.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,92	240	0,26	80 %
9.2.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,03	240	0,23	98 %
9.2.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,14	240	0,21	100 %
9.3.1	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,81	240	0,30	97 %
9.3.2	Ei käsitt.		MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,7	240	0,34	oksa
10.1.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,44	240	0,17	98 %
10.1.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,47	240	0,16	vier
10.2.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,25	240	0,19	75 %
10.2.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,09	240	0,22	96 %
10.3.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,82	240	0,29	vier
11.1.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,54	240	0,16	100 %
11.1.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,21	240	0,20	90 %
11.2.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,99	240	0,24	100 %
11.2.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,05	240	0,23	100 %
11.3.1	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	0,85	240	0,28	100 %
11.3.2	HMR	100	MUF	100/30	200	0,8	1h 15min	60	1,31	240	0,18	100 %



KUVIO 2. Vetolujuuksien keskiarvot ennen keittokoetta.

Kuviosta voidaan päätellä, että puutisle-, ja HMR -pohjusteilla on positiivinen vaikutus vetolujuuteen. Tässä tapauksessa paras vaihtoehto oli puutisle levitysmäärällä 100 g/m<sup>2</sup> ja huonoin käsittelemätön lämpöpuu. HMR 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä lisäsi lujuutta likimain saman verran kuin puutisle 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä. Puutisle näyttäisi parantavan vetolujuutta myös 50 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä, mutta vetolujuus pieneni hieman 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärään nähden. Kuviossa 3 on pylväsdiagrammi puustamurtumisprosenttien keskiarvoista vetolujuustestissä.



KUVIO 3. Puustamurtumisprosenttien keskiarvot ennen keittokoetta.

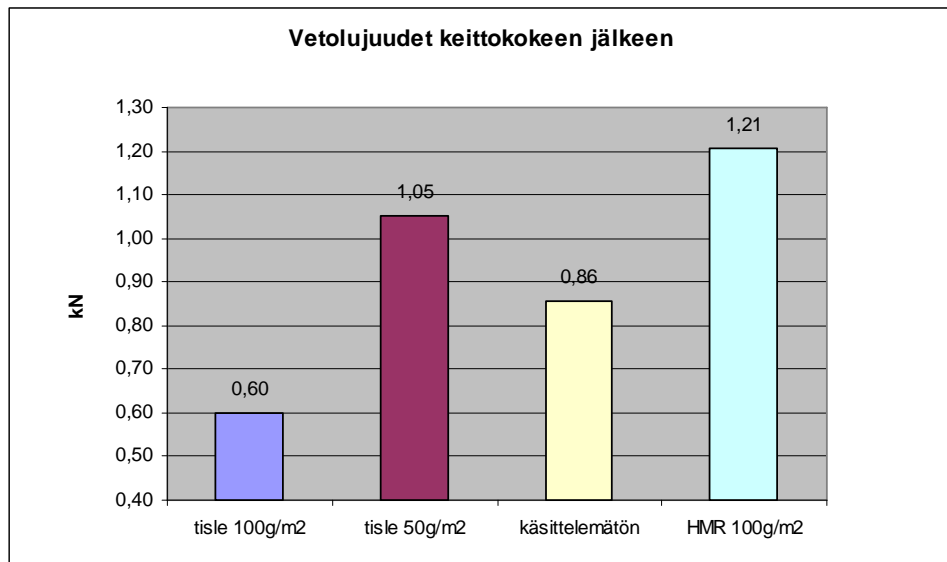
Puustamurtumisprosentti on lähes suoraan verrannollinen vetolujuuden arvoihin. Puustamurtumisprosentti oli tässäkin tapauksessa paras puutisleellä 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä ja huonoin käsittelemättömällä. Puutisle 50 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä jäi 3 %, HMR 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä 5 % ja käsittelemätön 21 % 100 g/m<sup>2</sup>:n puutisle-pohjustettujen kappaleiden keskiarvosta.

#### 9.1.2 Keitettyjen koekappaleiden vetolujuus

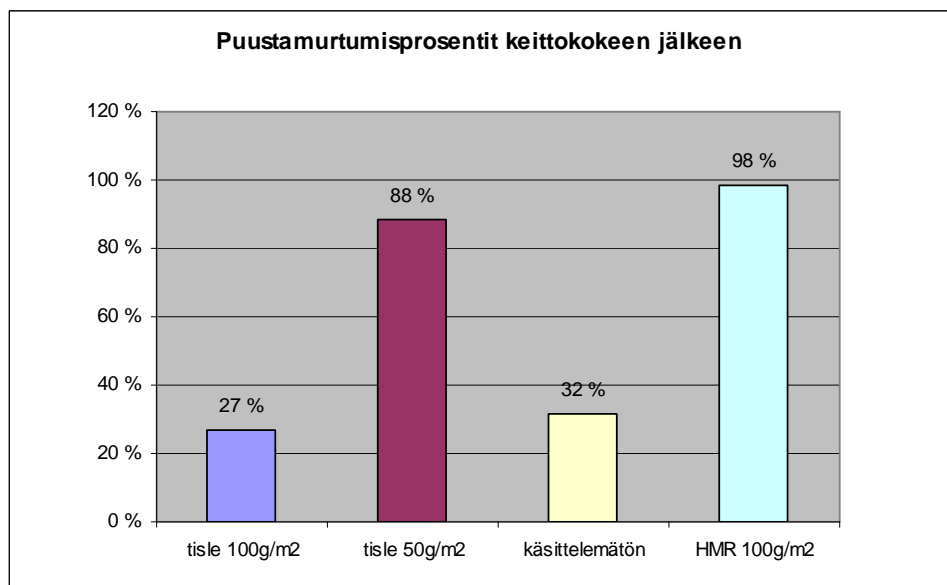
Vetolujuus keitetyle kappaleille tehtiin hieman pienemmällä määrällä koekappaleita, mutta puusta johtuvat virheet minimoitiin valitsemalla mahdollisimman identtiset koekappaleet käsittelystä riippumatta.

Keittokokeen jälkeen tulokset keittämättömiin vetokappaleisiin verrattuna muuttuivat täysin. Kuviossa 4 on keitettyjen kappaleiden vetolujuuksien keskiarvoista ja kuviossa 5 kyseisten kappaleiden puustamurtumisprosenttien keskiarvot.

Keittotestin jälkeen ylivoimaisesti parhaiten vetolujuuskokeessa pärjasi HMR -pohjuste, toiseksi parhaiten puutisle 50 g/m<sup>2</sup>:n, kolmanneksi parhaiten käsittelemätön ja huonoiten puutisle 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä. Keittokokeen läpikäyneistä puutisle-kappaleista huomattiin, että tisleen määrä ei enää vaikuttanut parantavasti. Sen sijaan HMR -pohjustetuilla kappaleilla keittokoe ei heikentänyt lainkaan kappaleiden vetolujuuksia.



KUVIO 4. Vetolujuuksien keskiarvot keittokokeen jälkeen



KUVIO 5. Puustamurtumisprosenttien keskiarvot keittokokeen jälkeen

Keittokokeessa koekappaleille ei ensimmäisen keittokerran jälkeen juuri muutoksia tapahtunut (kuva 12).



KUVA 12. Keittokoekappaleita 4 tunnin keiton jälkeen. Kuva Anssi Koivumäki 2012

Toisen keittokerran muutokset olivat jo silmin havaittavia ja osa kappaleista jopa halkesi liimasaumastaan (kuva 13). Koekappaleet muuttivat hieman muotoaan, etenkin tangentin suunnassa, mutta sekin oli verraten vähäistä kokeen rajuuteen nähden. Keittokokeet tehtiin enimmäkseen mikroskooppitutkimuksia ja vetolujuuskokeita varten.

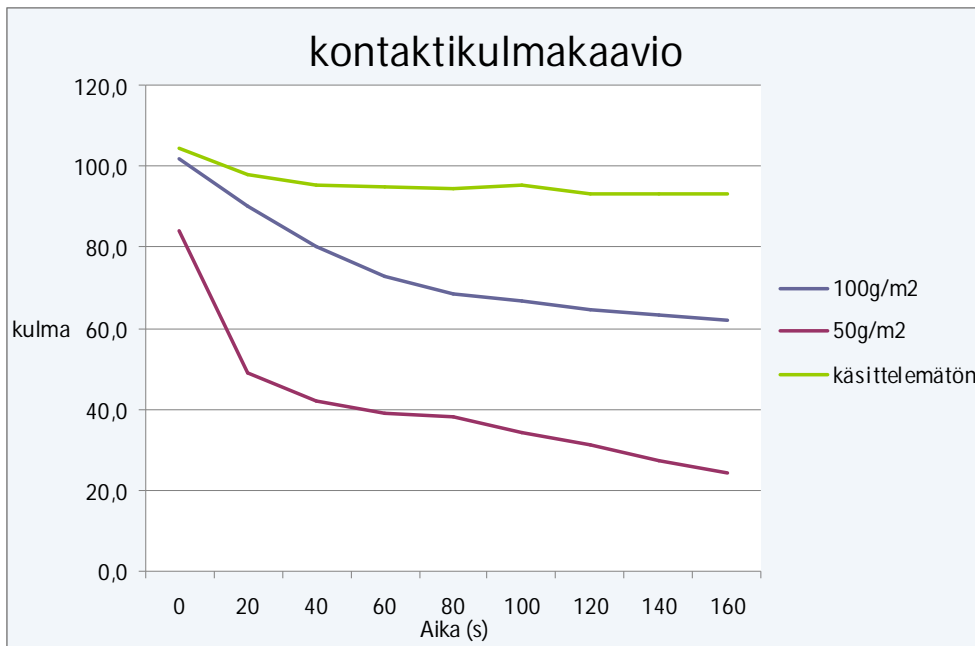


KUVA 13. Keittokoe-kappaleita 8 tunnin keiton jälkeen. Kuva Anssi Koivumäki 2012

## 9.2 Kontaktikulmamittaus

Kontaktikulmamittaus tehtiin ainoastaan käsittelemättömille ja puutislekäsitellyille koekappaleille. HMR -käsitellyt koekappaleet jätettiin pois, koska kyseistä pohjustetta ei enää ollut ja pohjusteen saaminen ajallaan olisi aikataulun vuoksi ollut mahdotonta.

Kontaktikulmamittauksissa huomattiin, että puutislekäsittely parantaa veden imeytymistä, jonka vuoksi myös liiman imeytyminen kappaleeseen parani. Kuitenkin käsittely 50 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä paransi imeytymistä enemmän kuin 100 g/m<sup>2</sup>:n levitysmäärällä. Huonoin veden imeytyminen oli käsittelemättömällä koekappaleella. Kuviossa 6 on kaavio kontaktikulmamittauksesta, jossa näkyy kulmamuuutos aikayksikköä kohden.



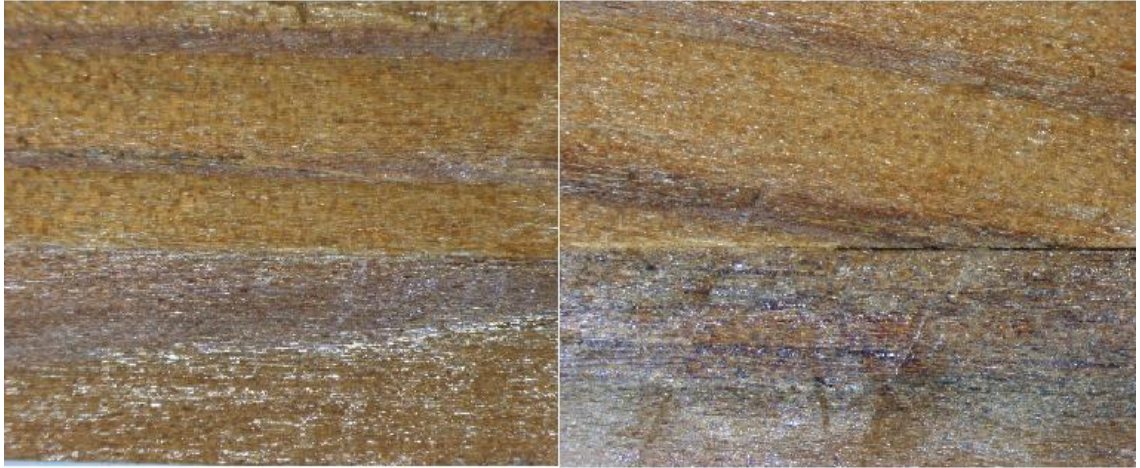
KUVIO 6. Kontaktikulmakaavio

### 9.3 Mikroskooppitutkimus

Mikroskooppitutkimuksessa havaittiin eroja eri käsittelyn saaneiden koekappaleiden liimasauman muodostuksessa. Etenkin keittotestin jälkeen liimasaumassa tapahtuneet muutokset olivat mikroskoopilla hyvin havaittavissa. Tarkemmissa ultraviolettivalo heijastetuissa kuvissa liimasauman muodostuminen ja rakenne oli hyvin selkeästi havaittavissa.

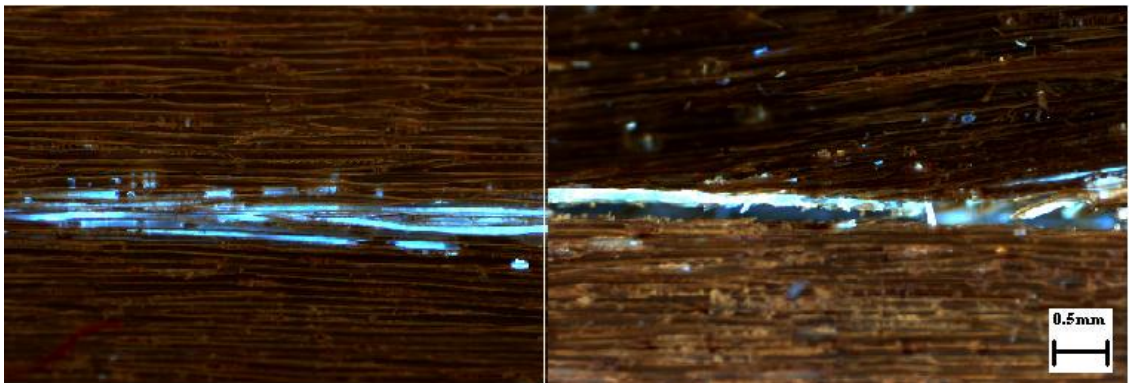
Kuvassa 14 näkyy Leica MZ 75:llä 0.8-kertaisella suurennoksella otettu kuva. Vasemmalla kuvassa näkyy käsittämätön ja keittämätön ja oikealla käsittämätön ja keittokokeen läpikäynyt koekappale.





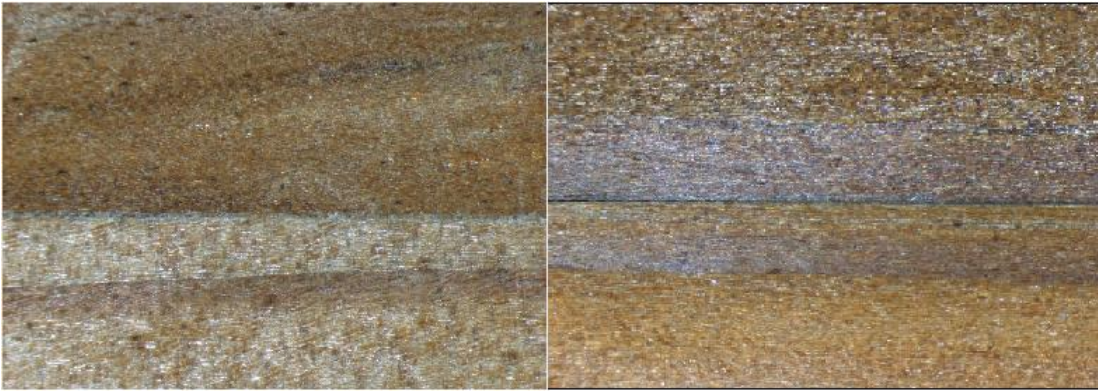
KUVA 14. Mikroskooppikuva käsittelemättömästä koekappaleesta ennen keittokoetta (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012

Keittokokeen läpikäyneessä koekappaleessa on selkeästi havaittavissa liimasauman rakoilemista, sen sijaan keittämättömässä liimasauma on täysin kiinni. Tarkemmissa UV-valoheijastetussa 10-kertaisesti suurennetussa mikroskooppikuvassa näkyy miten liimasauma on rakenteeltaan muuttunut keittotestin jälkeen (Kuva 15).



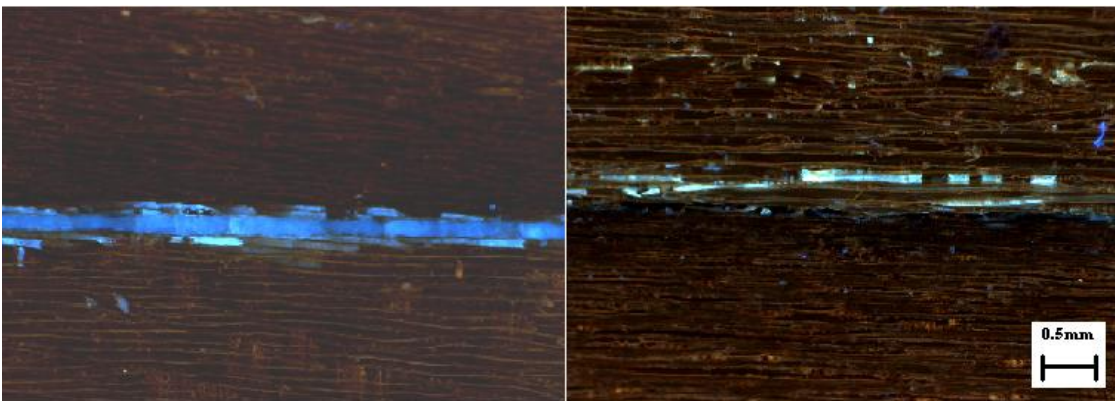
KUVA 15. UV -valoheijastettu mikroskooppikuva keittämättömästä (vasemmalla) ja keittokokeen läpikäyneestä (oikealla) käsittelemättömästä koekappaleesta. Kuva Anssi Koivumäki 2012

50 g/m<sup>2</sup>:n puutisle käsitellyissä koekappaleissa näkyi myös selvästi liimasauman rakenteen murtumista ja rakoilua keittotestin jälkeen. Kuvassa 16 näkyy 0.8 kertaisella suurennoksella otettu mikroskooppikuva 50 g/m<sup>2</sup>:n puutislekäsitellystä koekappaleesta. Vasemmalla näkyy keittämätön ja oikealla keittokokeen läpikäynyt koekappale.



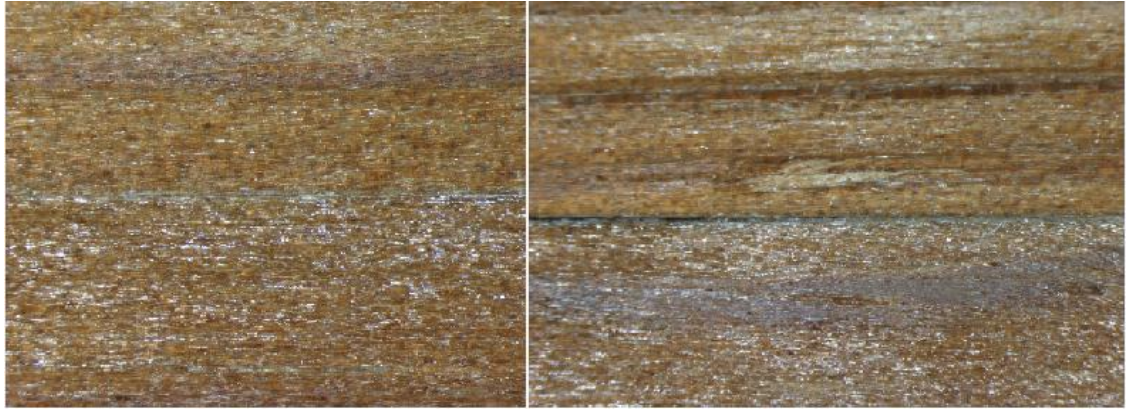
KUVA 16. 50 g/m<sup>2</sup>:n puutislepohjustettu koekappale ennen keittokoetta (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012

Kuvassa 17 näkyy UV-valoheijastettu 10-kertaisesti suurennettu mikroskooppikuva 50 g/m<sup>2</sup>:n puutislepohjustetusta koekappaleesta. Vasemmalla näkyy keittämätön ja oikealla keitetty koekappale. Liima on lähes kokonaan hävinnyt keittotestin jälkeen saumasta ja kappaleet eivät enää ole joka kohdasta kiinteästi toisissaan kiinni.



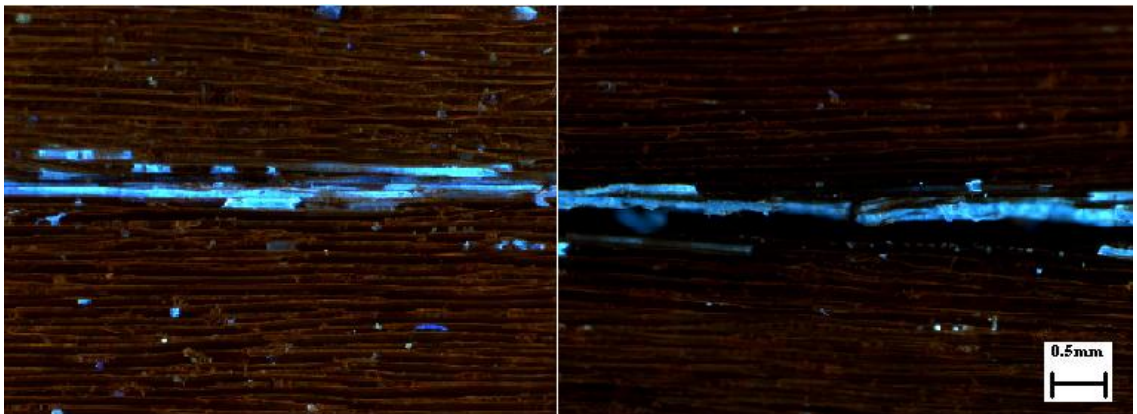
KUVA 17. UV-valoheijastettu mikroskooppikuva 50 g/m<sup>2</sup>:n puutislepinnoitetusta koekappaleesta ennen keittokoetta (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012

Puutislepohjustus 100 g/m<sup>2</sup>:n määrällä oli ennen keittokoetta paras liimasauman lujuudeltaan, mutta keittokokeen jälkeen huonompi kuin käsittelemätön lämpöpuu. Tästä voidaan todeta, että puutisleen määrä ei paranna liimasauman säänkestoa. Kuvassa 18 näkyy 0.8-kertaisella suurennoksella otettu mikroskooppikuva 100 g/m<sup>2</sup>:n puutislepohjustetusta koekappaleesta. Vasemmalla kuvassa näkyy ennen keittokoetta ja oikealla keittokokeen jälkeen otettu mikroskooppikuva.



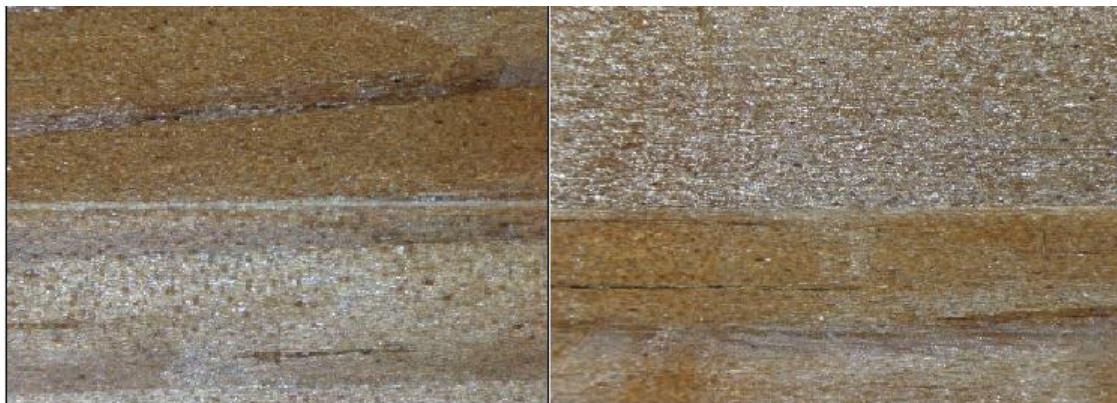
KUVA 18. Mikroskooppikuva 100 g/m<sup>2</sup>:n puutislepohjustetusta koekappaleesta keittokoetta ennen (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012

Liimasauma on keittokokeen läpikäyneellä koekappaleella silmin nähten rakoileva ja murtunut. UV-valoheijastetussa kuvassa (kuva 19) näkyy tarkemmin miten liimasauma on keittokokeen jälkeen pirstoutunut ja rakoillut niin, että kiinteää liimasaumaa ei koko liitoskohdan alueella ole havaittavissa.

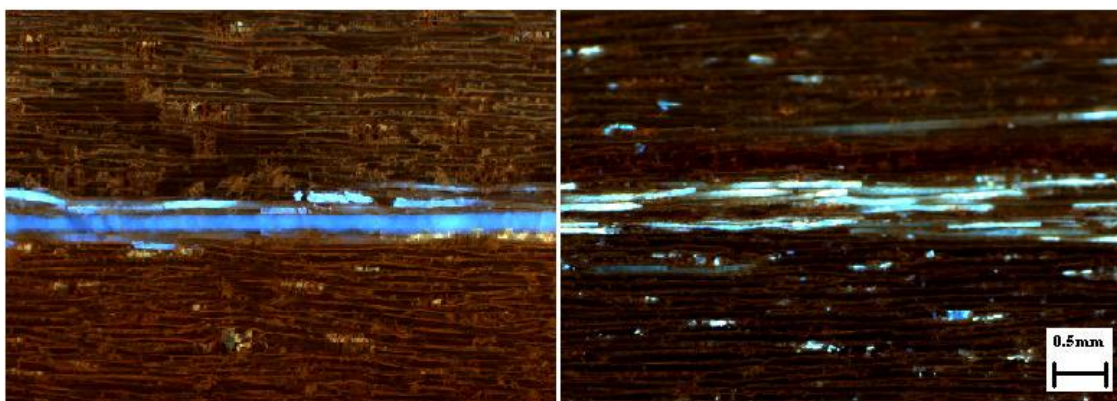


KUVA 19. UV-valoheijastettu mikroskooppikuva 100 g/m<sup>2</sup>:n puutislepohjustetusta koekappaleesta ennen keittokoetta (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012

HMR-pohjustetuilla koekappaleilla liimasauman rakenne oli hieman muuttunut keittotestin jälkeen, mutta silti sauma on pysynyt tiukasti kiinni. Sen voi todeta myös siitä, että liimasauman lujuus ei ollut heikentynyt lainkaan vetolujuuskokeissa. 0.8-kertaisella suurennoksella (kuva 20) ja UV-valoheijastetuissa 10-kertaisella suurennoksella (kuva 21) otetuissa kuvista nähdään, että liimasauma on kiinteä ja yhtenäinen joka kohdasta.



KUVA 20. Mikroskooppikuva HMR-pohjustetusta koekappaleesta ennen keittokoetta (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012



KUVA 21. UV-valoheijastettu mikroskooppikuva HMR - pohjustetusta koekappaleesta ennen keittokoetta (vasemmalla) ja keittokokeen jälkeen (oikealla). Kuva Anssi Koivumäki 2012

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tulokset vastasivat suurilta osin odotuksia. Puutislekäsitelyllä pyrittiin parantamaan lämpökäsittelyn puun adheesiota ja siinä osittain onnistuttiin.

Puutislepohjustus paransi jossain määrin liimasauman ominaisuuksia, mutta ei juurikaan kosteuden ja sääolosuhteiden kestävyttä. Liimasauma oli ennen keittotestiä lujuudeltaan paras, mutta ei kestänyt keittotestin rasituksia juuri sen paremmin kuin käsittelemätön koekappale. Sen sijaan HMR-pohjustus paransi sekä keittämättömien, että keitettyjen kappaleiden ominaisuuksia. Edes 8 tunnin raju keittokoe ei heikentänyt liimasauman lujuutta. Tästä voidaan todeta, että HMR-pohjuste on kokeissa käytetyillä menetelmillä varteenotettava vaihtoehto, jos halutaan MUF-liimatulle lämpöpuulle etenkin säätä kestäväää liimasaumaa. Keitettyjen koekappaleiden vetolujuuskokeissa olisi saanut olla enemmän koekappaleita, jotta tulokset olisivat luotettavampia.

Kontaktikulmamittauksen tuloksista huomattiin, että puutislepohjustus paransi veden imeytymistä lämpökäsiteltyyn puuhun. Tämä vaikuttaa suoraan myös liiman imeytymiseen. Imeytymisen paraneminen tässä tapauksessa näyttäisi olevan positiivinen tekijä, koska liimasauman ominaisuudet paranivat. Liika imeytyminen voi myös pilata liimasauman, mutta lämpökäsittelyllä puulla liiman imeytyminen on yleensä liian vähäistä. Kontaktikulmamittauksiin olisi pitänyt saada mukaan HMR-pohjustetut koekappaleet, koska ne toimivat muissakin kokeissa vertailukohtana.

Mikroskooppitutkimuksessa nähtiin hyvin, miten liimasauma oli kullakin koekappaleella muodostunut ja miten keittotesti oli liimasaumoihin vaikuttanut. Mikroskooppitutkimus vahvisti vetolujuuskokeissa saatujen tulosten luotettavuutta, koska liimasaumoissa oli etenkin keittokokeen jälkeen tapahtunut selkeitä rakenteellisia muutoksia. Liimasauma ja siinä tapahtuneet muutokset olivat hyvin nähtävissä UV-valoheijasteen avulla. UV-valoheijastetussa kappaleessa liimasauma erottui violetin värinsä ansiosta selkeästi muusta puuaineesta. Mikroskooppitutkimuksessa otetut valokuvat olisivat olleet tarkempia, jos koekappaleiden kuvauspinnat olisi tehty tasaisemmiksi.

## 11 KEHITYSEHDOTUKSET

Puutislepohjustuksesta huomattiin, että sillä oli positiivinen vaikutus liimasauman lujuteen. Ongelmaksi havaittiin sää- ja kosteusrasituksien kesto. Tähän ongelmaan tulisi puuttua niin, että tutkittaisiin eri muuttujien vaikutuksia liimasaumaan.

Puutislepohjustus tehtiin 22 °C:ssa pensselilevityksellä yhteen kertaan ja vain kahdella eri levitysmäärällä. Jo pelkällä levitysmäärällä tai levityskerroilla voidaan parantaa aineen ominaisuuksia ja hukan minimointia, mutta haluttuun lopputulokseen vaaditaan kuitenkin muutakin kuin levitysmäärän tai levityskertojen optimointia.

Levitysmäärä tai levityskerrat itsessään eivät paranna mm. säänkestoa. Sään kestoon vaaditaan, että pohjuste sitoutuu eli polymerisoituu puun sisältämien eri molekyylien kanssa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Ilman polymerisoitumista sekä puutisle, että liima-aine häviävät pitkällä aikavälillä sää- ja kosteusrasituksien vuoksi pois liima-saumasta. Polymerisoituminen voitaisiin saada aikaiseksi mm. niin, että pohjustusvaiheessa käytetään kovaa lämpöä apuna. Lämpö auttaa molekyylien välisien sidoksien muodostumista. Hapettomassa tilassa lämpöä voidaan käyttää jopa yli 300 °C:ssa, mutta puun syttymisherkkyuden vuoksi lämpötila tulee jättää normaalissa sisäilmassa alle 250 °C:n.

Puutislepohjustuksessa tulisi huomioida myös puutislepohjustuksen onnistumiseen vaikuttavien aineiden ja yhdisteiden erottelu. Tässä työssä käytettiin 96 % koivutisleettä, jossa on käytännössä kaikki tisleestä saadut ainesosat. Aine olisi hyvä eritellä pienempiin osiin, eli tislefraktioihin, jotta löydettäisiin ainoastaan liimasauman onnistumiseen vaikuttavat aineet. Sillä voidaan päästä pienempiin levitysmääriin, mutta myös parempiin tuloksiin.

## LÄHTEET

Opetushallitus. Oppimateriaalit. Puutuoteteollisuus. Alkutuotteiden jalostus. Liimaus. Liimausprosessi [viitattu 23.1.2012]. Saatavissa: <http://www.edu.fi/>

Gardner, D. Frazier, C. & Christiansen, W. 2006. *Characteristics of the Wood Adhesion Bonding Mechanism Using Hydroxymethyl Resorcinol*. San Diego, California, USA: Forest Products Society

Hyvä tietää lämpöpuusta. [verkkodokumentti]. Puukeskus [viitattu 18.12.2011]. Saatavissa: [http://www.puukeskus.fi/img/dyn/Puuinfo/hyva\\_tietaa\\_lampopuusta.pdf](http://www.puukeskus.fi/img/dyn/Puuinfo/hyva_tietaa_lampopuusta.pdf)

Isomäki, Koponen, Nummela & Suomi-Lindberg. 2002. *Raaka-aineet ja aihiot*. 1. painos. Helsinki: Edita Prima Oy

Kainuun terva. Terva [viitattu 20.12.2011]. Saatavissa: <http://www.kainuunterva.com/>

Puu Proffa. Liimaus [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi/>

Rissanen, R. Selenius, M. Kuopanportti, H. & Lappalainen, R. 2006. *Puutislepinoitusmenetelmän kehittäminen*. 9. painos. Mikkeli: Interkopio Oy

Thermo Wood käsikirja. [verkkodokumentti]. Lämpöpuuyhdistys Ry [viitattu 9.3.2012]. Saatavissa: [http://www.jarne.fi/web/files/914711200401161255\\_twkasikirja.pdf](http://www.jarne.fi/web/files/914711200401161255_twkasikirja.pdf)

Tikkurila. Ammattilaiset. Työohjeet. Suunnittelijan salkku. Suunnitteluohjeet. ulkomaalaus. Puupinnat. Puupintojen pohjustus ja pohjamaalaus [viitattu 20.1.2012]. Saatavissa: <http://tikkurila.fi/>





---

[www.savonia.fi](http://www.savonia.fi)

