



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LÄMPÖKÄSITTELYN VAIKUTUS PUUN LIIMATTAVUUTEEN

TEKIJÄ/T: Ville Räsänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Räsänen	
Työn nimi Lämpökäsittelyn vaikutus puun liimattavuuteen	
Päiväys 21.9.2015	Sivumäärä/Liitteet 36/2
Ohjaaja(t) Markku Oikarinen, lehtori ja Kalle Kiviranta, projekti-insinööri	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lämpökäsittelyn vaikutusta puun liimattavuuteen ja pH-arvoon, sekä puun pinnan pH-arvon vaikutusta liimattavuuteen. Työn tilaajana toimi Savonia-ammattikorkeakoulu ja työ suoritettiin Savonian puutekniikanlaboratoriossa. Avustusta ja neuvoja työhön saatiin Savonia-ammattikorkeakoulun henkilökunnalta ja Kiilto Oy:ltä.</p> <p>Työssä tutkittiin kuinka paljon puun liimattavuus huononee lämpökäsittelyn seurauksena, kuinka paljon se pienentää puun pH-arvoa ja saadaanko lämpöpuun liimattavuutta parannettua sen pinnan pH-arvoa nostamalla. Koekappaleet valmistettiin kahdesta eri käsittelemättömästä puusta ja kolmesta eri lämpöpuusta ja koekappaleita koestettiin leikkauslujuus-, delaminointi-, ja keittokokeissa. Myös pH-arvo eroja testattiin kuumavesitestissä. Työssä käytettiin neljää eri liimaa: PVAc-, PUR-, EPI- ja MUF-liimaa.</p> <p>Osa koekappaleista käsiteltiin Sartek 2 korkea pH -pesuaineella, jotta voitiin testata onko puun pinnan pH-arvon nostamisella positiivista vaikutusta lämpöpuun liimattavuuteen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville, että lämpökäsittely huonontaa puun liimattavuutta, pienentää puun pH-arvoa ja että puun pinnan pH-arvon muuttamisella suuremmaksi voidaan vaikuttaa positiivisesti puun liimattavuuteen joidenkin liimojen kohdalla.</p>	
Avainsanat lämpöpuu, liimattavuus, pH	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Wood Technology			
Author(s) Ville Räsänen			
Title of Thesis The Effect of Heat Treatment on the Adhesiveness of Wood			
Date	September 21, 2015	Pages/Appendices	36/2
Supervisor(s) Mr. Markku Oikarinen, Senior Lecturer and Mr. Kalle Kiviranta, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to research the effect of heat treatment on the adhesiveness of wood and on its pH level and also the effect of the pH level on adhesiveness of wood. The project was commissioned by Savonia University of Applied Sciences and the research was done in the wood technology laboratory at Savonia. Help and advice was provided by the employees of Savonia University of Applied Sciences and Kiilto Ltd.</p> <p>In this project it was researched how much does the heat treatment deteriorate the adhesiveness of wood, how much does the pH level of wood decrease and whether it is possible to improve the adhesiveness of thermo-wood by increasing the pH level of the surface of the wood. The test pieces were made of two different normal types of wood and of three different thermo-wood types. The test pieces were tested by the shear strength test, delamination test and boiling test. Differences between the pH level of wood were tested by a hot water test. Four different adhesives were used in this project. The adhesives were PVAc, PUR, EPI and MUF adhesives. Some of the test pieces were treated with Sartek 2 high pH level detergent to test if increasing the pH level of thermo-wood would have a positive effect on its adhesiveness.</p> <p>As a result of the test it was found out that the heat treatment does deteriorate the adhesiveness of wood, decrease the pH level of wood and that by increasing the pH level of the surface of wood does positively effect the adhesiveness of thermo-wood with some adhesives.</p>			
Keywords thermo-wood, adhesiveness, pH			
public			

ESIPUHE

Haluan kiittää Savonian ammattikorkeakoulua opinnäytetyöaiheesta ja minua opinnäytetyön aikana ohjanneita lehtori Markku Oikarista, sekä projekti-insinööri Kalle Kivirantaa opastuksesta. Lisäksi haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun toimihenkilöitä, jotka opastivat projektin aikana sekä Kiilto Oy:tä opastuksesta liimojen suhteen.

Kuopiossa 13.7.2015

Ville Räsänen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	PUUN LÄMPÖKÄSITTELYMENETELMÄ.....	7
3	PUUN LIIMAUS.....	9
3.1	Liimausprosessi.....	9
3.2	Liiman sitoutuminen puuhun	9
3.3	Liimat ja niiden ominaisuudet	10
3.4	Lämpöpuun liimaus	11
4	PH-ARVO ASTEIKKO	12
5	KOEKAPPALEIDEN KOESUUNNITELMA	13
6	KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS	15
7	TESTAUS	19
7.1	pH-arvo testi	19
7.2	Liimasauman leikkauslujuus.....	20
7.3	Delaminointi	22
7.4	Keittokoe	23
8	TULOKSET	25
8.1	pH-arvo testi	25
8.2	Leikkauslujuuskoe	25
8.3	Delaminointikoe	29
8.4	Keittokoe	32
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	LÄHTEET	37
	LIITE 1: KOESUUNNITELMATAULUKKO	38
	LIITE 2: LEIKKAUSLUJUUSKOKEIDEN TULOSTAULUKKO	49

1 JOHDANTO

Lämpökäsittelyssä puun ominaisuudet kuten sään ja lahoamisen kesto-ominaisuudet sekä lämmöneristävyys paranevat. Lämpökäsittelyssä tulee myös haittavaikutuksia, kuten puun lujuuden pieneneminen, liimattavuuden huononeminen ja pH-arvon muuttuminen happamammaksi.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan lämpökäsittelyn vaikutusta puun liimattavuuteen ja pH-arvoon. Työn toimeksiantajana toimii Savonia-ammattikorkeakoulu ja työ suoritetaan Savonian Opistotien kampuksen puutekniikanlaboratorion tiloissa tekemällä lämpöpuulle erilaisia liimasauman pitävyyteen liittyviä kokeita.

Opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää kuinka paljon puun lämpökäsittely huonontaa puun liimattavuutta, kuinka suuri on käsittelemättömän puun ja lämpökäsittelyn puun pH-arvojen ero sekä tutkia voidaanko lämpöpuun liimattavuutta parantaa lämpöpuun pinnan pH-arvoa nostamalla.

Opinnäytetyössä tarvittavat koekappaleet valmistetaan kahdesta eri käsittelemättömästä puusta ja kolmesta eri lämpöpuusta ja koekappaleita koestetaan leikkauslujuus-, delaminointi-, ja keittokokeissa. Myös pH-arvo eroja testataan kuumavesitestissä. Työssä käytetään neljää eri liimaa: PVAc-, PUR-, EPI- ja MUF-liimaa.

2 PUUN LÄMPÖKÄSITTELYMENETELMÄ

Lämpökäsittely puu on puutavaraa, jota on modifioitu yli 160 °C lämpötilassa. Lämpökäsittely muuttaa puun ulkonäköä ja parantaa puun ominaisuuksia, kuten sään- ja lahoamisenkestämistä sekä pienentää puun kosteuselämistä. Lämpöpuuta käytetään mm. lattioihin, seiniin, kattoihin ja saunan lauteisiin sekä talojen ulkoverhouksiin ja terasseihin. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Lämpökäsittely tehdään vesihöyryn ja korkean lämpötilan avulla eikä siinä käytetä kemikaaleja. Lämpökäsittelymenetelmä on kolmivaiheinen. Vaiheet ovat lämpötilan nosto, varsinainen lämpökäsittely sekä lämpötilan laskeminen ja kosteuden tasaannutus. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Aluksi puun lämpötila kohotetaan noin 100 °C:een nopeasti, jonka jälkeen lämpötila nostetaan 130 °C:een, mutta hitaammin. Prosessissa puun halkeilun estää suojakaasuna toimiva vesihöyry, joka samalla vaikuttaa kemikaalisiin muutoksiin puuaineessa. Puun kosteusprosentti pienenee melkein nollaan prosessinaikana. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Puun lämpötila kohotetaan vähintään 160 °C:een varsinaisessa lämpökäsittelyvaiheessa ja pidetään puun lämpötila samana 2 - 4 tunnin ajan. Suojakaasuna toimiva vesihöyry estää puun syttymisen lämpökäsittelyn aikana. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Varsinaisen lämpökäsittelyn jälkeen puun lämpötilaa vähennetään sumutetun veden avulla. Puun käyttökohteessa riippuu mihin kosteuteen puu tasautetaan, mutta yleensä kosteus tasaannutetaan yli 4:ään %. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Lämpökäsittely vaikuttaa useisiin puun ominaisuuksiin negatiivisesti ja positiivisesti. Lämpökäsittelyn aikana puun tiheys pienenee vähäisen. Koska puun tiheys vaikuttaa oleellisesti puun lujuuteen, niin puun tiheyden pienentyessä myös puun lujuusominaisuudet pienenevät. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Puun taivutuslujuus ei muutu paljoa, jos puu on lämpökäsittely alle 200 °C: n lämpötilassa, mutta lämpökäsittelyn puun käyttöä tulisi kuitenkin välttää kantavissa rakenteissa. Taivutuslujuuden pienentyminen vaikuttaa myös oleellisesti puussa esiintyviin oksakohtiin, joiden lujuus on jo valmiiksi heikompi kuin muun puun. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Puun puristuslujuuteen lämpökäsittelyllä ei ole heikentävää vaikutusta ja se voi jopa parantaa hieman puun puristuslujuutta. Lämpökäsittelyn puun elastisuus ei kuitenkaan ole samalla tasolla kuin käsittelemättömällä puulla, jos lämpökäsittely on tehty todella korkeassa lämpötilassa. Myös puun leikkauslujuuteen lämpökäsittelyllä on vain vähäinen vaikutus, mutta lämpöpuun halkaisulujuus voi heikentyä jopa 30 - 40 % käsittelemättömän puun halkaisulujuudesta. Lämpökäsittely ei muuta puun kovuutta. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Puun tasapainokosteus pienenee huomattavasti lämpökäsittelyn aikana. Tasapainokosteus voi olla jopa 50 % pienempi verrattuna käsittelemättömään puuhun. Lämpökäsittelyn puun mittapysyvyys

paranee tasapainokosteuden pienentymisestä johtuen. Lämpöpuun kosteuden kasvaessa puun turpoaminen voi olla jopa 50 % vähäisempää säteen ja tangentin suunnassa. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Veden imeytyminen on puun lämpökäsittelyn jälkeen vähäisempää kuin ennen käsittelyä sekä puun lämmönjohtavuus pienenee noin 25 % lämpökäsittelyssä, josta johtuen lämpöpuu eristää paremmin lämpöä kuin käsittelemätön puu. Lämpökäsittely parantaa myös puun säänkestämistä sekä lahoamisenkestämistä. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Lämpökäsittelyllä puulla on Suomessa yleisesti kaksi tuoteluokkaa ja lisäksi havu- ja lehtipuilla on omat luokituksensa. Tuoteluokkien nimet ovat Thermo-D ja Thermo-S ja ne eroavat toisistaan käsittelylämpötilan suhteen. Eri tuoteluokkien käyttökohteita näkyy taulukossa 1. (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Taulukko 1. Lämpöpuun tuoteluokat ja käyttökohteet (Hyvä tietää lämpöpuusta.)

Havupuut	
Thermo-S Käsittelylämpötila: 190 °C +/- 3 °C	Thermo-D Käsittelylämpötila: 212 °C +/- 3 °C
<ul style="list-style-type: none"> - rakennekomponentit - sisustukset ja kiintokalusteet, kuivat tilat - huonekalut - puutarhakalusteet - saunan lauteet - lattiat - ikkuna- ja ovirakenteet - ulkoverhous - ikkunaluukut - räystäslaudat 	<ul style="list-style-type: none"> - ulkoverhous - räystäslaudat - ulko-ovet - ikkunaluukut - ympäristörakenteet - sauna- ja kylpyhuone-sisustukset - lattiat - terassit - puutarhakalusteet

Lehtipuut	
Thermo-S Käsittelylämpötila: 185 °C +/- 3 °C	Thermo-D Käsittelylämpötila: 200 °C +/- 3 °C
<ul style="list-style-type: none"> - sisustukset - kiintokalusteet - huonekalut - lattiat - saunan rakenteet - puutarhakalusteet 	Käyttökohteet kuten luokassa Thermo-S. Haluttaessa tummempaa värisävyä käytetään luokan Thermo-D tuotteita.

3 PUUN LIIMAUS

Puun liimaus on tärkeimpiä prosesseja nykyaikaisessa puutuoteteollisuudessa ja liimojen kehittyminen on tuonut uusia mahdollisuuksia puun liimaukseen. Nykyaikana pystytään puuhun liimaamaan jo melkein mitä tahansa muita aineita, joka on vienyt puutuotteiden jalostuksen uudelle tasolle. Puun liimausta käytetään mm. sahateollisuudessa, huonekaluteollisuudessa, rakennuspuusepänteollisuudessa ja puulevyteollisuudessa. (Edu.fi.)

3.1 Liimausprosessi

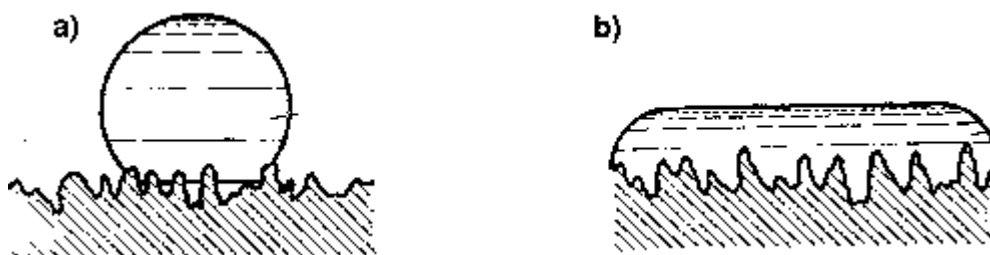
Liimausprosessi on yleensä kaikilla liimoilla samanlainen ja sisältää samat vaiheet. Liimausprosessi aloitetaan sekoittamalla ja valmistamalla liimauksessa käytettävä liima. Valmis liimaseos levitetään liimattavalle pinnalle, jonka jälkeen tulee ladontavaihe, johon kuuluu avoin- ja suljettuaika. Avoinaika tarkoittaa aikaa, jossa liimattavat pinnat ovat erillään toisistaan liiman levityksen jälkeen ja suljettuaika tarkoittaa aikaa, jossa liimattavat pinnan on asetettu vastakkain ennen puristusta. (Edu.fi.)

Ladonnan jälkeen liimattavat kappaleet laitetaan puristukseen riittävään paineeseen ja annetaan olla puristuksessa liimanvalmistajan ohjeiden mukaisen ajan. Puristuksen jälkeen liimatut kappaleet otetaan pois puristuksesta ja jätetään ne jälkikovettumaan ilman puristusta. Jälkikovettuminen voi liimasta riippuen kestää jopa vuorokauden. (Edu.fi.)

3.2 Liiman sitoutuminen puuhun

Monet tekijät vaikuttavat liimasauman sitoutumiseen puuaineeseen. Varsinaisen liiman tarttumisen lisäksi liimautumiseen vaikuttaa puun ja liiman molekyylien välisen vuorovaikutukseen perustuva adheesio. Käytettävän liiman on kostutettava puun pintaa, jotta liima kiinnittyy puuaineeseen ja liimasaumasta tulisi kestävä. (Edu.fi.)

Tunkeutuakseen puuainekseen riittävästi, liiman täytyy olla nestettä. Liimautumisen aikana nestemäinen liima poistaa roskat puun pinnalta, jos liima leviää kunnolla puun pinnalle ja kostuttaa liimattavat pinnat. Liimaseos ei ole tarpeeksi hyvää, eikä liimasaumasta tule tarpeeksi vahvaa, jos liima on pinnalla pisaramaisena. Liimauksessa voidaan myös hyödyntää liimakalvoja, mutta silloinkin liiman on kostutettava puuaineen pintaa. (Edu.fi.)



Kuva 1. Liiman kosteutuskyky, jossa huono kosteutus (a) ja hyvä kosteutus (b) (Edu.fi.)

Liimattua puuta koestaessa liimasauman murtuminen johtuu useimmiten puun pinnan kostumisen epäonnistumisesta (kuva 1) tai muusta liimattavan pinnan ominaisuudesta joka haittaa liimausta. Puun omien ominaisuuksien lisäksi liiman tarttuminen ja imeytyminen riippuu myös liiman viskositeetista. Kuitenkaan liima ei saa mennä liian syvälle puuhun, jotta liimasaumaan riittää liiman tartunta-ainetta vahvan ja onnistuneen liimasauman muodostamiseen. Myös puristaminen tarpeeksi kovassa paineessa liimauksen aikana on tärkeää, jotta liima-aine tunkeutuu puun pinnan läpi. (Edu.fi.)

Puuliimat ovat nestemäisessä muodossa liimasauman muodostuessa, jolloin liuote lähtee liimasaumasta sen kovettuessa. Liimasaumassa tapahtuu kutistumista, kun liuote lähtee saumasta. Kutistuminen ja kosteusvaihtelut aiheuttavat voimakkaita jännitteitä liimasaumaan ja liimattavaan kappaleeseen, jotka liiman on kuitenkin kestettävä. (Edu.fi.)

3.3 Liimat ja niiden ominaisuudet

Liimoja on monia erilaisia ja ominaisuudet eroavat riippuen mitä lisäaineita niissä on käytetty, jonka takia liiman valmistajan käyttöohjeisiin tulisi tutustua ennen liiman käyttöä. Liimat saattavat olla myös terveydelle haitaksi, joten niitä tulee käsitellä varoen ja turvallisesti. Liimat luokitellaan niiden alkuperän mukaan kahteen luokkaan, luonnonliimoihin ja synteettisiinliimoihin. (Puuproffa.fi.)

Luonnonliimoja on käytetty liimauksessa jo tuhansien vuosien ajan. Luonnonliimoilla on huono sään ja mikro-organismien kestokyky, mutta niilläkin saadaan kestäviä ja hyviä liimasaumoja, jos olosuhteet ovat suotuisat. Erilaisia luonnonliimoja on lueteltu taulukossa 2. (Puuproffa.fi.)

Taulukko 2. Luonnonliimat (Puuproffa.fi.)

Luonnonliimat	
Liima	Raaka-aineet
Proteiiniliima	Valkuaisaineet
Glutiiniliima	Nahka, luu ja kala
Kaseiiniliima	Maitohera
Albumiiniliima	Kuivattu naudanveri

Synteettiset muoviliimat ovat tulleet luonnonliimojen tilalle, jonka takia luonnonliimojen käyttö nykyaikana on enää vähäistä. Synteettiset liimat koostuvat liimahartsista, liuottimesta ja kovettimesta. Joskus liimoihin lisätään myös täyteaineita ja hidastimia, joilla yritetään estää liimaa imeytymästä liaksi, pehmentämään liimasaumaa ja parantamaan liiman täyttöominaisuutta. Täyteaineilla yritetään myös säätää liimanviskositeettia ja pyritään saamaan liiman hinta edullisemmaksi. (Puuproffa.fi.)

Synteettiset liimat voidaan jakaa kahteen luokkaan niiden kovettumistavan mukaan, fysikaalisesti kovettuviin ja kemiallisesti kovettuviin liimoihin. Kemiallisesti kovettuvat liimat alkavat kovettumaan kun liimaan lisätään kovete, jolloin alkaa kovettumisreaktio. Fysikaaliset liimat kovettuvat kun liimasaumasta haihtuu liiman liuotin. Erilaisia synteettisiä liimoja on lueteltu taulukossa 3. (Puuproffa.fi.)

Taulukko 3. Synteettiset liimat (Puuproffa.fi.)

Synteettisetliimat	
Liima	Kovettumistapa
PVAc-liima	Fysikaalinen
Kontaktiliima	Fysikaalinen
Sulateliima	Fysikaalinen
Urealiima	Kemiallinen
Fenoliliima	Kemiallinen
Resorsinoliliima	Kemiallinen
Polyuretaaniliima	Kemiallinen
Epoksiliima	Kemiallinen

3.4 Lämpöpuun liimaus

Lämpökäsitellyn puun liimaaminen ei onnistu niin hyvin kuin käsittelemättömän puun liimaus. Lämpöpuun liimattavuudella on paljon tekemistä lämpökäsittelyssä käytetyn lämpötilan kanssa ja korkeammassa lämpötilassa käsitelty puu liimaantuu huomattavasti nopeammin, koska lämpökäsittely huonontaa puun kykyä sitoa vettä, jolloin veden ja liiman imeytyminen puuaineeseen huononee. Korkea käsittelyaste heikentää myös puun leikkauslujuutta. Lämpökäsittelyssä puun lujuusominaisuudet suurilta osin heikkenevät, joka johtaa suuriin puusta murtumisprosentteihin leikkauslujuutta testattaessa. Puusta murtumisprosentti voi olla jopa 90–100 % jolloin liimasauma on murtunut puuaineesta eikä liiman kohdalta. Parempia liimaustuloksia saavutetaan kun liimataan puuta, jota on käsitelty pienemmässä lämpötilassa. (Thermowood käsikirja.)

4 PH-ARVO ASTEIKKO

Erilaisilla aineilla on olemassa eri vahvuisia happoja ja emäksiä (kuva 2). PH-asteikolla mitataan aineiden vesiliuosten happamuutta ja emäksisyyttä. PH-asteikon lukuarvo kertoo onko aine hapan, emäksinen vai neutraali. Jos pH-arvo on pienempi kuin 7, niin aine on hapan ja jos pH-arvo on suurempi kuin 7, niin aine on emäksinen. PH-arvon ollessa noin 7 on aine neutraali. (Peda.net.)

PH-arvo ilmoittaa kuinka paljon vesiliuoksessa on oksoniumioneja. Vesiliuoksessa on oksoniumioneja sitä enemmän, mitä pienempi pH-arvo on ja mitä pienempi pH-arvo on, sitä happamampaa aine on. Todella emäksiset ja happamat liuokset ovat syövyttäviä. (Peda.net.)

Aine	pH	Aine	pH
Akkuhappo	<1,0	Maito	6,5
Mahahappo	2,0	Tislattu vesi	7,0
Sitruunamehu	2,4	Ihmisen sylki	6,5–7,4
Kolajuomat	2,5	Veri	7,34 - 7,45
Etikka	2,9	Merivesi	8,0
Appelsiinimehu	3,5	Käsisäippua	9,0–10,0
Olut	4,5	Ammoniakki	11,5
Kahvi	5,0	Pyykinpesuaine	12,5
Tee	5,5	Kodin putkimies	13,0
Happosade	< 5,6	Lipeä (NaOH)	13,5

Kuva 2. Aineiden pH arvoja. (Peda.net.)

5 KOEKAPPALEIDEN KOESUUNNITELMA

Opinnäytetyön osana tehtiin myös kokeita, joissa koekappaleita testattiin leikkauslujuus-, delaminointi- ja keittokokeissa. Lisäksi verrattiin käsittelemättömän puun ja lämpöpuun välisiä pH-arvo eroja. Ennen koekappaleiden valmistuksen aloittamista tehtiin koesuunnitelma, jonka avulla pystyttiin suunnittelemaan montako ja minkälaisia koekappaleita valmistetaan sekä mitä kokeita jokaiselle koekappaleelle tehdään. Koekappaleita oli työssä yhteensä 542 koekappaletta, joista leikkauslujuuskokeisiin oli 256 kappaletta, Delaminointikokeisiin 128 kappaletta, keittokokeisiin 128 kappaletta ja pH-arvo testiin 30 kappaletta.

Ennen kokeiden aloittamista tehtiin koesuunnitelmataulukko, jonka avulla pystyttiin pitämään kirjaa koestettavista kappaleista. Koesuunnitelmataulukko löytyy kokonaisena liitteestä 1 ja taulukossa 4 näkyy esimerkki koesuunnitelmataulukosta

Taulukko 4. Esimerkki koesuunnitelmataulukko

Käsittelemättömät kappaleet							
Kpl	Laji	Liima	Liimamäärä	Puristusaine	Puristusaika	Avoin aika	Testi
1.1.1	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.2	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.3	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.4	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.5	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.6	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.7	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.8	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.2.1	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.2.2	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.2.3	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.2.4	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.3.1	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
1.3.2	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
1.3.3	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
1.3.4	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.1.1	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.2	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.3	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.4	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.5	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.6	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.7	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.8	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.2.1	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.2.2	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.2.3	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.2.4	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.3.1	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.3.2	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.3.3	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe

Leikkauslujuustesti tehtiin standardin EN-392 mukaisesti. Leikkauslujuustestillä pyrittiin testaamaan, kuinka koekappaleen liimasauma kestää leikkaussuunnassa kohdistettua voimaa. Kokeista saatiin tuloksiksi liimasauman pettämiseen tarvittava voima ja puusta murtumisprosentti.

Delaminointikoe tehtiin standardin EN-391 mukaisesti. Delaminointikokeella pyrittiin testaamaan kuinka hyvin koekappaleiden liimasaumat kestävät vedellä täytetyssä painesäiliössä, jossa on ylipainetta. Kokeesta saatiin tulokseksi liimasauman delanoitumisprosentti eli kuinka paljon liimasauma aukesi kokeen aikana.

Keittokokeeseen ei ole omaa standardia, joten koekappaleet tehtiin delaminointikokeen mukaisesti. Keittokokeella pyrittiin testaamaan, kuinka hyvin koekappaleiden liimasaumat kestävät keittämistä kiehuvässä vedessä. Kokeesta saatiin tulokseksi liimasauman delanoitumisprosentti eli kuinka paljon liimasauma aukesi kokeen aikana.

pH-arvo koe tehtiin keittämällä koekappaleet kiehuvässä vedessä ja mittaamalla liuoksen pH-arvo. Jokaisella keitto kerralla ionivaihdettua vettä oli sama määrä ja keitetyn liuoksen pH-arvo mitattiin nesteen pH-arvon mittaamiseen tarkoitetulla mittarilla. Ennen mittausta pH mittarin toimivuus ja kalibrointi testattiin puskuri liuoksella, jonka pH-arvo oli 4.

6 KOEKAPPALEIDEN VALMISTUS

Koekappaleet tehtiin viidestä erilaisesta puumateriaalista, joista kolme oli lämpöpuuta ja kaksi oli käsittelemätöntä sahatavaraa. Puumateriaalit olivat: käsittelemätön mänty, käsittelemätön kuusi, Thermo-D mänty, Thermo-D kuusi ja Thermo-S kuusi. Lisäksi työssä tehtiin lämpöpuille vertaiskappaleet, joiden pinta käsiteltiin Sartek 2 -korkea pH-arvoisella pesuaineella, joten työssä oli yhteensä 8 eri puumateriaaliluokkaa. Koekappaleiden liimauksessa käytettiin neljää erilaista liimaa: PVAc-liimaa, PUR-liimaa, EPI-liimaa ja MUF-liimaa.

Käytettävissä olevan sahatavaran dimensiot olivat 50x100 (mänty), 50x100 (kuusi), 50x100 (mänty TD), 50x150 (kuusi TD) ja 39x92 (kuusi TS). Aluksi jokaisesta puumateriaaliluokasta sahattiin kuusitoista (16) 500 mm:n pituista lautaa eli yhteensä 128 lautaa (kuva 3). Lisäksi jokaisesta puumateriaaliluokasta sahattiin kuusi 75 mm:n pituista koepalaa pH-arvokoetta varten. Koska Kuusi TD:tä oli liian vähän tarvittavaan lautamäärään nähden, puolitettiin laudat 75 mm:n levyisiksi. Sahauksen jälkeen laudan lape ja syrjä höylättiin ensin oikohöylällä tasaiseksi, jonka jälkeen kaikki paitsi Kuusi TS laudat höylättiin tasohöylällä 35 mm paksuisiksi. Kuusi TS laudat höylättiin 30 mm paksuisiksi.



Kuva 3. Sahattuja mänty ja kuusi lautoja. Kuva Ville Räsänen 2015

Höyläyksen jälkeen puolet lämpöpuulaidoista eli 48 lautaa käsiteltiin Sartek 2-pesuaineella. Pesuainetta levitettiin lautojen liimattaville pinnoille siveltimellä tasaisesti, niin että koko pinta oli käsitelty. Tämän jälkeen lautojen annettiin kuivua käsitelty puoli ylöspäin (kuva 4).



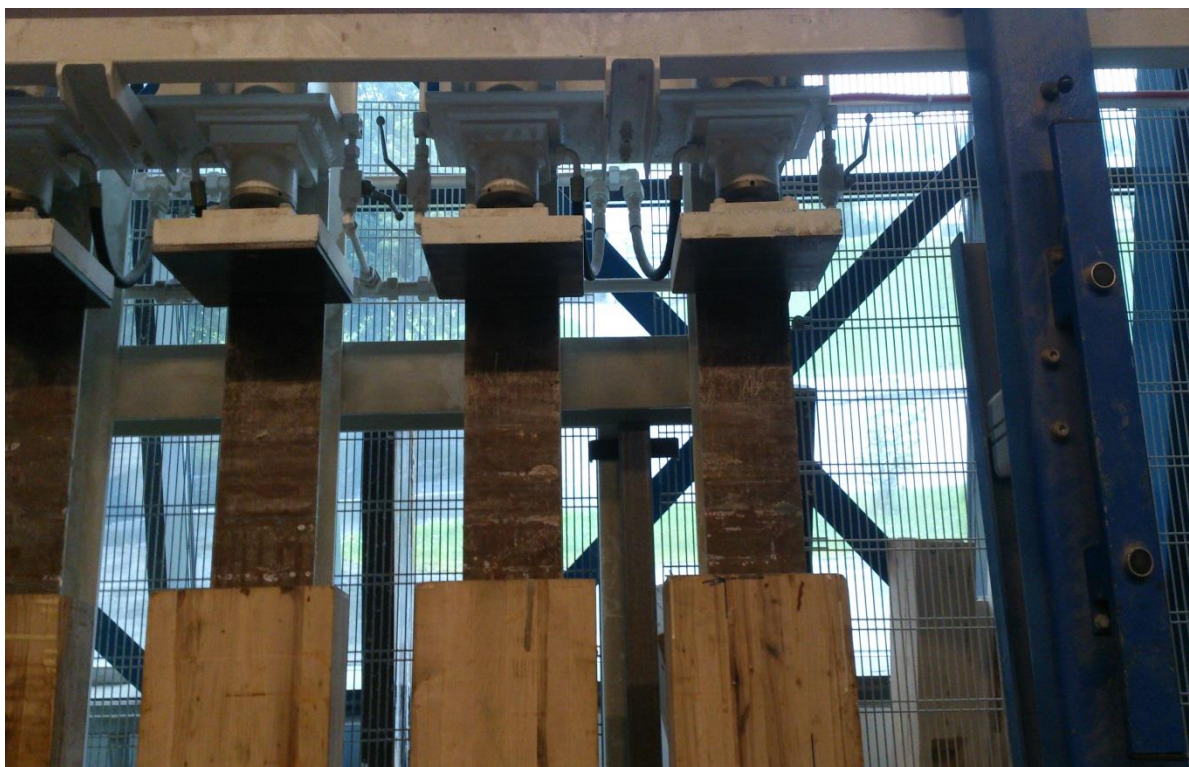
Kuva 4. PH käsitellyt laudat kuivumassa. Kuva Ville Räsänen 2015

Kun kaikki käsitellyt laudat olivat kuivuneet, aloitettiin lautojen liimaaminen aihioiksi. Liimojen levitysmäärät laskettiin jokaiselle koeluokalle erikseen kertomalla liiman ohjeiden mukainen levitysmäärä koekappaleen liimattavan pinnan pinta-alalla, jolloin saadaan oikea levitysmäärä per koekappale. Taulukossa 5 on kerrottu työssä käytetyt liimojen levitysmäärät koekappaleille.

Taulukko 5. Liimojen levitysmäärät

Liimojen levitysmäärät					
Liima	Mänty	Kuusi	Mänty TD	Kuusi TD	Kuusi TS
PVAc	9,0 g	9,0 g	7,5 g	6,9 g	5,6 g
PUR	9,0 g	9,0 g	7,5 g	6,9 g	5,6 g
EPI	9,6 g	9,6 g	8,0 g	7,4 g	6,0 g
MUF	7,8 g	7,8 g	6,5 g	6,0 g	4,9 g

Liimat laitettiin käyttövalmiiksi liiman ohjeiden mukaisesti ja liimaa levitettiin puun pinnalle siveltimellä suunnilleen oikea määrä. Liimanmäärän mittaamiseen käytettiin apuna pientä vaakaa. Liimattavat ahiot koostuivat aina kahdesta laudasta. Liiman levityksen jälkeen ahiot laitettiin puristimeen (kuva 5) ja ajan säästämiseksi puristukseen laitettiin kerralla neljä ahiota päällekkäin.



Kuva 5. Palkkipuristin. Kuva Ville Räsänen 2015

Aihiot olivat puristuksessa liiman ohjeiden mukaisen puristusajan ja puristusaine laskettiin jokaiselle Puumateriaali luokalle erikseen. Puristusaineet saatiin laskettua kertomalla liiman ohjeiden mukainen puristusaine liimattavan pinnan pinta-alalla, jonka jälkeen niiden tulo jaettiin puristimen sylinterien pinta-alalla. Työssä jouduttiin kuitenkin pienentämään käytettyjä puristusaineita, koska lämpöpuut eivät kestäneet laskettuja puristusaineita. Taulukossa 6 on kerrottu työssä käytetyt puristusaineet aihioille.

Taulukko 6. Puristusaineet

Puristusaineet					
Liima	Mänty	Kuusi	Mänty TD	Kuusi TD	Kuusi TS
PVAc	80 bar	80 bar	63 bar	58 bar	48 bar
PUR	80 bar	80 bar	63 bar	58 bar	48 bar
EPI	80 bar	80 bar	63 bar	58 bar	48 bar
MUF	80 bar	80 bar	63 bar	58 bar	48 bar

Puristuksen jälkeen liiman annettiin vielä jälkikovuutta 24 tuntia. Seuraavaksi valmiista aihioista sahattiin oikean kokoiset koepalat jokaista koetta varten. Ensin aihioista sahattiin pienet pätkät reunoista pois, jonka jälkeen jokaisesta eri koeluokan aihioista sahattiin neljä 50 mm:n pituisia palaa leikkauslujuuskokeita varten ja kahdeksan 75 mm:n pituisia palaa delaminointi- ja keittokokeita varten. Tämän jälkeen leikkauslujuuskoeappaleet sahattiin vielä puoliksi jotta, saatiin kahdeksan vertaiskappaletta kokeita varten.

Kappaleiden sahauksien jälkeen kappaleet numeroitiin koesuunnitelmataulukon mukaisesti ja vietiin odottamaan koeistuksia. Joidenkin lämpöpuu koekappaleiden liimasaumat pettivät jo sahauksen aikana tai ennen koestusta, jolloin nämä kappaleet hylättiin, eikä niitä huomioitu tuloksissa.

7 TESTAUS

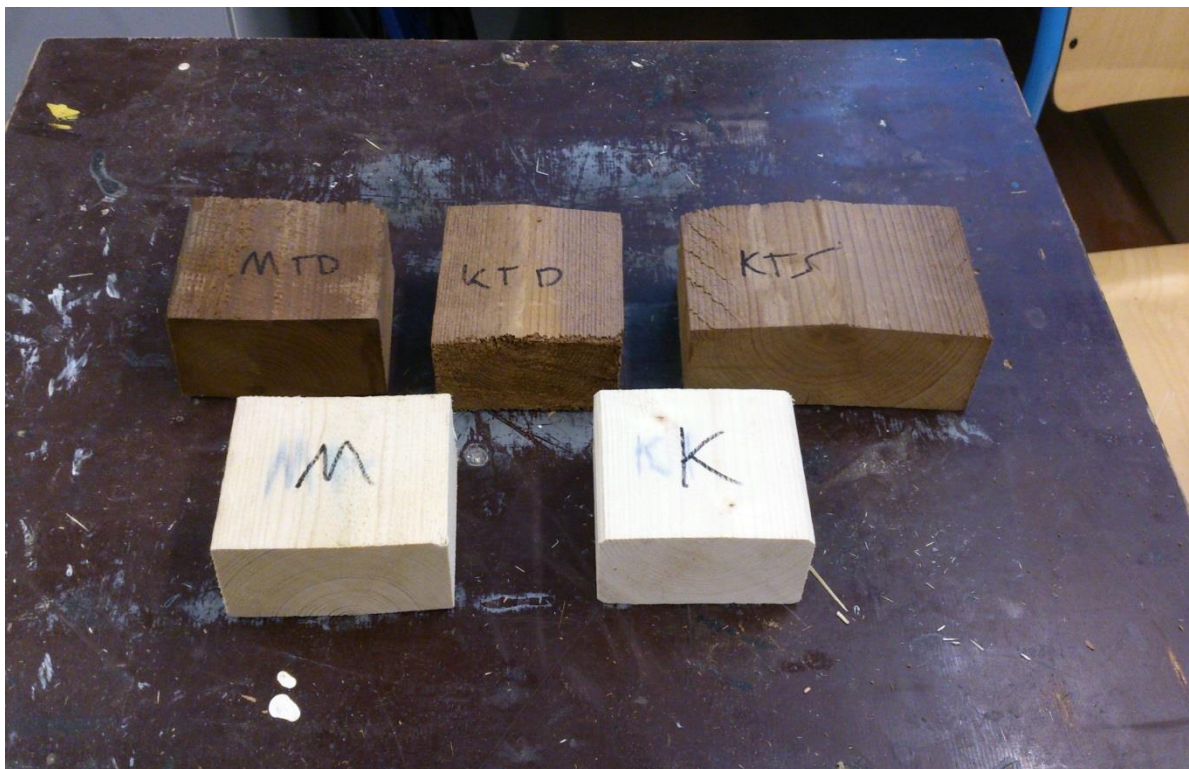
7.1 pH-arvo testi

Koekappaleet laitettiin keittoastiaan (kuva 6) ja päälle laitettiin ritilä painojen kanssa, jotta koekappaleet pysyivät upoksissa. Keittoastiaan lisättiin 8 litraa ionivaihdettua vettä ja laitettiin vesi kiehumaan. Koekappaleiden (kuva 7) annettiin kiehua vedessä 20 min, jonka jälkeen vedestä mitattiin liuoksen pH-arvo nesteen mittaamiseen tarkoitetulla pH mittarilla. Jokaisella puumateriaaliluokalla keitettiin kolme liuosta, joista taulukoitiin tulokset ja laskettiin liuosten pH



keskiarvo.

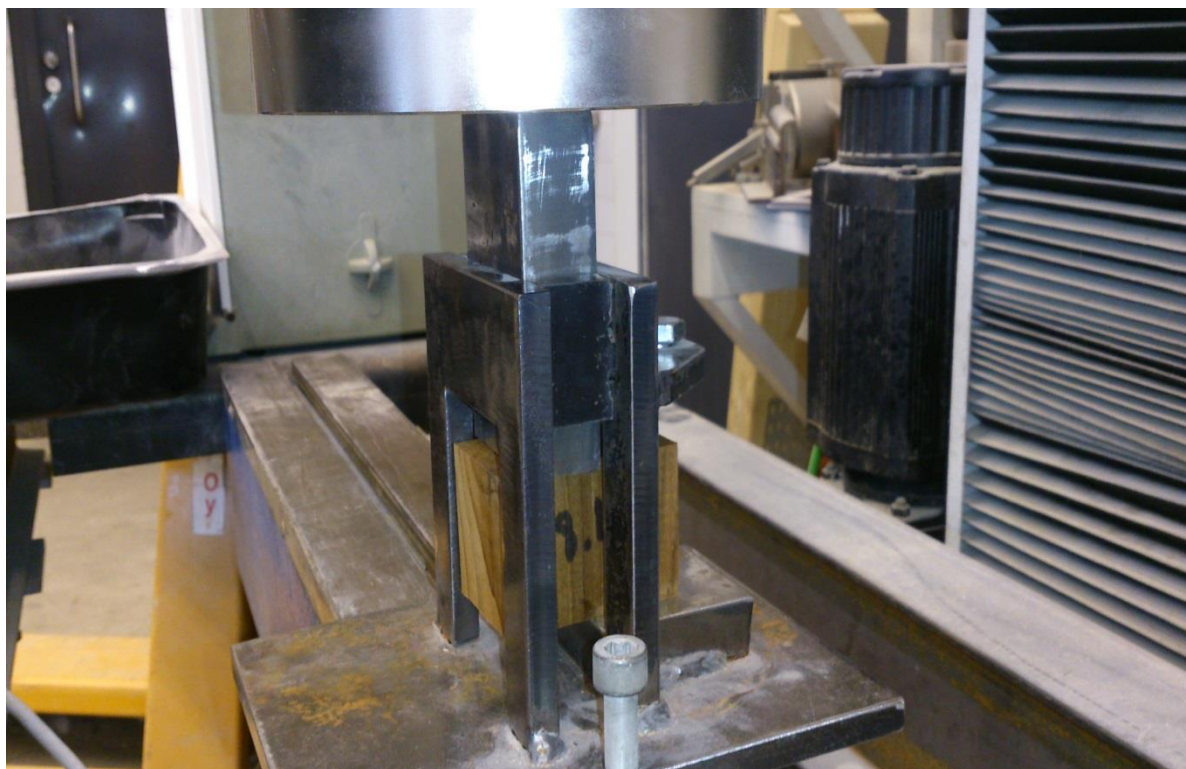
Kuva 6. Keittoastia. Kuva Ville Räsänen 2015



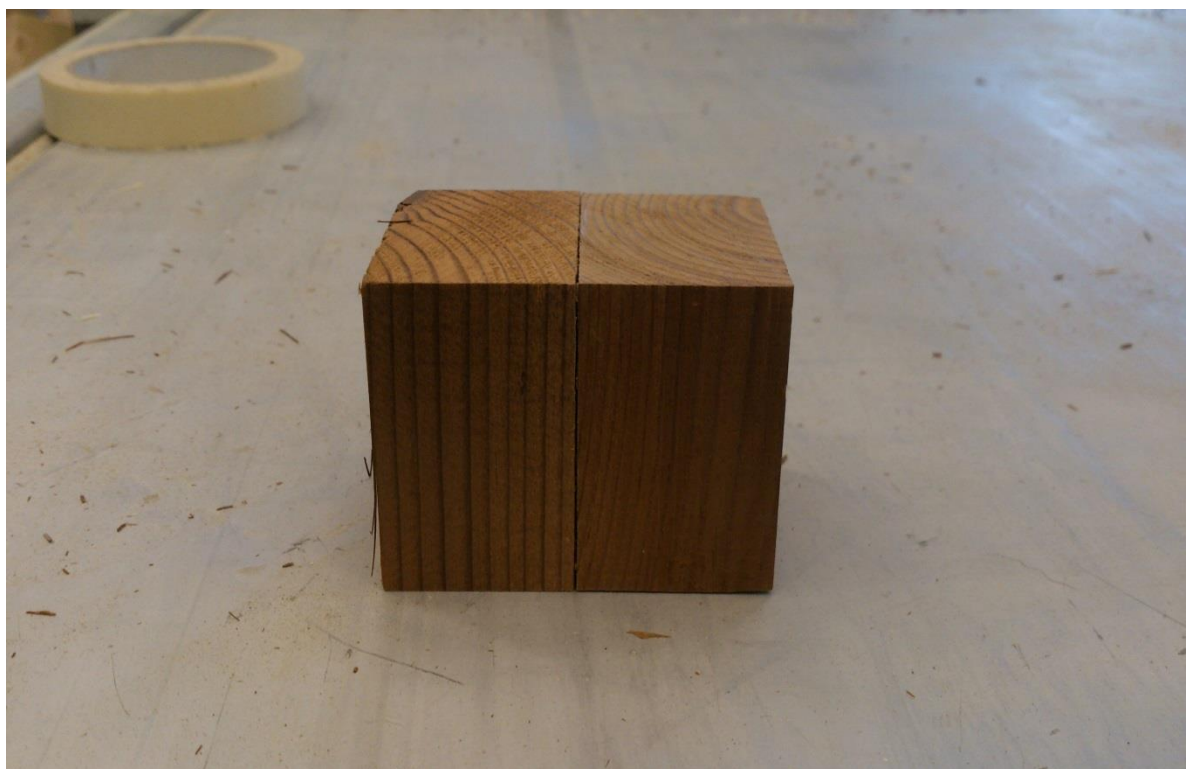
Kuva 7. pH arvo testin koekappaleet. Kuva Ville Räsänen 2015

7.2 Liimasauman leikkauslujuus

Koe suoritettiin standardin EN 392 mukaisesti. Koe tehtiin TIRA lujuuksien testauskoneella. Kokeessa koekappale laitettiin niin sanottuun giljotiiniin (kuva 8) sillä tavalla, että liimasauma asetettiin juuri giljotiinin reunan kohdalla. Kun kappale oli paikoillaan, kohdistettiin giljotiiniin yläosaan voimaa TIRAlla. Koe loppui, kun koekappaleen (kuva 9) vahvuus pieneni alle 50 %:iin. Tuloksista kirjattiin ylös voima, jolloin koekappale petti ja puunmurtumisprosentti.



Kuva 8. Leikkauslujuuskokeen giljotiini. Kuva Ville Räsänen 2015



Kuva 9. Leikkauslujuuskokeen koekappale. Kuva Ville Räsänen 2015

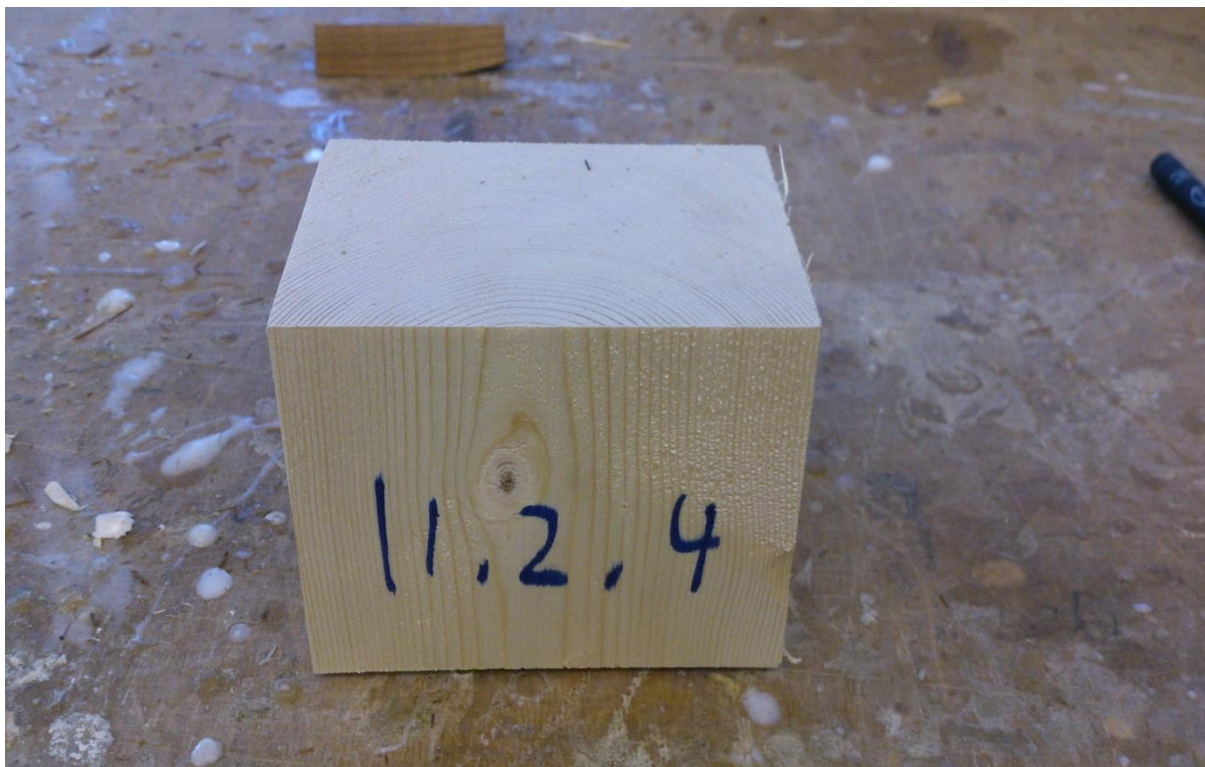
7.3 Delaminointi

Koe tehtiin standardin EN 391 mukaisesti. Aluksi koekappaleilta mitattiin massat ja kirjattiin ne ylös. Seuraavaksi koekappaleet asetettiin painesäiliöön (kuva 10) metallisessa astiassa, joka täytettiin huoneenlämpöisellä vedellä niin, että kappaleet olivat upoksissa. Koekappaleiden (kuva 11) kelluminen estettiin ritilällä ja painoilla. Painesäiliöön laitettiin 600 kPa:n ylipaine ja annettiin koekappaleiden olla paineistuksessa 2 tunnin ajan. Tämän jälkeen koekappaleita kuivattiin 24 tuntia 60 °C:n lämpötilassa. Kuivauksen jälkeen kappaleista punnittiin massat, ja jos kappaleet eivät olleet tarpeeksi kuivia, niin kappaleet laitettiin takaisin kuivausuuniin. Koekappaleet olivat tarpeeksi kuivia, kun niiden massa oli enintään 10 % suurempi kuin kappaleiden alkuperäispaino. Kuivista kappaleista kirjattiin ylös kappaleiden massat ja mitattiin viivoittimella liimasauman delaminointuminen.

Delaminointuminen mitattiin sahattujen reunojen liimasaumojen aukeamisen yhteismäärästä. Koekappaleiden delaminointumisprosentti saatiin vähentämällä auenneen liimasauman pituus kappaleen kokonais liimasauman pituudesta.



Kuva 10. Delaminointikokeessa käytetty painesäiliö. Kuva Ville Räsänen 2015



Kuva 11. Delaminointikokeen koekappale. Kuva Ville Räsänen 2015

7.4 Keittokoe

Koska keittokokeelle ei ollut omaa standardia, koekappaleet (kuva 12) oli valmistettu delaminointitestin mukaisesti. Aluksi koekappaleilta punnittiin massat ja sitten ne laitettiin keittoastiaan, joka täytettiin vedellä niin, että koekappaleet olivat upoksissa. Kappaleiden päälle laitettiin ritilä painojen kanssa, jotta koekappaleet pysyivät upoksissa. Kappaleiden annettiin kiehua yhtämittaisesti neljä tuntia, jonka jälkeen kappaleet laitettiin kuivausuuniin. Kappaleita kuivattiin 24 tuntia 60 °C: n lämpötilassa. Kuivauksen jälkeen kappaleista punnittiin massat, ja jos kappaleet eivät olleet tarpeeksi kuivia, niin kappaleet laitettiin takaisin kuivausuuniin. Koekappaleet olivat tarpeeksi kuivia, kun niiden massa oli enintään 10 % suurempi kuin kappaleiden alkuperäispaino. Kuivista kappaleista kirjattiin ylös kappaleiden massat ja mitattiin viivoittimella liimasauman aukeneminen (kuva 13). Tulokset kirjattiin ylös samalla tavalla kuin delaminointikokeessa.



Kuva 12. Keittokokeen koekappale. Kuva Ville Räsänen 2015



Kuva 13. Esimerkki liimasauman aukeamisesta. Kuva Ville Räsänen 2015

8 TULOKSET

8.1 pH-arvo testi

pH-arvo testissä saatiin tulokseksi, että lämpökäsitellynpuun pH-arvo on selkeästi pienempi kuin käsittelemättömällä puulla eli lämpöpuu on happamampaa kuin käsittelemätön puu. Testin tuloksien perusteella puun lämpökäsittelyasteella on merkitystä pH-arvoon, koska mitä korkeampikäsitteleyaste puulla oli, niin sitä pienempi oli liuoksen pH-arvo. käsittelemättömistä puista mänty oli hieman happamampaa kuin kuusi. Testin tulokset ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. pH arvo testin tulokset

pH-arvo testi				
Laji	1. liuos	2. liuos	3. liuos	Keskiarvo
Mänty	9,33	9,44	9,39	9,39
Kuusi	9,52	9,55	9,61	9,56
Mänty TD	8,72	8,8	8,71	8,74
Kuusi TD	8,72	8,69	8,66	8,69
Kuusi TS	8,17	8,14	8,21	8,17

Testissä saadut tulokset olivat selvästi korkeampia kuin lähdeaineistossa. Lähdeaineiston mukaan puuaineen pH-arvon tulisi yleisimmillä suomalaisilla puulajeilla olla välillä 4,5 ja 5,5 eli paljon happamampaa kuin testissä saadut tulokset. (edu.fi) Korkeista pH-arvoista huolimatta testissä kuitenkin saatiin todettua se, että puun lämpökäsittely pienentää puun pH-arvoa.

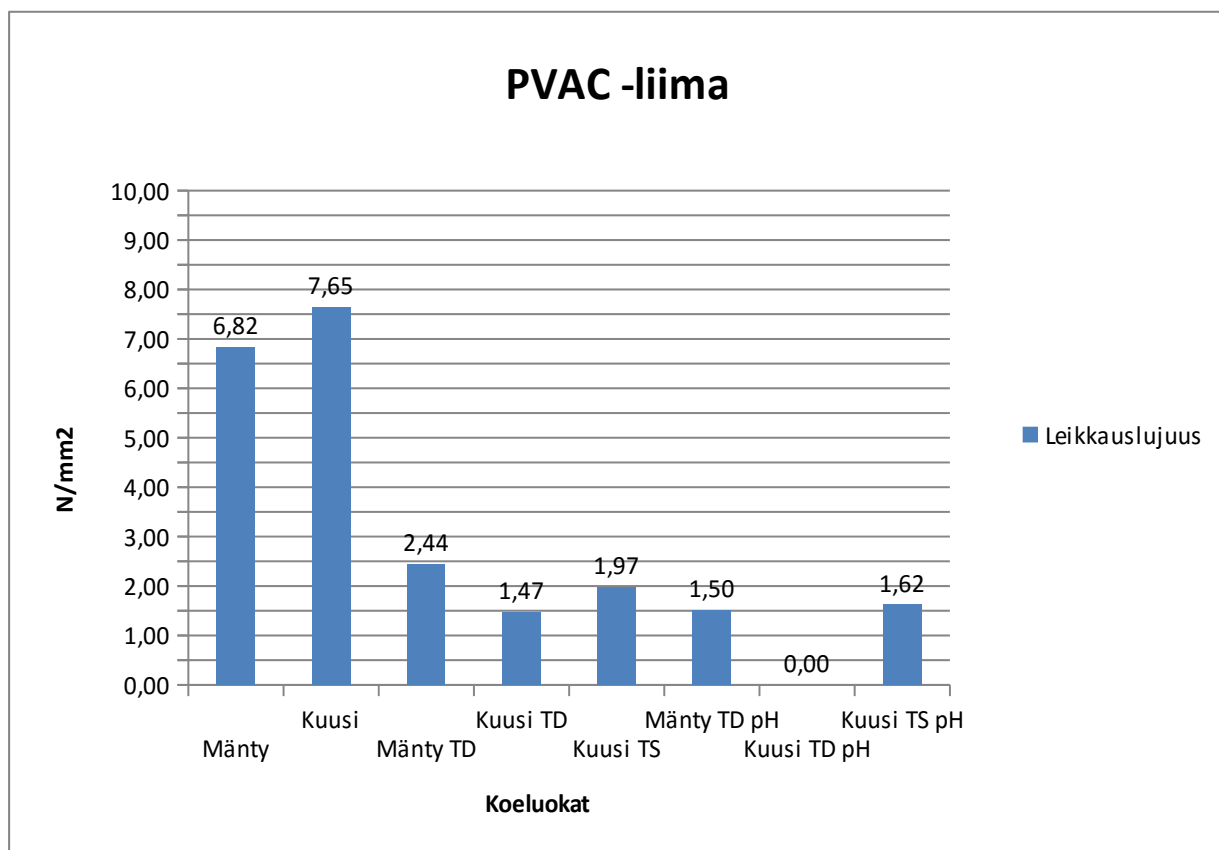
8.2 Leikkauslujuuskoe

Leikkauslujuuskokeiden tulostaulukosta hylättiin keskiarvoja määritettäessä muutama koekappale, koska niiden liimaus oli selvästi epäonnistunut. Hylätyt kappaleet merkittiin taulukkoon harmaalla. Joidenkin kappaleiden liimasauma petti jo ennen koetta, joten niistä ei ole tulosta ollenkaan. Leikkauslujuuskokeiden tulostaulukko löytyy liitteestä 2 ja taulukossa 8 näkyy esimerkki leikkauslujuuskokeiden tulostaulukosta.

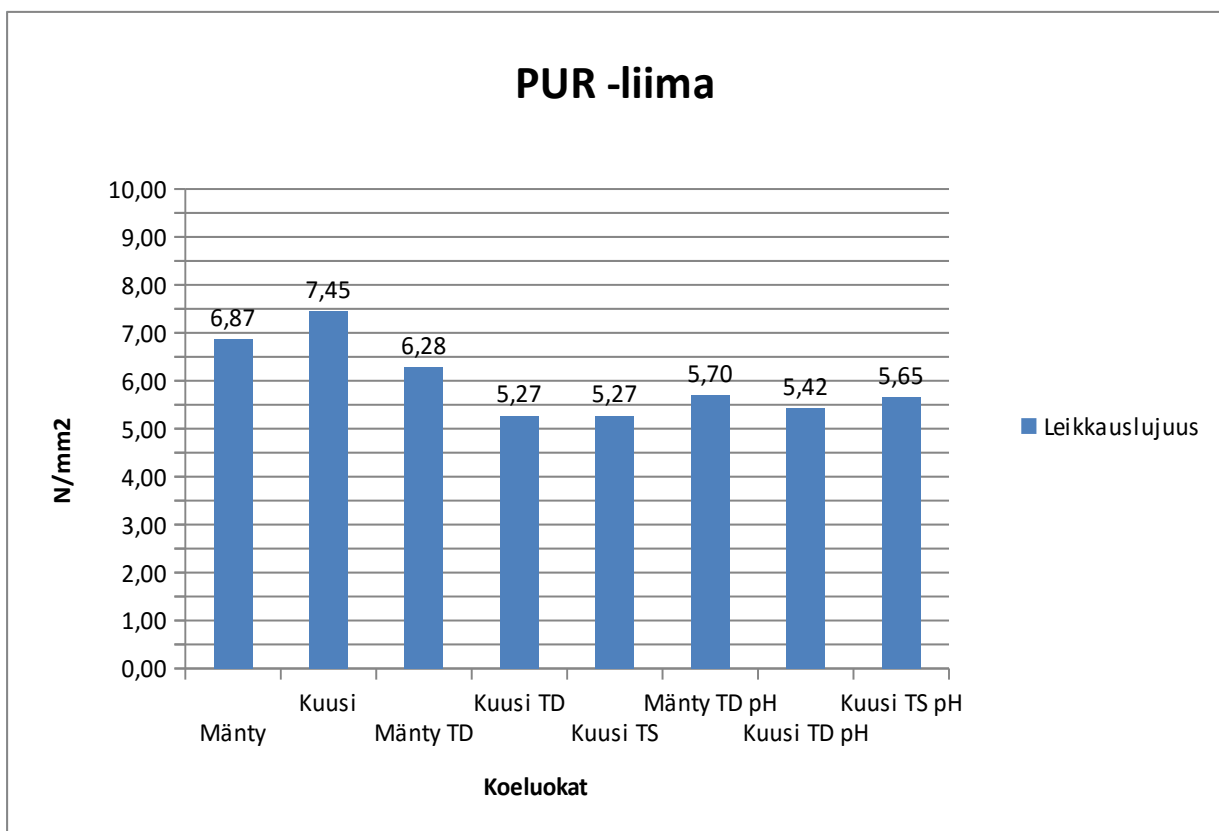
Taulukko 8. Esimerkki leikkauslujuuskokeen tulostaulukko

Kpl	Puustaurtuma %	F (N)	A (mm ²)	Fv (N/mm ²)
1.1.1	100 %	16610	2250	7,38
1.1.2	10 %	14749	2250	6,56
1.1.3	20 %	14518	2250	6,45
1.1.4	0 %	15385	2250	6,84
1.1.5	20 %	15377	2250	6,83
1.1.6	0 %	16308	2250	7,25
1.1.7	10 %	14339	2250	6,37
1.1.8	70 %	15547	2250	6,91
2.1.1	30 %	18000	2250	8,00

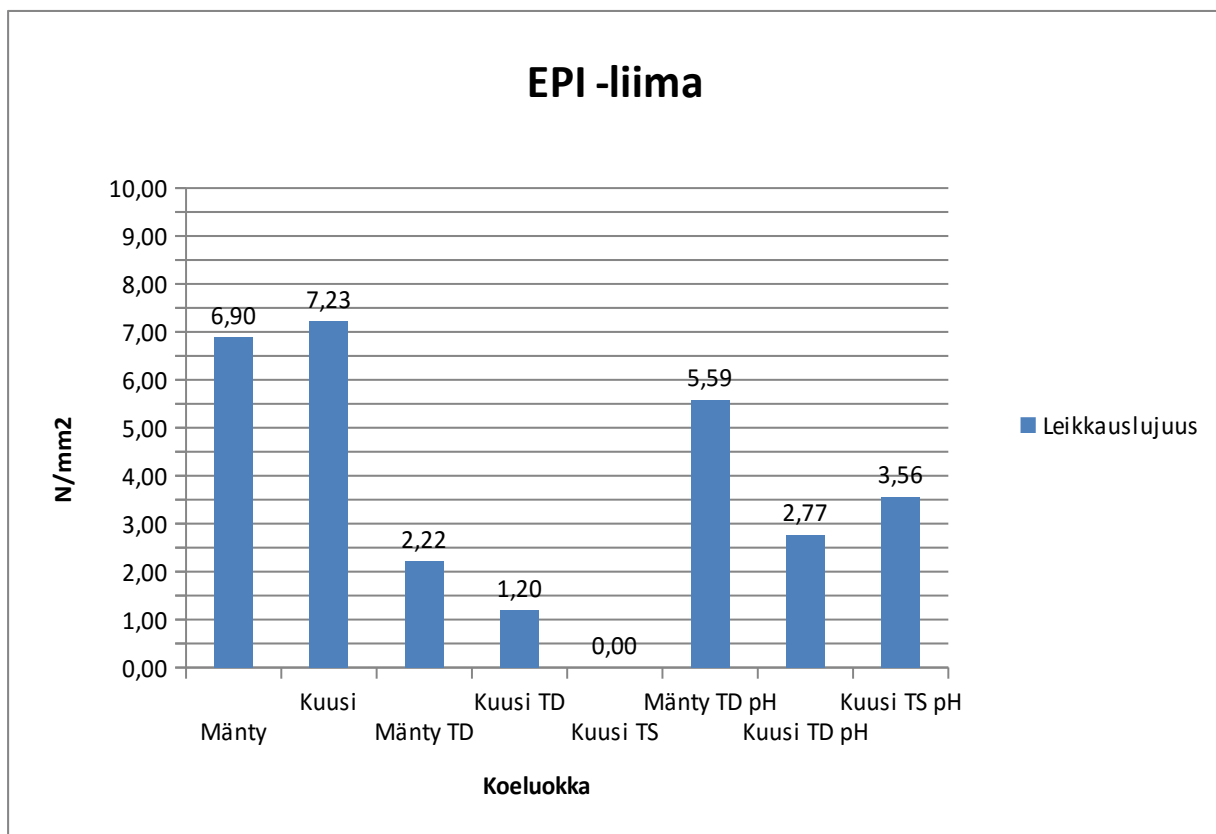
2.1.2	30 %	17679	2250	7,86
2.1.3	10 %	18513	2250	8,23
2.1.4	40 %	14675	2250	6,52
2.1.5	70 %	19175	2250	8,52
2.1.6	50 %	18456	2250	8,20
2.1.7	50 %	15898	2250	7,07
2.1.8	80 %	15229	2250	6,77
3.1.1	0 %	2072	2250	0,92
3.1.2	10 %	9184	2250	4,08



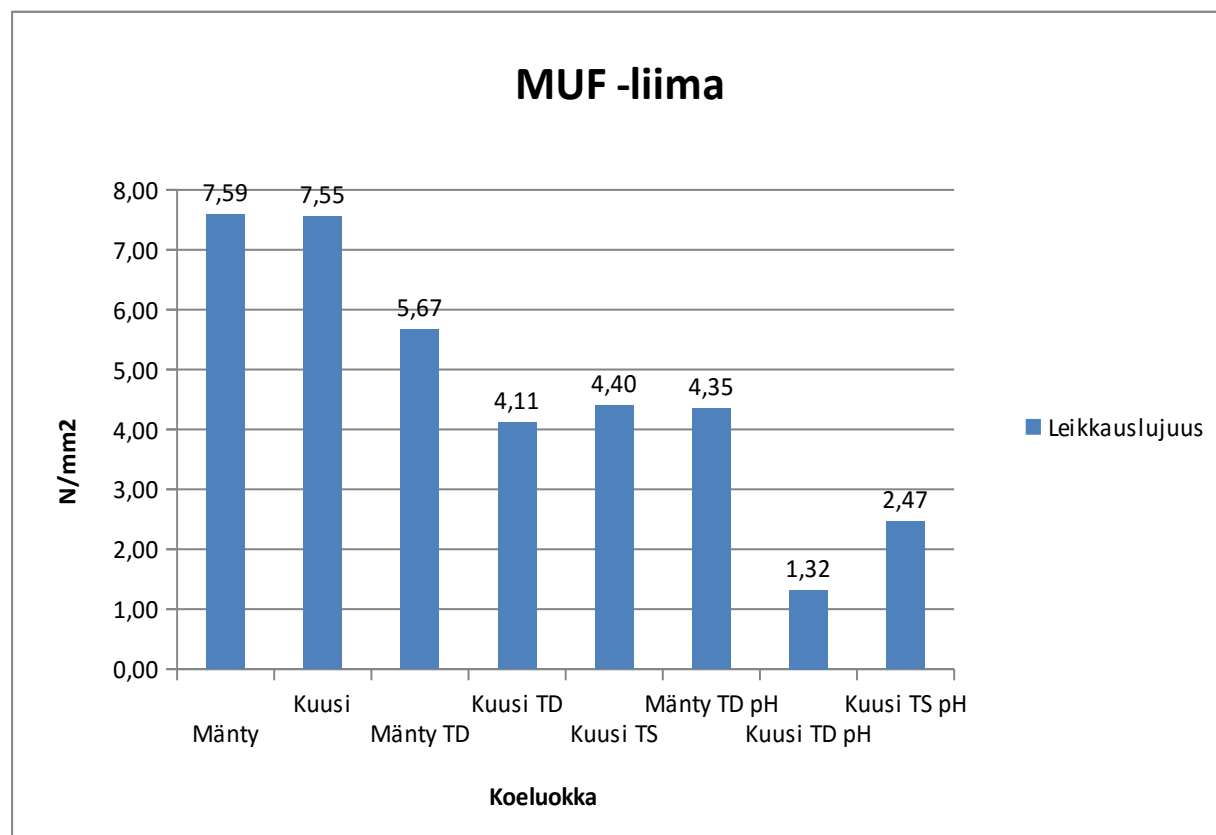
Kuvio 1. PVAc-liimalla liimattujen koekappaleiden leikkauslujuuden keskiarvot



Kuvio 3. PUR-liimalla liimattujen koekappaleiden leikkauslujuuden keskiarvot



Kuvio 4. EPI-liimalla liimattujen koekappaleiden leikkauslujuuden keskiarvot



Kuvio 5. MUF-liimalla liimattujen koekappaleiden leikkauslujuuden keskiarvot

Niin kuin taulukosta 8 nähdään, puusta murtumisprosentit olivat lämpökäsitellyllä puulla selvästi pienempää kuin käsittelemättömällä puulla eli lämpöpuut pettivät enemmän liimasauman kohdalta. pH ei ollut suurta vaikutusta puusta murtumisprosentteihin ja suurimmat puusta murtumisprosentit

lämpöpuille saatiin PUR-liimalla. Pienimmät puusta murtumisprosentit lämpöpuille saatiin EPI-liimalla eli sillä liimatut kappaleet pettivät lähes aina kokonaan liimasaumasta. PH käsitellyt EPI-liimakappaleet kuitenkin pettivät selvästi vähemmän liimasauman kohdalta kuin käsittelemättömät lämpöpuut.

PVAc-liima ei toiminut hyvin lämpöpuiden kanssa, kuten kuviosta 1 nähdään. PVAc:lla liimattujen lämpöpuiden leikkauslujuus oli vain noin kolmasosan käsittelemättömiin puihin verrattuna ja pH käsitellyt koekappaleet kestivät vielä huonommin. Kuusi TD pH koekappaleista yhdenkään liimasauma ei kestänyt edes kokeeseen asti, vaan liimasaumat pettivät jo ennen sitä.

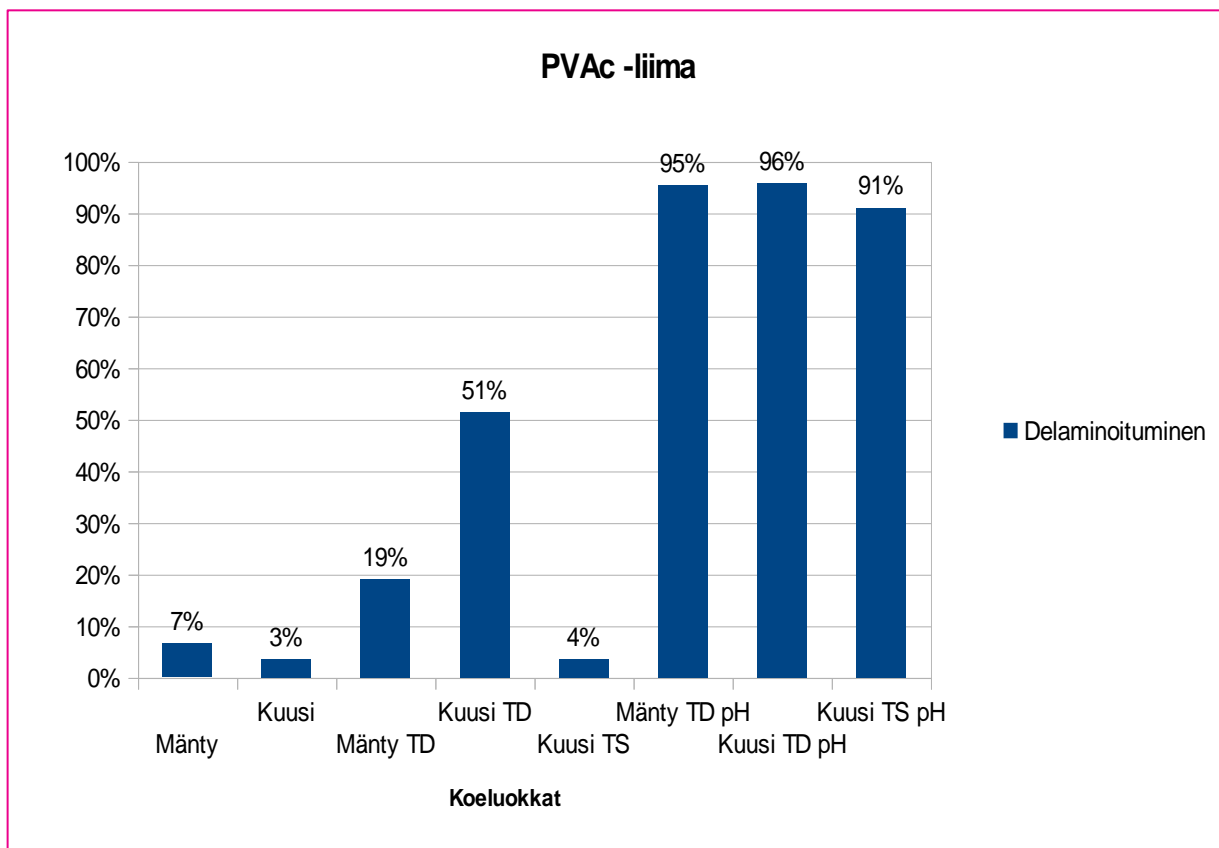
PUR-liima toimi tässä työssä lämpöpuiden kanssa parhaiten, kuten kuviosta 2 nähdään. PUR-liimalla liimattujen lämpöpuiden leikkauslujuus oli hieman huonompi kuin käsittelemättömien puiden ja selvästi muista liimoista tehokkain lämpöpuun liimauksessa. PH käsitellyllä ei ollut huomattavaa merkitystä leikkauslujuuteen.

EPI-liima toimi tässä työssä huonoiten lämpöpuiden kanssa, kuten kuviosta 3 nähdään. EPI-liimalla liimattujen lämpöpuiden leikkauslujuus oli selvästi huonompi kuin käsittelemättömien puiden ja selvästi muista liimoista huonompi lämpöpuun liimauksessa. Kuusi TS koekappaleista yhdenkään liimasauma ei kestänyt edes kokeeseen asti, vaan liimasaumat pettivät jo ennen sitä. PH käsittely paransi kuitenkin EPI-liiman liimautuvuutta lämpöpuuhun ja leikkauslujuus oli selkeästi parempi pH käsitellyillä lämpöpuilla kun käsittelemättömillä lämpöpuilla.

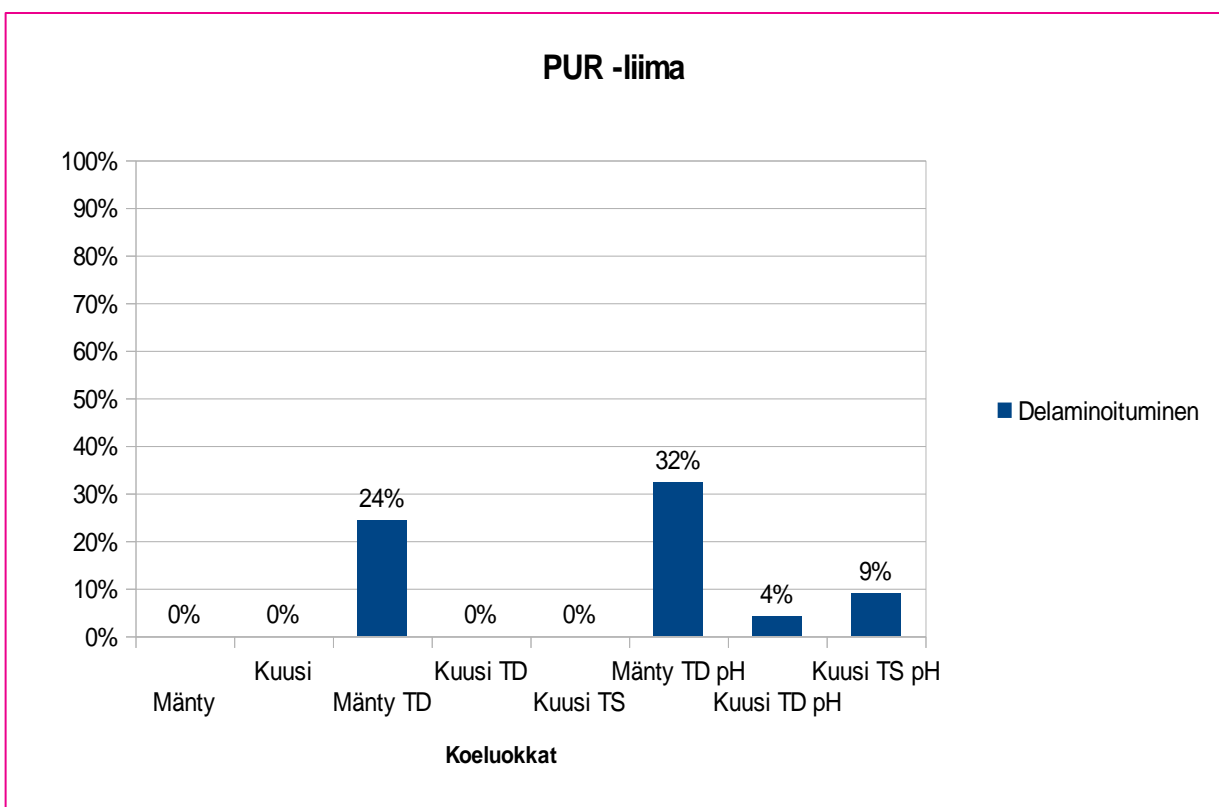
MUF-liima toimi PUR-liiman jälkeen parhaiten lämpöpuiden kanssa sekä muita liimoja paremmin käsittelemättömien puiden kanssa, kuten kuviosta 4 nähdään. MUF-liimalla liimattujen lämpöpuiden leikkauslujuus oli hyvä, mutta silti selkeästi huonompi kuin käsittelemättömällä puulla. PH käsittely huononsi MUF-liiman liimautuvuutta selvästi, paitsi Mänty TD pH koekappaleiden kohdalla.

8.3 Delaminointikoe

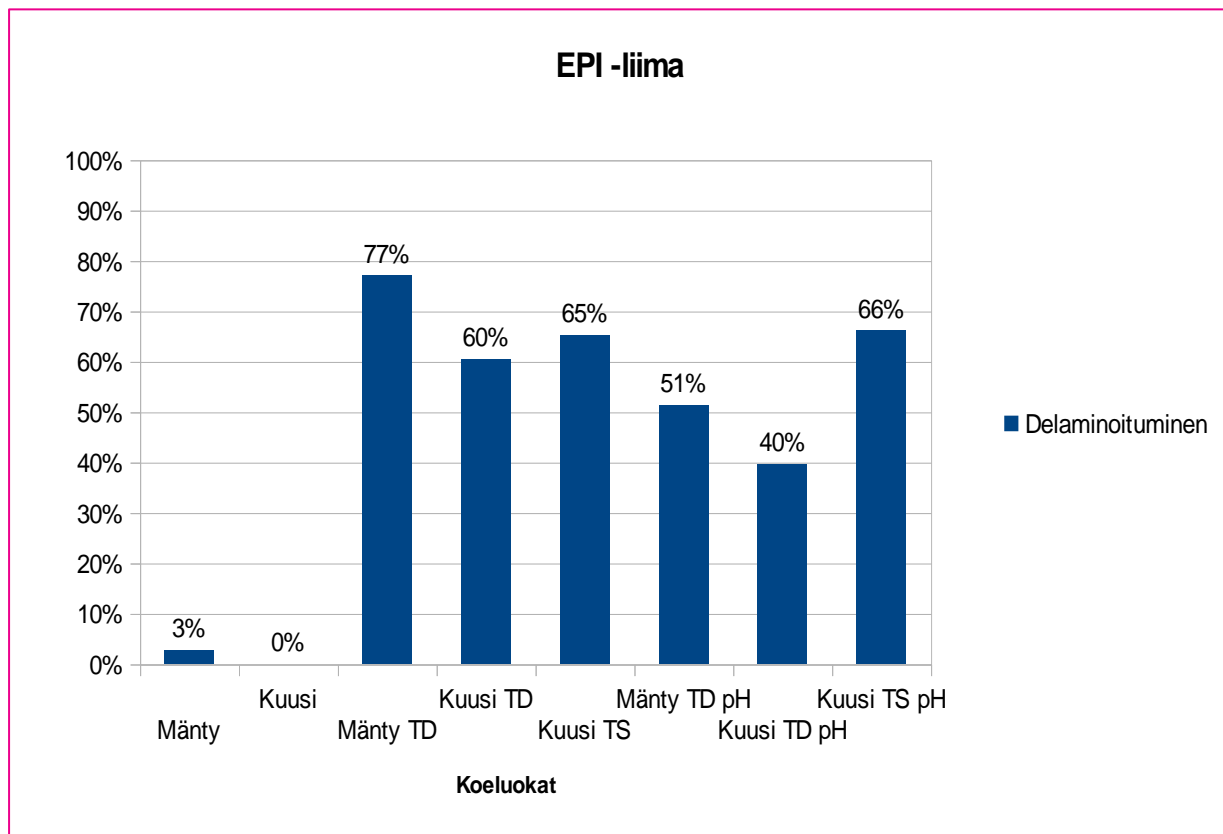
Delaminointikokeen koekappaleista kaikkien liimasauma kesti koestukseen asti, joten kaikista saatiin tulos kirjattua.



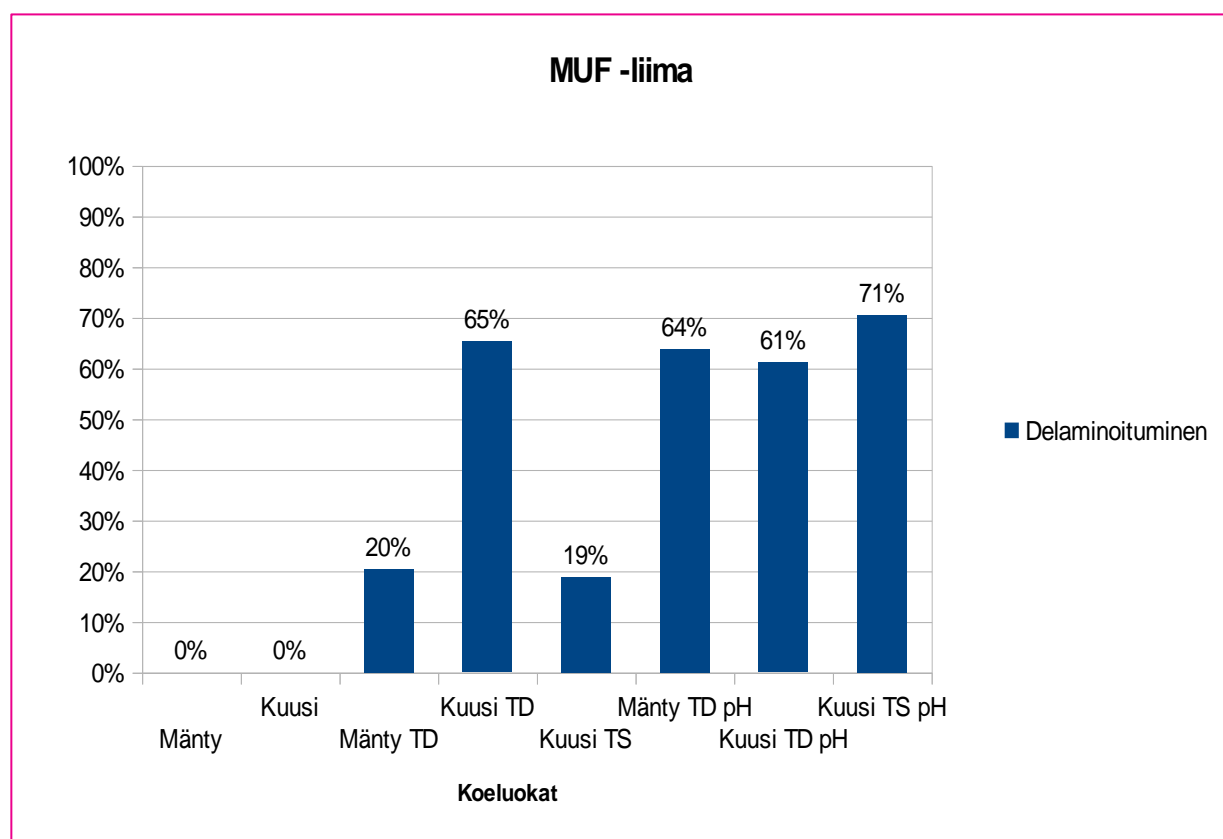
Kuvio 6. PVAc-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo



Kuvio 7. PUR-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo



Kuvio 8. EPI-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo



Kuvio 9. MUF-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo

PVAc-liimalla liimatut koekappaleet kestivät delaminoinnin suhteellisen hyvin, kuten kuviosta 6 nähdään. Käsittelemättömien lämpöpuiden liimasauvan aukeaminen ei ollut paljon suurempaa kuin

käsitlemättömillä puilla, pois lukien Kuusi TD, jonka liimasaumat olivat auenneet keskimäärin 51 %. PH käsitellyt lämpöpuut eivät kestäneet delaminointia hyvin ja kaikkien koekappaleiden liimasauma oli auennut kokonaan tai oli vain enää pienestä kiinni.

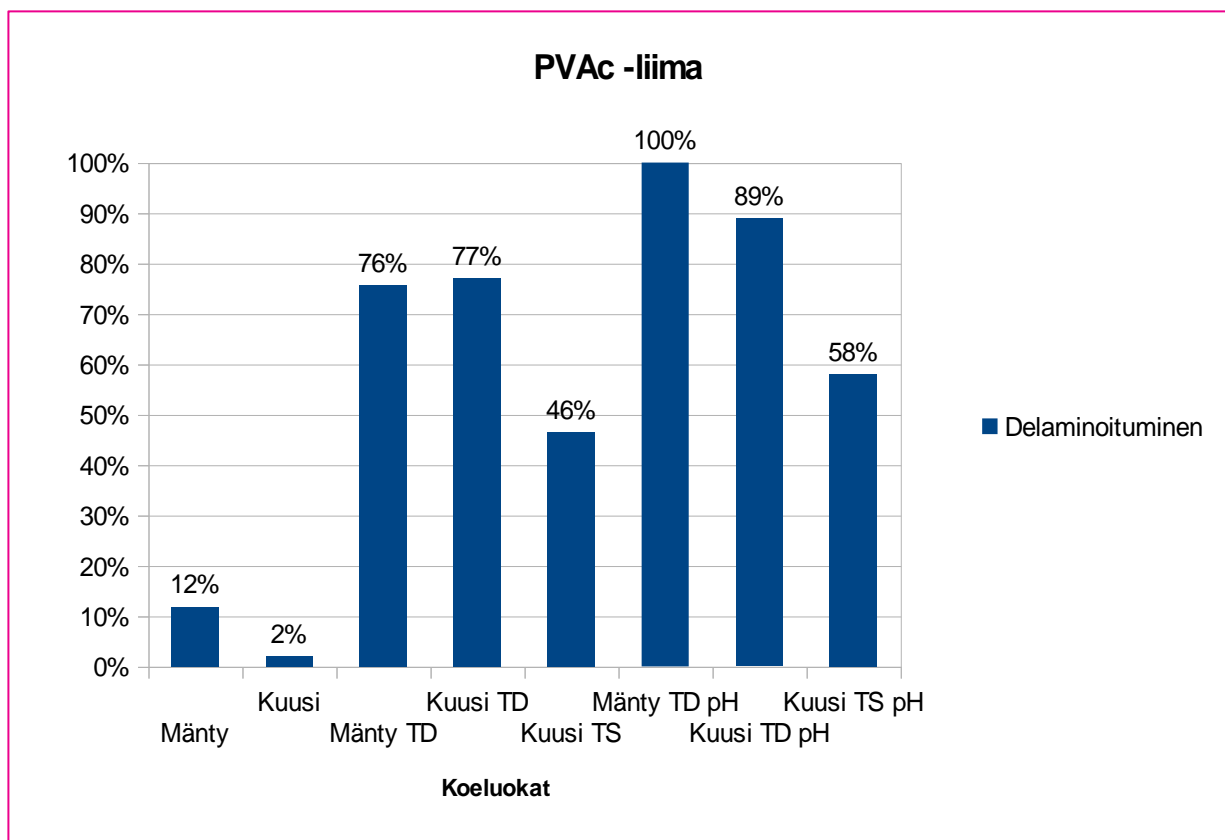
PUR-liimalla liimatut koekappaleet kestivät delaminoinnin muita liimoja paremmin, kuten kuviosta 7 nähdään. Käsitlemättömien lämpöpuiden liimasaumat eivät auenneet ollenkaan, pois lukien Mänty TD, jonka liimasaumat olivat auenneet keskimäärin 24 %. PH käsitellyt lämpöpuut eivät kestäneet delaminointia ihan yhtä hyvin kuin käsitlemättömät, mutta ero ei ollut kovinkaan suuri.

EPI-liimalla liimatut koekappaleet kestivät delaminoinnin muita liimoja huonommin, kuten kuviosta 8 nähdään. Käsitlemättömien lämpöpuiden liimasaumat aukesivat paljon, keskimäärin jopa yli 60 %. PH käsitellyt lämpöpuut kestivät delaminointia paremmin kuin käsitlemättömät, mutta silti niiden keskimääräinen liimasaumojen aukeaminen oli yli 40 %.

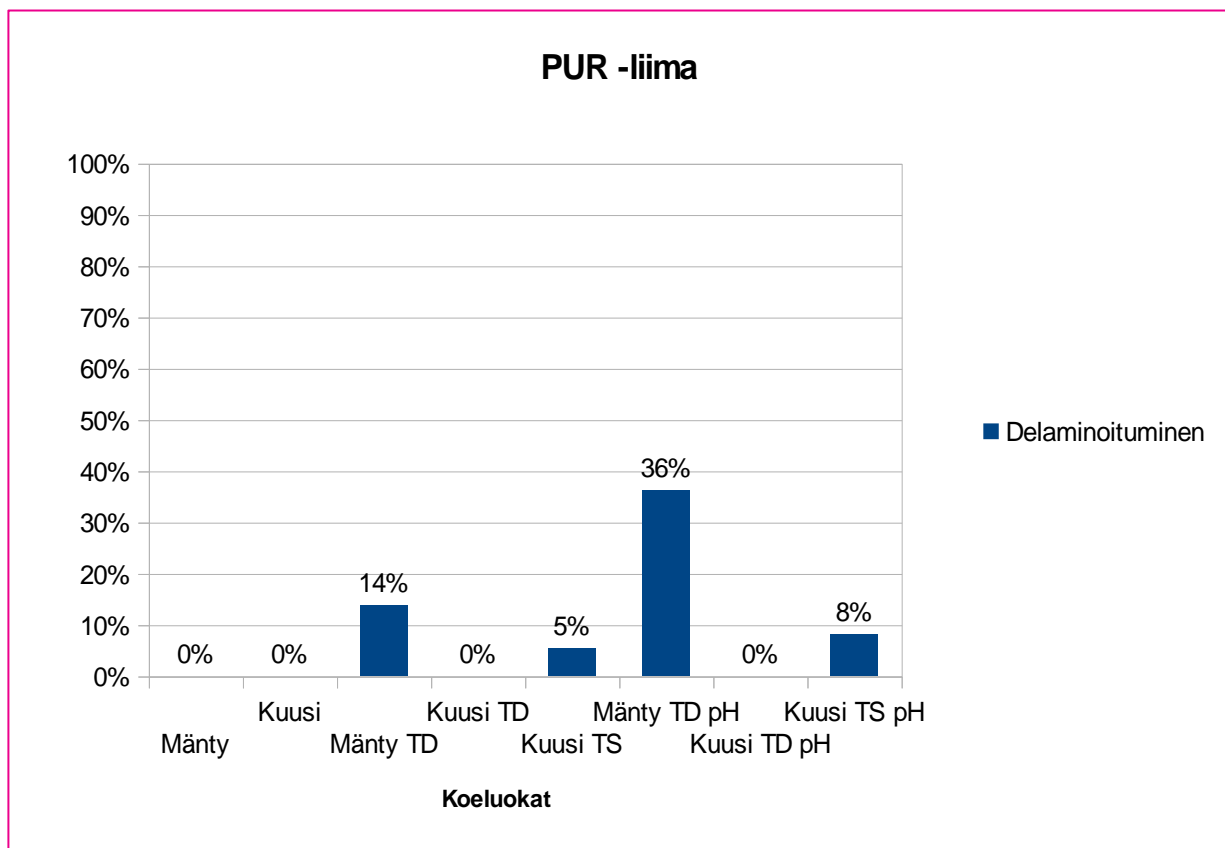
MUF-liimalla liimatut koekappaleet kestivät delaminoinnin suhteellisen hyvin pois lukien Kuusi TD, kuten kuviosta 9 nähdään. Käsitlemättömien lämpöpuiden liimasauman aukeaminen oli hieman suurempaa kuin käsitlemättömillä puilla ja Kuusi TD:llä huomattavasti suurempaa. PH käsitellyt lämpöpuut kestivät delaminointia selvästi huonommin ja liimasauman aukeneminen oli keskimäärin yli 60 %.

8.4 Keittokoe

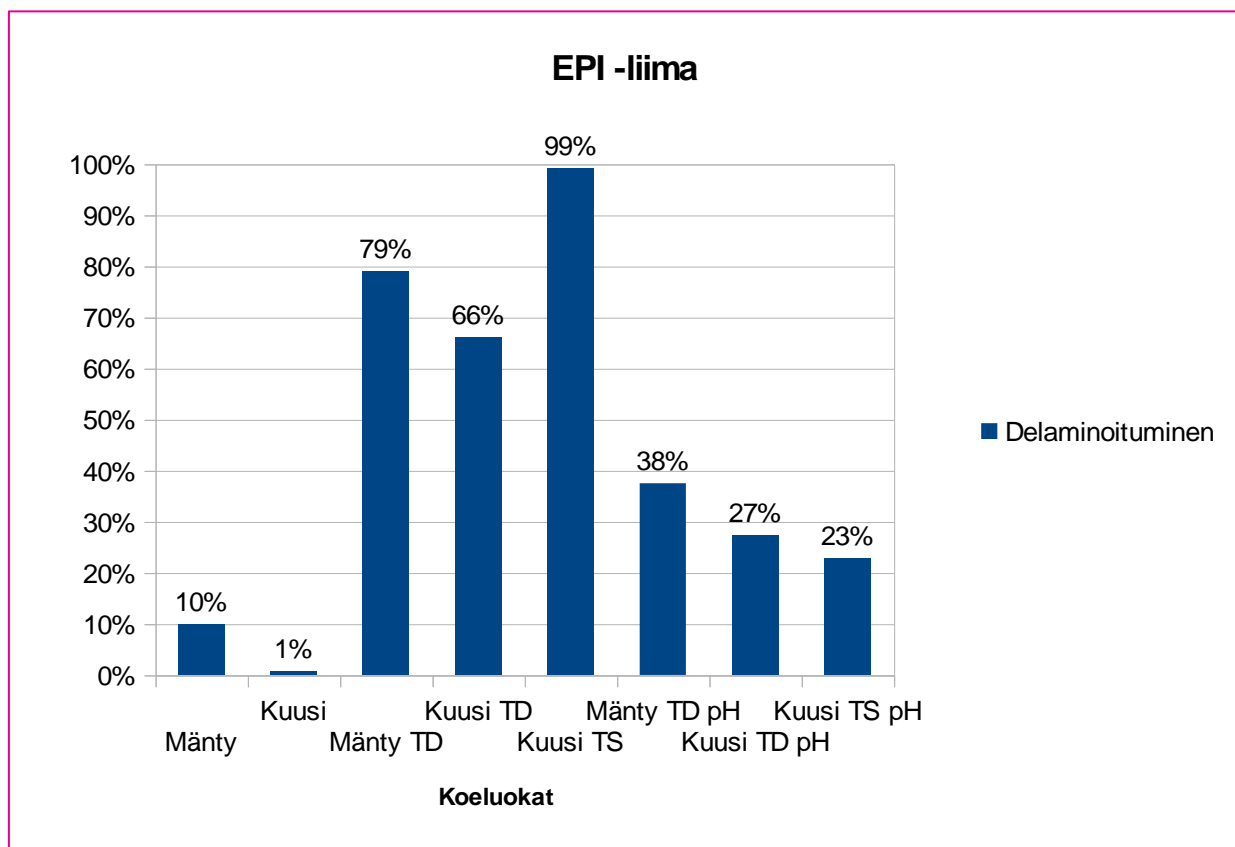
Keittokokeen koekappaleista kolmen kappaleen liimasauma petti jo ennen koestusta, joten ihan kaikista kappaleista ei saatu tulosta kirjattua. Hajonneet koekappaleet olivat yksi EPI-liimalla liimattu Mänty TD kappale ja kaksi PVAc-liimalla liimattua Mänty TD pH kappaletta.



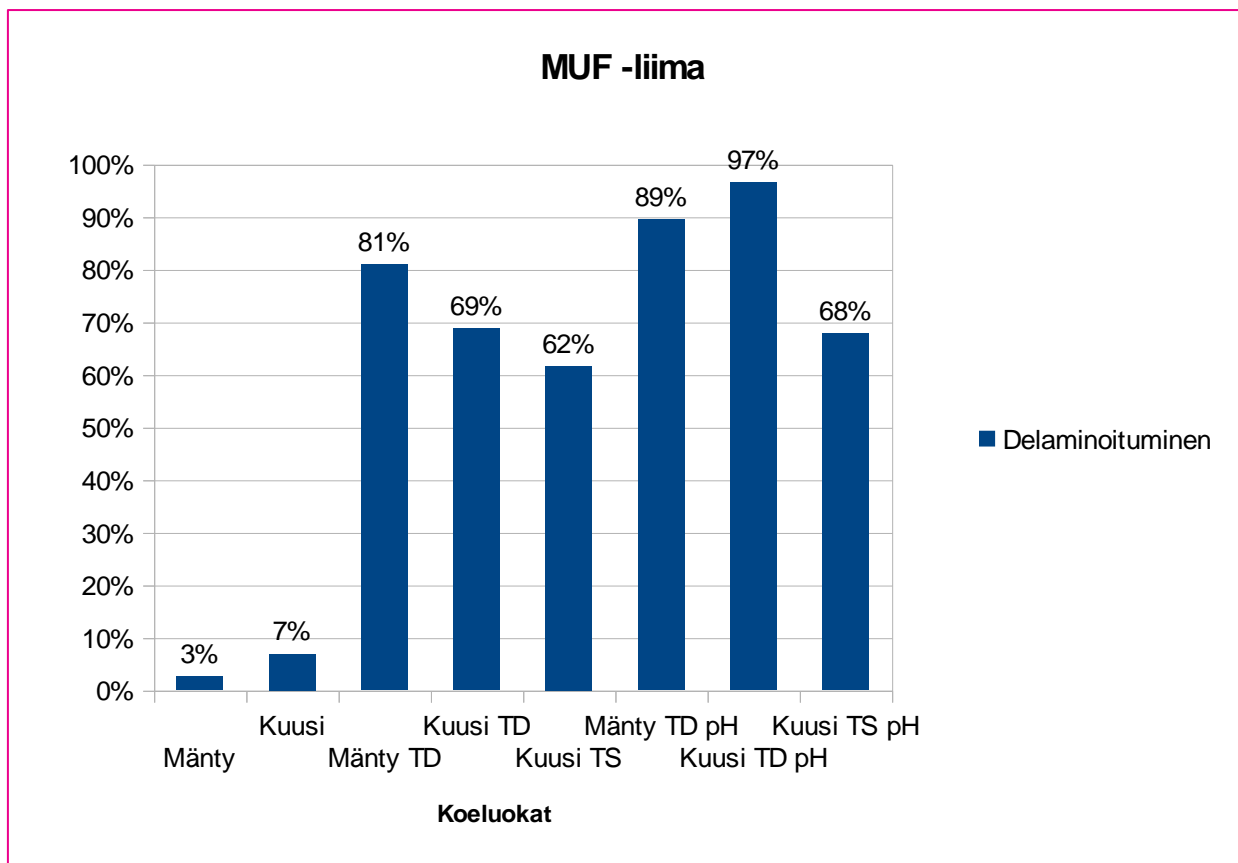
Kuvio 10. PVAc-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo



Kuvio 11. PUR-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo



Kuvio 12. EPI-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo



Kuvio 13. MUF-liimalla liimattujen koekappaleiden delaminoitumisen keskiarvo

PVAc-liimalla liimatut koekappaleet kestivät keittokokeen huonosti, kuten kuviosta 10 nähdään. Käsittelemättömien lämpöpuiden liimasauman aukeaminen oli paljon suurempaa kuin käsittelemättömillä puilla, keskimäärin jopa yli 50 prosenttia. PH käsitellyt lämpöpuut kestivät keittämistä vieläkin huonommin ja kaikkien Mänty TD pH koekappaleiden liimasaumat aukesivat kokonaan tai olivat vain enää pienestä kiinni.

PUR-liimalla liimatut koekappaleet kestivät keittämistä muita liimoja paremmin, kuten kuviosta 11 nähdään. Käsittelemättömien lämpöpuiden liimasaumat aukesivat vain vähän enemmän kuin käsittelemättömien puiden. PH käsitellyt lämpöpuut eivät kestäneet keittoa ihan yhtä hyvin kuin käsittelemättömät, mutta ero ei ollut kovinkaan suuri, paitsi Mänty TD pH koekappaleilla, joiden liimasauma aukesi keskimääräisesti 36 prosenttia.

EPI-liimalla liimatut koekappaleet kestivät keittämistä muita liimoja huonommin, kuten kuviosta 12 nähdään. Käsittelemättömien lämpöpuiden liimasaumat aukesivat paljon, keskimäärin jopa yli 66 prosenttia ja kaikkien Kuusi TS koekappaleiden liimasaumat aukesivat kokonaan tai olivat vain pienestä kiinni. PH käsitellyt lämpöpuut kuitenkin kestivät keittämistä huomattavasti paremmin kuin käsittelemättömät ja niiden keskimääräinen liimasauman aukeaminen oli alle 38 prosenttia.

MUF-liimalla liimatut koekappaleet kestivät keittämistä huonosti, kuten kuviosta 13 nähdään. Käsittelemättömien lämpöpuiden liimasauman aukeaminen oli paljon suurempaa kuin käsittelemättömillä puilla, keskimäärin jopa yli 62 prosenttia. PH käsitellyt lämpöpuut kestivät keittämistä vieläkin huonommin ja kaikkien Kuusi TD pH koekappaleiden liimasaumat aukesivat kokonaan tai olivat vain enää pienestä kiinni.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, että lämpökäsittely huonontaa puun liimattavuutta, pienentää puun pH-arvoa ja että puun pinnan pH-arvon muuttamisella emäksisemmäksi voidaan vaikuttaa puun liimattavuuteen joidenkin liimojen kohdalla. PH-arvo kokeessa todettiin, että lämpökäsittelyn vaikutus puun pH-arvoon oli selkeästi havaittavissa ja että mitä korkeammassa lämpöasteessa puuaine on käsitelty, sitä happamammaksi sen pH-arvo muuttuu. Testissä saadut liuosten pH-arvot olivat kuitenkin selkeästi suurempia kuin lähdeaineistossa, joka voisi johtua liiasta vedenmäärästä testin aikana ja että puuaineksen osuus liuoksessa oli liian vähäinen. Testissä kuitenkin saatiin todettua se mitä haettiin eli, että lämpökäsittely pienentää puun pH-arvoa. Myös puun liimattavuuden huononemiseen lämpökäsittelyllä oli selkeä vaikutus. Lämpöpuiden liimasauamat kestivät jokaisessa kokeessa huonommin kuin käsittelemättömien puiden liimasauamat kaikilla työssä käytetyillä liimoilla.

Lämpöpuiden liimauksessa PVAc-liima ei kestänyt kovin hyvin leikkauslujuuskokeissa eikä keittokokeissa, mutta delaminointikokeissa se kesti suhteellisen hyvin. PUR-liima toimi jokaisessa kokeessa parhaiten ja oli lämpöpuun liimasauaman lujuudeltaan hieman huonompi käsittelemättömiin puihin verrattuna. EPI-liima ei toiminut hyvin lämpöpuun kanssa ja se oli kaikissa kokeissa huonoin liima. Ennen koeistuksia pettäneet liimasauamat olivat suurilta osin EPI-liimalla liimattuja. MUF-liima toimi kohtalaisesti leikkauslujuuskokeissa ja delaminointikokeissa, mutta keittämistä koekappaleiden liimasauamat eivät kestäneet hyvin. PUR-liima siis soveltuu kokeiden mukaan parhaiten lämpöpuun liimaukseen ja sillä päästiin melkein käsittelemättömän puun tasolle liimasauaman lujuudessa.

Tuloksien mukaan pH käsittelyllä saatiin selvästi vaikutettua puun liimattavuuteen tiettyjen liimojen kanssa, mutta tulos ei ollut aina positiivista. EPI-liima liimautui kokeiden mukaan paremmin pH käsiteltyihin kappaleisiin kuin käsittelemättömiin. Kaikissa kokeissa liimasauaman pitävyys parani huomattavasti ja EPI-liimasta tuli toimiva vaihtoehto lämpöpuun liimaamiseen. PVAc- ja MUF-liimoihin pH käsittelyllä oli selkeästi negatiivinen vaikutus ja niillä liimattujen koekappaleiden liimasauamat kesti kokeissa selvästi huonommin kuin käsittelemättömissä lämpöpuissa. PUR-liimaan pH käsittelyllä ei ollut suurta vaikutusta, mutta yleensä se hieman huononsi liimasauaman pitävyyttä lämpöpuussa.

Lopuksi voidaan todeta, että puun pinnan pH-arvon nostamisella saatiin selkeitä hyötyjä EPI-liimalla liimattaessa ja että tätä vaikutusta voisi mahdollisesti hyödyntää puun liimauksen kehityksessä, jolloin EPI-liimastakin voitaisiin saada varteenotettava vaihtoehto lämpöpuun liimaukseen.

LÄHTEET

Opetushallitus. Oppimateriaalit. Puutuoteteollisuus. Alkutuotteiden jalostus. Liimaus. Liimausprosessi [viitattu 2015-8-6]. Saatavissa: <http://www.edu.fi>

Opetushallitus. Oppimateriaalit. Puutuoteteollisuus. Raaka-aineet. Puuaineen ominaisuuksia. [viitattu 2015-9-16]. Saatavissa: <http://www.edu.fi>

peda.net. Heinola. Lyseonmäenkoulu. E-opin oppikirjat. Kemia3. Oppikirja. IV. 17 [viitattu 2015-8-14]. Saatavissa: <https://peda.net/>

puuinfo.fi. Hyvä tietää lämpöpuusta [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-8-3]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/hyv%C3%A4%20tiet%C3%A4%C3%A4%20l%C3%A4mp%C3%B6puusta.pdf>

puuproffa.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-8-12]. Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/liimaus/liimat

rakennustieto.fi [verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010404.pdf>

Thermo Wood käsikirja. [verkkoaineisto]. Lämpöpuuyhdistys Ry [viitattu 2015-8-12]. Saatavissa: http://files.kotisivukone.com/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255_twkasi kirja.pdf

LIITE 1: KOESUUNNITELMATAULUKKO

Käsittlemättömät kappaleet							
Kpl	Laji	Liima	Liimamäärä	Puristusaine	Puristusaika	Avoin aika	Testi
1.1.1	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.2	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.3	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.4	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.5	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.6	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.7	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.1.8	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
1.2.1	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.2.2	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.2.3	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.2.4	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
1.3.1	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
1.3.2	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
1.3.3	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
1.3.4	Mänty	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.1.1	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.2	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.3	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.4	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.5	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.6	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.7	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.1.8	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
2.2.1	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.2.2	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.2.3	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.2.4	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
2.3.1	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.3.2	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.3.3	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
2.3.4	Kuusi	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
3.1.1	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.2	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.3	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.4	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.5	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.6	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.7	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.1.8	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
3.2.1	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
3.2.2	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
3.2.3	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
3.2.4	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
3.3.1	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
3.3.2	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
3.3.3	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe

19.3.4	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
20.1.1	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.2	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.3	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.4	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.5	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.6	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.7	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.1.8	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
20.2.1	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
20.2.2	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
20.2.3	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
20.2.4	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
20.3.1	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
20.3.2	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
20.3.3	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
20.3.4	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe

pH-kappaleet							
Kpl	Laji	Liima	Liimamäärä	Puristusaine	Puristusaika	Avoin aika	Testi
21.1.1	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.2	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.3	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.4	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.5	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.6	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.7	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.1.8	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
21.2.1	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
21.2.2	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
21.2.3	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
21.2.4	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
21.3.1	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
21.3.2	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
21.3.3	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
21.3.4	Mänty TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
22.1.1	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.2	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.3	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.4	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.5	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.6	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.7	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.1.8	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Leikkauslujuus
22.2.1	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
22.2.2	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
22.2.3	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
22.2.4	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Delaminointi
22.3.1	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
22.3.2	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe
22.3.3	Kuusi TD	PVAc	150 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	6 min	Keittokoe

29.1.8	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Leikkauslujuus
29.2.1	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Delaminointi
29.2.2	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Delaminointi
29.2.3	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Delaminointi
29.2.4	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Delaminointi
29.3.1	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Keittokoe
29.3.2	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Keittokoe
29.3.3	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Keittokoe
29.3.4	Kuusi TS	EPI	160 g/m ²	0,5 N/mm ²	20 min	7 min	Keittokoe
30.1.1	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.2	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.3	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.4	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.5	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.6	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.7	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.1.8	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
30.2.1	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
30.2.2	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
30.2.3	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
30.2.4	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
30.3.1	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
30.3.2	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
30.3.3	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
30.3.4	Mänty TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
31.1.1	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.2	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.3	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.4	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.5	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.6	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.7	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.1.8	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
31.2.1	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
31.2.2	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
31.2.3	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
31.2.4	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
31.3.1	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
31.3.2	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
31.3.3	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
31.3.4	Kuusi TD	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
32.1.1	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.2	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.3	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.4	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.5	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.6	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.7	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.1.8	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Leikkauslujuus
32.2.1	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi

32.2.2	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
32.2.3	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
32.2.4	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Delaminointi
32.3.1	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
32.3.2	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
32.3.3	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe
32.3.4	Kuusi TS	MUF	130 g/m ²	0,8 N/mm ²	2 h	35 min	Keittokoe

LIITE 2: LEIKKAUSLUJUUSKOKEIDEN TULOSTAULUKKO

Kpl	Puustaurtuma %	F (N)	A (mm ²)	Fv (N/mm ²)
1.1.1	100 %	16610	2250	7,38
1.1.2	10 %	14749	2250	6,56
1.1.3	20 %	14518	2250	6,45
1.1.4	0 %	15385	2250	6,84
1.1.5	20 %	15377	2250	6,83
1.1.6	0 %	16308	2250	7,25
1.1.7	10 %	14339	2250	6,37
1.1.8	70 %	15547	2250	6,91
2.1.1	30 %	18000	2250	8,00
2.1.2	30 %	17679	2250	7,86
2.1.3	10 %	18513	2250	8,23
2.1.4	40 %	14675	2250	6,52
2.1.5	70 %	19175	2250	8,52
2.1.6	50 %	18456	2250	8,20
2.1.7	50 %	15898	2250	7,07
2.1.8	80 %	15229	2250	6,77
3.1.1	0 %	2072	2250	0,92
3.1.2	10 %	9184	2250	4,08
3.1.3	0 %	5469	2250	2,43
3.1.4	0 %	3588	2250	1,59
3.1.5	90 %	12632	2250	5,61
3.1.6	20 %	4021	2250	1,79
3.1.7	0 %	2029	2250	0,90
3.1.8	0 %	4901	2250	2,18
4.1.1	0 %	2925	2250	1,30
4.1.2	0 %	3406	2250	1,51
4.1.3	0 %	-	2250	-
4.1.4	0 %	9032	2250	4,01
4.1.5	0 %	1654	2250	0,74
4.1.6	0 %	1554	2250	0,69
4.1.7	0 %	1339	2250	0,60
4.1.8	0 %	-	2250	-
5.1.1	0 %	6653	2250	2,96
5.1.2	0 %	2869	2250	1,28
5.1.3	0 %	5513	2250	2,45
5.1.4	0 %	2665	2250	1,18
5.1.5	0 %	-	2250	-
5.1.6	0 %	-	2250	-
5.1.7	0 %	-	2250	-
5.1.8	0 %	-	2250	-
6.1.1	0 %	15361	2250	6,83
6.1.2	10 %	16299	2250	7,24
6.1.3	10 %	13554	2250	6,02
6.1.4	10 %	15525	2250	6,90
6.1.5	10 %	15703	2250	6,98
6.1.6	10 %	18251	2250	8,11
6.1.7	50 %	13477	2250	5,99
6.1.8	0 %	15406	2250	6,85

7.1.1	10 %	14367	2250	6,39
7.1.2	10 %	14860	2250	6,60
7.1.3	80 %	16130	2250	7,17
7.1.4	20 %	14860	2250	6,60
7.1.5	10 %	18524	2250	8,23
7.1.6	90 %	20111	2250	8,94
7.1.7	90 %	16626	2250	7,39
7.1.8	50 %	18653	2250	8,29
8.1.1	0 %	13161	2250	5,85
8.1.2	30 %	16273	2250	7,23
8.1.3	40 %	15874	2250	7,06
8.1.4	20 %	11775	2250	5,23
8.1.5	60 %	11852	2250	5,27
8.1.6	100 %	5507	2250	2,45
8.1.7	70 %	12433	2250	5,53
8.1.8	0 %	17505	2250	7,78
9.1.1	10 %	11159	2250	4,96
9.1.2	90 %	8863	2250	3,94
9.1.3	10 %	11537	2250	5,13
9.1.4	100 %	15814	2250	7,03
9.1.5	40 %	9369	2250	4,16
9.1.6	10 %	9067	2250	4,03
9.1.7	100 %	14491	2250	6,44
9.1.8	10 %	14561	2250	6,47
10.1.1	80 %	9250	2250	4,11
10.1.2	100 %	11785	2250	5,24
10.1.3	90 %	15478	2250	6,88
10.1.4	20 %	10926	2250	4,86
10.1.5	0 %	-	2250	-
10.1.6	0 %	-	2250	-
10.1.7	0 %	-	2250	-
10.1.8	0 %	-	2250	-
11.1.1	30 %	16724	2250	7,43
11.1.2	20 %	13826	2250	6,14
11.1.3	50 %	15144	2250	6,73
11.1.4	0 %	19362	2250	8,61
11.1.5	20 %	16069	2250	7,14
11.1.6	70 %	15412	2250	6,85
11.1.7	10 %	15973	2250	7,10
11.1.8	0 %	11611	2250	5,16
12.1.1	90 %	13549	2250	6,02
12.1.2	100 %	19416	2250	8,63
12.1.3	30 %	17759	2250	7,89
12.1.4	20 %	17186	2250	7,64
12.1.5	50 %	19345	2250	8,60
12.1.6	100 %	15914	2250	7,07
12.1.7	20 %	13420	2250	5,96
12.1.8	90 %	13475	2250	5,99
13.1.1	0 %	5109	2250	2,27
13.1.2	0 %	-	2250	-
13.1.3	0 %	4867	2250	2,16
13.1.4	0 %	-	2250	-

13.1.5	0 %	-	2250	-
13.1.6	0 %	-	2250	-
13.1.7	0 %	-	2250	-
13.1.8	0 %	-	2250	-
14.1.1	0 %	3069	2250	1,36
14.1.2	0 %	4129	2250	1,84
14.1.3	0 %	1871	2250	0,83
14.1.4	0 %	-	2250	-
14.1.5	0 %	1708	2250	0,76
14.1.6	0 %	-	2250	-
14.1.7	0 %	-	2250	-
14.1.8	0 %	-	2250	-
15.1.1	0 %	-	2250	-
15.1.2	0 %	-	2250	-
15.1.3	0 %	-	2250	-
15.1.4	0 %	-	2250	-
15.1.5	0 %	-	2250	-
15.1.6	0 %	-	2250	-
15.1.7	0 %	-	2250	-
15.1.8	0 %	-	2250	-
16.1.1	0 %	16289	2250	7,24
16.1.2	0 %	14402	2250	6,40
16.1.3	10 %	18603	2250	8,27
16.1.4	0 %	16274	2250	7,23
16.1.5	20 %	15530	2250	6,90
16.1.6	80 %	19025	2250	8,46
16.1.7	10 %	18984	2250	8,44
16.1.8	20 %	17431	2250	7,75
17.1.1	50 %	17035	2250	7,57
17.1.2	50 %	18236	2250	8,10
17.1.3	30 %	17992	2250	8,00
17.1.4	10 %	15050	2250	6,69
17.1.5	50 %	12725	2250	5,66
17.1.6	30 %	20751	2250	9,22
17.1.7	90 %	18954	2250	8,42
17.1.8	50 %	15165	2250	6,74
18.1.1	30 %	11253	2250	5,00
18.1.2	70 %	12971	2250	5,76
18.1.3	20 %	8508	2250	3,78
18.1.4	10 %	11139	2250	4,95
18.1.5	10 %	14657	2250	6,51
18.1.6	30 %	11987	2250	5,33
18.1.7	0 %	11337	2250	5,04
18.1.8	20 %	20214	2250	8,98
19.1.1	10 %	4941	2250	2,20
19.1.2	0 %	7178	2250	3,19
19.1.3	80 %	10121	2250	4,50
19.1.4	80 %	6093	2250	2,71
19.1.5	100 %	11656	2250	5,18
19.1.6	90 %	11721	2250	5,21
19.1.7	90 %	10247	2250	4,55
19.1.8	20 %	12035	2250	5,35

20.1.1	80 %	11254	2250	5,00
20.1.2	0 %	4770	2250	2,12
20.1.3	60 %	8483	2250	3,77
20.1.4	100 %	15097	2250	6,71
20.1.5	0 %	-	2250	-
20.1.6	0 %	-	2250	-
20.1.7	0 %	-	2250	-
20.1.8	0 %	-	2250	-
21.1.1	0 %	1395	2250	0,62
21.1.2	0 %	5194	2250	2,31
21.1.3	0 %	3963	2250	1,76
21.1.4	0 %	4933	2250	2,19
21.1.5	0 %	1976	2250	0,88
21.1.6	0 %	2756	2250	1,22
21.1.7	0 %	759	2250	0,34
21.1.8	0 %	-	2250	-
22.1.1	0 %	-	2250	-
22.1.2	0 %	-	2250	-
22.1.3	0 %	-	2250	-
22.1.4	0 %	-	2250	-
22.1.5	0 %	-	2250	-
22.1.6	0 %	-	2250	-
22.1.7	0 %	-	2250	-
22.1.8	0 %	-	2250	-
23.1.1	0 %	3103	2250	1,38
23.1.2	0 %	4173	2250	1,85
23.1.3	0 %	-	2250	-
23.1.4	0 %	-	2250	-
23.1.5	0 %	-	2250	-
23.1.6	0 %	-	2250	-
23.1.7	0 %	-	2250	-
23.1.8	0 %	-	2250	-
24.1.1	0 %	8641	2250	3,84
24.1.2	20 %	16652	2250	7,40
24.1.3	0 %	2969	2250	1,32
24.1.4	0 %	15746	2250	7,00
24.1.5	0 %	9268	2250	4,12
24.1.6	20 %	18182	2250	8,08
24.1.7	0 %	7866	2250	3,50
24.1.8	20 %	13426	2250	5,97
25.1.1	10 %	14478	2250	6,43
25.1.2	0 %	8734	2250	3,88
25.1.3	60 %	11783	2250	5,24
25.1.4	40 %	16571	2250	7,36
25.1.5	80 %	11553	2250	5,13
25.1.6	70 %	11778	2250	5,23
25.1.7	40 %	10402	2250	4,62
25.1.8	100 %	12315	2250	5,47
26.1.1	80 %	8861	2250	3,94
26.1.2	40 %	9444	2250	4,20
26.1.3	70 %	14778	2250	6,57
26.1.4	60 %	17796	2250	7,91

26.1.5	40 %	-		2250	-
26.1.6	0 %	-		2250	-
26.1.7	0 %	-		2250	-
26.1.8	0 %	-		2250	-
27.1.1	0 %		12070	2250	5,36
27.1.2	50 %		12558	2250	5,58
27.1.3	60 %		12686	2250	5,64
27.1.4	0 %		16296	2250	7,24
27.1.5	0 %		9002	2250	4,00
27.1.6	0 %		7937	2250	3,53
27.1.7	30 %		12087	2250	5,37
27.1.8	20 %		17960	2250	7,98
28.1.1	0 %		6067	2250	2,70
28.1.2	0 %		6536	2250	2,90
28.1.3	0 %		4640	2250	2,06
28.1.4	0 %		8862	2250	3,94
28.1.5	0 %		3877	2250	1,72
28.1.6	20 %		7380	2250	3,28
28.1.7	0 %	-		2250	-
28.1.8	0 %	-		2250	-
29.1.1	0 %		1931	2250	0,86
29.1.2	10 %		8351	2250	3,71
29.1.3	10 %		6457	2250	2,87
29.1.4	80 %		9230	2250	4,10
29.1.5	0 %	-		2250	-
29.1.6	0 %	-		2250	-
29.1.7	0 %	-		2250	-
29.1.8	0 %	-		2250	-
30.1.1	10 %		6604	2250	2,94
30.1.2	0 %		7682	2250	3,41
30.1.3	10 %		9440	2250	4,20
30.1.4	0 %		10503	2250	4,67
30.1.5	20 %		16863	2250	7,49
30.1.6	20 %		10392	2250	4,62
30.1.7	0 %		5304	2250	2,36
30.1.8	0 %		11439	2250	5,08
31.1.1	0 %		3802	2250	1,69
31.1.2	0 %		1429	2250	0,64
31.1.3	0 %		3682	2250	1,64
31.1.4	0 %	-		2250	-
31.1.5	0 %	-		2250	-
31.1.6	0 %	-		2250	-
31.1.7	0 %	-		2250	-
31.1.8	0 %	-		2250	-
32.1.1	0 %		5414	2250	2,41
32.1.2	0 %		3079	2250	1,37
32.1.3	0 %		8164	2250	3,63
32.1.4	0 %		943	2250	0,42
32.1.5	0 %	-		2250	-
32.1.6	0 %	-		2250	-
32.1.7	0 %	-		2250	-
32.1.8	0 %	-		2250	-

