

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikka

Tuija Vehmaa

KOIVUVANERIN PALONKESTO-OMINAISUUKSIEN PARANTAMINEN LII-
MASEOKSEN KOOSTUMUSTA MUUTTAMALLA

Työn tarkastajat: Professori Timo Kärki
 Professori Ilkka Pöyhönen

Työn ohjaaja: Technology Manager Peter Lingenfelder

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
LUT Kone

Tuija Vehmaa

Koivuvanerin palonkesto-ominaisuuksien parantaminen liimaseoksen koostumusta muuttamalla

Diplomityö
2014

103 sivua, 35 taulukkoa ja 23 liitettä

Tarkastajat: Professori Timo Kärki
Professori Ilkka Pöyhönen

Hakusanat: Puun liimaus, palo-ominaisuus, palonestoaine, koivuvaneri

Viime vuosina puutuotteiden palonkestävyydelle asetetut vaatimukset ovat kasvaneet. Puutuotteiden käyttöä on mahdollista lisätä, mikäli niiden palonkestävyyttä saadaan parannettua. Tässä diplomityössä tutkittiin palonestoaineiden vaikutusta liimaseoksen ominaisuuksiin, liimautuvuuteen ja palonkestävyyteen. Työn tarkoituksena oli löytää liimaseos, jonka avulla saadaan koivuvanerin palonkestävyyttä parannettua.

Teoriaosuudessa on käyty läpi koivuvanerin valmistusprosessi ja käytettävät liimat, ominaisuudet sekä käyttökohteet. Teoriaosuudessa käsitellään myös puutuotteiden syttymistä ja vertaillaan erilaisia palonestoaineita ja niiden vaikutusmekanismeja. Työn kokeellinen osuus koostui hartsiseoksen imeytyvyyden tutkimisesta, liimaseosten ominaisuuksien selvittämisestä, vanerilevyjen liimautuvuuden ja liimauslujuuden testaamisesta sekä palonkestävyysominaisuuksien selvittämisestä.

Työssä saavutettiin pientä parannusta levyjen palonkestävyysominaisuuksiin. Tavoitteeksi asetettua palonkestävyyden kaksinkertaistumista ei saavutettu. Työ antaa kuitenkin hyvän pohjan palonestoaineiden ja vanerihartsien palonkestävyysominaisuuksien tutkimisen jatkamiselle. Työssä saavutettuja tuloksia tullaan hyödyntämään vanerilevyjen palo-ominaisuuksien parantamiseen tähtäävässä tutkimuksissa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Tuija Vehmaa

Strengthen of the Birch Veneer Fireproofing by Changing the Composition of Glue Mixture

Master of Science Thesis
2014

103 pages, 35 tables and 23 appendices

Examiners: Professor Timo Kärki
Professor Ilkka Pöyhönen

Keywords: Wood gluing, Fire feature, Fire retardant, birch veneer

Demands for the fire resistance of wooden products has increased in last few years. It is possible to add the usage of wooden products if the fire resistance of products is higher. In this master thesis the effect of fire retardant to features of glue mixture, gluing and fire resistance has been examined. The aim of thesis was to find a glue mixture which improves the fire resistance of birch veneer.

Theory part goes through the birch veneer's manufacturing process and glues involved, features of the veneer and the usage. In this part ignition of wooden products is introduced. Comparison of different fire retardants and their mode of action has been researched. Experimental part of this thesis consists penetration of glue, examine of the glue mixture features, testing the gluing strength and the fireproof features of veneer.

As a result of this thesis small improvements to fireproof features was accomplished. The aim of this thesis was to double the fireproofing of birch veneer. This goal was not reached. This thesis creates a base to continuation of the research for improving the fire resistance and veneer glues fireproof features. The results of this work will be used in examinations which aim to improve the fireproofing.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Dynea Chemicals Oy:n henkilökuntaa saamastani tuesta ja avusta Diplomityötä tehdessäni. Erityiskiitos kuuluu työn ohjaajalle Peter Lingenfelderille sekä Seppo Havuaholle ja Matti Pekkaselle. Sepon ja Matin apu käytännön tutkimusta tehdessäni oli ensiarvoisen tärkeää.

Lisäksi haluan kiittää työn tarkastajaa Timo Kärkeä hyvistä kommentteista ja parannusehdotuksista.

Kotijoukkojen kannustus on ollut erityisen tärkeää pitkäksi venyneen opiskelun aikana. Kiitokset siis aviomiehelleni Esalle sekä lapsilleni Niilolle ja Nellille kärsivällisyydestä ja antamastanne tuesta.

Opiskelutoveriani Hannaa haluan kiittää lukuisista opintopalavereista, tuesta ja hyvistä vinkeistä opintojeni aikana.

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	9
1.1 Tutkimuksen tausta	9
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	11
1.3 Tutkimusongelma ja rajaukset.....	12
1.4 Tutkimusmenetelmät ja aineisto.....	12
2. VANERI TUOTTEENA	13
2.1 Vanerin käyttö	13
2.2 Vanerin valmistus.....	14
2.3 Vanerin ominaisuudet.....	16
2.4 Vanerin palonkesto-ominaisuudet.....	16
3. PUUN TEOLLINEN LIIMAUS	18
3.1 Käytettävät hartsit / liimat.....	18
3.2 Liimojen lisäaineiden vaikutus liimaustuloksiin.....	21
3.3 Vanerin liimaus	21
3.4 Liimaseoksen ominaisuuksien mittaaminen.....	23
3.4.1 Viskositeetti	24
3.4.2 Kuiva-ainepitoisuus	24
3.4.3 Varastointi- ja käyttöaika	24
3.4.4 Ominaispaino	25
3.4.5 pH	25
3.4.6 Kovettumis- ja geelautumisaika	25
3.4.7 Haitallisten aineiden määrä.....	26
3.4.7.1 Fenoli.....	26

3.4.7.2	Formaldehydi.....	27
3.5	Liimasauman lujuuden testaus.....	27
4.	PUUTUOTTEEN PALAMINEN JA SYTTYMINEN.....	29
4.1	Palo-ominaisuuksien tutkimusmenetelmät.....	29
5.	PALONESTOAINHEET.....	30
5.1	Palonestoaineiden toiminta.....	32
5.1.1	Nanotäyteaineet.....	33
5.1.2	Nanosavi.....	33
5.1.3	Aine 1.....	34
5.1.4	Silikaatit.....	35
5.1.5	Fosforipohjaiset palonestoaineet.....	36
5.2	Palonestoaineiden käyttö liimauksessa.....	36
6.	TUTKIMUSOSUUS.....	37
6.1	Liimaseosten valinta.....	37
6.2	Liiman imeytymisen testaus.....	38
6.3	Hartsiseosten ominaisuuksien tarkastelu.....	40
6.4	Testattavien palonestoaineiden valinta.....	40
6.4.1	Aine 1.....	41
6.4.2	Aine 2 ja aine 3.....	41
6.4.3	Aine 4.....	42
6.4.4	Aine 5.....	42
6.4.5	Aine 6.....	42
6.4.6	Aine 7.....	42
6.4.7	Aine 8.....	43
6.4.8	Aine 9.....	43
6.4.9	Aine 10.....	43
6.4.10	Aine 11.....	43

6.4.11 Aine 12.....	44
6.4.12 Aine 13.....	44
6.4.13 Aine 14.....	44
6.4.14 Aine 15.....	44
6.5 Liimaseosten viskositeettien ja ominaisuuksien tutkiminen.....	44
6.6 Palonestoaineiden lisäys ja seoksen ominaisuuksien tutkiminen.....	47
6.6.1 Aine 2.....	47
6.6.2 Aine 1.....	50
6.6.3 Aine 5.....	51
6.6.4 Aine 4.....	52
6.6.5 Aine 9.....	53
6.6.6 Aine 12.....	54
6.6.7 Aine 13.....	55
6.6.8 Aine 11.....	56
6.6.9 Aine 10.....	57
6.7 Liimattavien seosten valinta.....	58
7. LIIMAUS.....	60
7.1 Esipuristus.....	60
7.2 Puristusajan optimointi.....	61
7.3 Liiman levitysmäärän optimointi.....	63
7.3.1 Liiman levitysmäärän tarkastelu vanerihartsin 16.....	64
7.3.2 Liiman levitysmäärän tarkastelu vanerihartsin 17.....	65
7.4 Palonestoaineiden lisäys.....	66
7.4.1 Aine 1.....	67
7.4.2 Aine 2.....	67
7.4.3 Aine 4.....	68
7.4.4 Aine 9.....	69

7.4.5	Aine 10.....	70
7.4.6	Aine 12.....	70
7.4.7	Jatkotoimenpiteet ja johtopäätökset.....	71
8.	PALO-OMINAISUUKSIEN TESTAUS	72
8.1	Palotestin tulosten tarkastelu.....	76
8.2	Johtopäätökset palo-ominaisuuksien ja lujuuden testauksesta.....	79
9.	UUSIEN LIIMASEOSTEN SEKOITUS, LIIMAUS JA TESTAUS	80
9.1	Palotestaus.....	84
10.	TULOSTEN TARKASTELU	88
11.	JOHTOPÄÄTÖKSET	93
12.	YHTEENVETO	93
13.	LÄHDELUETTELO	95
	LIITTEET	

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Viime vuosina puuteollisuuden tuotteiden palonkesto-ominaisuuksien tärkeys on korostunut. Aiemmin puutuotteiden palonkesto-ominaisuuksiin liittyvät määräykset ovat heikentävästi vaikuttaneet puutuotteiden käyttöön rakentamisessa. Uudet palomääräykset astuivat voimaan 15.4.2011. Uusien palomääräysten myötä vaatimuksia yhtenäistettiin materiaalista riippumattomaksi. Palomääräysten muuttuminen luo puutuotteille useita merkittäviä käyttökohteita sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Puutuotteiden palo-ominaisuuksia parantamalla on mahdollista laajentaa puutuotteiden käyttöä rakentamisessa.

Rakennusten paloturvallisuusmääräykset on asetettu Rakennusmääräyskokoelman osassa E1. Vuonna 2011 uudistuneiden määräysten mukaan puuta voidaan käyttää runkomateriaalina kaikissa paloluokissa enintään 2-kerroksisissa rakennuksissa ja P2-paloluokassa myös 3 – 8-kerroksisissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa. Suomen Rakentamismääräyskokoelman mukaan rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan: P1, P2 ja P3. Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savun tuottoon ja palavaan pisarointiin. (Suomen Rakentamismääräyskokoelma 2011)

Rakentamismääräyskokoelmassa määritellään rakennustarvikkeiden jako luokkiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savun tuottoon ja palavaan pisarointiin. Savun tuotto ilmaistaan lisämääreellä s ja palava pisarointi ilmaistaan lisämääreellä d. Savun tuotto jaotellaan luokkiin s1, s2, s3 ja palava pisarointi luokkiin d0, d1, d2. (Suomen Rakentamismääräyskokoelma 2011) Päivi Myllylän (2011) mukaan pinnoittamattoman koivuvanerin paloluokka on D-s2, d2.

Vanerikäsitteen (2005) mukaan koivuvaneri on pitkälle kehitetty puupohjainen levytuote. Koivuvaneri soveltuu käytettäväksi vaativissa olosuhteissa ja sitä käytetäänkin esimerkiksi rakennus- ja kuljetusvälineiteollisuudessa sekä muissa teollisissa, vaativissa erikoiskohteissa.

Vanerikäsikirjan mukaan vanerin palotekniset ominaisuudet ovat monia palamattomia materiaaleja paremmat ja sen palamisnopeus on pienempi kuin monilla muilla puutuotteilla. Lämpötilan muuttuessa vanerin mittamuutokset ovat erittäin pieniä. Vaneri syttyy palamaan noin 270°C:n lämpötilassa, kun sitä altistetaan liekeille ja itsestään vaneri syttyy vasta yli 400°C lämpötilassa. Vaneria voidaan käyttää myös palolta suojaavissa rakenteissa, koska se hiiltyy tasaisella, noin 0,6 mm minuutissa. Palonsuojakemikaalien avulla on mahdollista parantaa vanerin palonkestävyyttä. Lisäksi vaneri voidaan pinnoittaa palonkestävällä kalvoilla. (Vanerikäsikirja 2005)

Tässä diplomityössä tutkitaan liimaseokseen lisättävien aineiden vaikutusta vanerin palonkesto-ominaisuuksiin. Suihkonen, Nevalainen ja Vuorinen (2009) toteavat, että paloa hidastavia aineita käytetään polymeereissä:

- pidentämään syttymisaikaa
- parantamaan itesesammumisominaisuuksia
- vähentämään palon aikaista lämpötilaa
- ehkäisemään leimahtavien tippojen syntymistä
- vähentämään savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista

Vuorisen (2007) mukaan nanotäyteaineet voivat parantaa palonkesto-ominaisuuksia. Nanotäyteaineet voivat viivästyttää syttymistä sekä vähentää savun määrää. Nanotäyteaineet hidastavat palamista, koska ne muodostavat hiiltyneen kerroksen kappaleen pinnalle. (Vuorinen 2007) Jos käytetään nanotäyteaineita, tulee liiman siis imeytyä riittävästi puun sisälle, jotta täyteaineet vaikuttavat mahdollisimman laajasti tuotteeseen. Lisäaineiden ominaisuuksia liimoihin on laajasti tutkittu ja niiden odotetaan parantavan liimattujen puutuotteiden palonkestävyyttä sekä lahon ja termiittien kestävyyttä. Aineiden lisäys on kuitenkin monissa tapauksissa vaikuttanut negatiivisesti liimausominaisuuksiin. Osalla lisätyistä aineista on ristikkäisvaikutuksia, esimerkiksi öljy parantaa lahonkestävyyttä, mutta vaikuttaa negatiivisesti palonkestävyyteen.

Liimauksen onnistumisen ainoa edellytys ei ole, että liimaus onnistuu teknisesti ja lujuusominaisuudet täyttyvät. Hartsin imeytymistä puuhun pitää parantaa, ja ideaalinen tilanne on, että hartsi kuljettaisi täyteaineita puun sisään parantamaan vaadittuja ominaisuuksia. Liiman levitysmäärää on hyväksyttävää lisätä 2 – 3 kertaiseksi, jos sillä pystytään parantamaan tuotteen palonkestoa. Liimaus on yksi vanerinvalmistuksen kriittisiä vaiheita. Jos lisätään liiman määrää, on varottava liimausvirheiden syntymistä. Vaneriteollisuuskirjan (1985) mukaan yleinen vika liimauksessa on ns. ontto levy, jolloin levyssä oleva veden höyrynpaine rikkoo levyn kuumapuristuksen jälkeen. Tämä johtuu levyn liian suuresta vesimäärästä joko kostean viilun tai liian suuren liiman levitysmäärän takia (Vaneriteollisuus 1985). Jotta liiman levitysmäärää voitaisiin lisätä, on siis erityisen tärkeää, että liima varmasti imeytyy viilun sisään.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Dynea Chemicals Oy on aloittanut tutkimuksen, jossa eri aineiden vaikutusta liimaukseen tutkitaan. Tarkoituksena on parantaa liimattujen tuotteiden palonkest ominaisuuksia. Lisättyjen aineiden ominaisuuksia hartsin liimausominaisuuksiin sekä edelleen palonkestävyyteen tutkitaan. Tavoitteena on löytää liimaseos, jonka avulla saadaan parannettua liimatun koivuvanerin palonkestävyyttä, liimaus- ja lujuusominaisuuksia heikentämättä. Ensin on selvitettävä sekoitetun liimaseoksen ominaisuudet. Liimaseoksen tulee olla tasalaatuista ja sen viskositeetin on oltava liimanlevitykselle soveltuva.

Hartsin imeytymistä puuhun tulee parantaa. Täyteaineista pyritään löytämään optimaalinen seos, jonka avulla liiman imeytymistä puuhun parannetaan ja samalla saavutetaan parempi palonkestävyys. Liiman määrää voidaan lisätä 2 – 3 kertaiseksi, mikäli palonkesto-ominaisuudet paranevat. Paremmat palonkesto-ominaisuudet kompensoivat kustannuksia, jotka aiheutuvat lisääntyvästä liiman menekistä. Työn tarkoituksena on selvittää erilaisten aineiden vaikutusta liimaseokseen, liimattavuuteen, lujuusominaisuuksiin ja näiden merkitystä palonkesto-oon.

1.3 Tutkimusongelma ja rajaukset

Työssä on tarkoitus selvittää, mitä aineita lisäämällä saadaan parhaimmat palonkestävyysominaisuudet. Liimaseoksen liimattavuusominaisuudet eivät kuitenkaan saa oleellisesti huonontua. Lisäksi tuotteen on saavutettava koivuvanerilta vaadittavat lujuusominaisuudet. Työssä selvitetään liimaseokseen lisättävien palonestoaineiden vaikutusta vanerin palonkestävyysominaisuuksiin, liimaseoksen ominaisuuksiin, liimattavuuteen sekä lujuusominaisuuksiin.

1.4 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Työ aloitettiin tutustumalla teoriataustaan, olemassa oleviin tutkimuksiin ja vanerilta vaadittaviin lujuusominaisuuksiin ja palonkestävyyteen. Pyrittiin löytämään tutkimuksia, joissa on tutkittu eri palonestoaineiden tai lisäaineiden vaikutuksia liimatujen tuotteiden palonkestävyyteen.

Ensimmäisenä vaiheena työssä oli valita käytettävät vanerihartsit sekä palonestoaineet. Seuraavassa vaiheessa tutkittiin eri aineiden vaikutusta liimaseoksen viskositeettiin ja seoksen pysyvyyteen. Liimaseoksia tehtiin yhteensä noin 30. Fenolipohjaiseen hartsiin lisättiin erilaisia lisä- ja täyteaineita. Vanerihartsin imeytymistä viiluihin tutkittiin visuaalisesti siten, että hartsiseosta sekoitettiin puutikulla. Visuaalisesti seurattiin, nouseeko liima puutikkua pitkin ylöspäin. Jos liima nousi puutikkua pitkin, voitiin todeta sen imeytyvän puuhun. Mitä ylemmäs liima nousi tikkua pitkin, sitä parempi on penetraatio.

Vanerin liimautuvuutta tutkittiin liimaseoksista, jotka vaikuttivat ominaisuuksiltaan hyviltä. Eli niistä liimaseoksista, joiden viskositeetti pysyi vaadittavissa rajoissa ja joiden koostumus säilyi tasalaatuisena, valmistettiin vanerilevyjä. Liimaseoksen penetraatiota tarkasteltiin lisäksi ennen liimauksen aloittamista. Testilevyt liimattiin Dynea Chemicals Oy:n Haminan tehtaalla. Testilevyistä tehtiin 9-kerroksisia ja liiman levitysmäärä oli 160–190 g/m². Liiman levitysmäärän osalta oli sovittu, että levitysmäärää voidaan lisätä tarvittaessa, jos lisäyksellä saavutetut paremmat palonkesto-ominaisuudet kompensoivat liiman kustannusta. Levyt esipuristettiin ennen kuumapuristusta. Jokaisesta tutkittavasta liimaseoksesta valmistettiin vähin-

tään 3 levyä. Testilevyistä arvioitiin lujuusominaisuudet, leikkauslujuus ja tikkuprosentti.

Testeissä käytetyt koivuviilut on valmistettu Metsägroup Oy:n Suolahden tehtaalla. Liimaseokset valmistettiin Dynea Chemicals Oy:n Haminan tehtaalla. Liimaseoksia valmistettiin yhteensä noin 30 kpl ja ominaisuuksiltaan parhaimmista seoksista valmistettiin vanerilevyjä. Vanerilevyistä tutkittiin ensin lujuusominaisuudet. Parhaimmat lujuusominaisuudet omaavat levyt lähetettiin palonkestävyytestestihin. Metsägroup Oy:n Suolahden tehtaalla on kehitetty menetelmä palonkestominaisuuksien tutkimiseksi ja lujuusominaisuuksiltaan hyvät levyt testattiin Suolahden tehtaalla.

2. VANERI TUOTTEENA

Suomalainen koivuvaneri on pitkälle jalostettu puutuote. Se on miellyttävä ja kaunis materiaali, joka soveltuu moniin käyttökohteisiin aina rakennus- ja kuljetusvälineiteollisuudesta huonekaluihin. Vanerin hyvät lujuusominaisuudet lisäävät sen käyttömahdollisuuksia eri kohteissa.

Vaneria valmistetaan Suomessa koivusta ja kuusesta. Vaneria tehdään myös näiden kahden puulajin yhdistelmistä. Vaneri valmistetaan ristiin liimaamalla viilut. Ristiin liimaus lisää vanerin lujuusominaisuuksia. Liimauksessa käytetään useimmiten fenoli-formaldehydiliimaa, jolla saavutetaan exterior-luokan säänkestominaisuudet.

2.1 Vanerin käyttö

Koivuvanerin lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat erinomaiset sekä tuotteella on myös hyvä virumiskestävyys. Koivuvanerin tasoleikkauslujuus on hyvä ja tämän vuoksi se soveltuu muita vanereita paremmin raskaaseen ja vaativaan lattiakäyttöön. (Vanerikäsikirja 2005) Koivuvaneri on visuaalisesti kaunis ja tasalaatuinen tuote. Puutuotteena koivuvaneri on helposti työstettävä ja materiaalina miellyttävä. Koivuvaneria voidaankin käyttää sisustuslevyissä ja huonekaluissa. Vaneri voidaan lakata, petsata, kuultokäsitellä tai maalata.

Koivuvanerin tyypillisiä käyttökohteita ovat vaativimpien kohteiden betonoimislevyt, kuljetusvälineiden lattiat, kontin lattiat, raskaasti kuormitettujen rakennusten ja työskentelytasojen lattiat, vaativakäyttöiset teline- ja hyllytasot, kantavat erikoisrakenteet, ajoneuvojen lattia, seinät, katot, liikennemerkkit ja opastetaulut sekä kalusteet ja huonekalut. (Vanerikäsikirja 2005)

2.2 Vanerin valmistus

Vanerin valmistuksen työvaiheet ovat tukkien vastaanotto ja haudonta, kuorinta, katkonta ja viilun sorvaus. Sorvauksen jälkeen viilut joko leikataan ja tämän jälkeen kuivataan telakuivauskoneella ja lajitellaan. Tai toisena vaihtoehtona on sorvata viilut ja kuivata ne verkkokuivauskoneella ja tämän jälkeen leikata ja lajitella. Lajittelun jälkeen osa viiluista jatketaan tai lankasaumataan ja paikataan. Osa viiluista menee suoraan liimoitukseen. Liimoituksessa viilut ristikkäisliimataan fenoli-formaldehydiliimalla, jonka jälkeen ne esipuristetaan aihioina. Esipuristusta seuraa kuumapuristus. Puristimelta levyt menevät viimeistelyosastolle, jossa valmiit levyt paikataan, hiotaan ja reunat sahataan. Vanerilevyt voidaan myös tarvittaessa pinnoittaa tai maalata.

Koivun on helposti työstettävä ja sorvattava materiaali. Lisäksi koivun liimaus ja kuivaus ovat myös hyvin hallittavia työvaiheita, eikä niissä normaaliolosuhteissa ilmene ongelmia. Koivu soveltuu hyvin vanerin valmistukseen sillä sen lujuusominaisuudet ovat hyvät ja se on materiaalina homogeenista. (Koponen 1993)

Vanerin valmistus alkaa tukkien vastaanotosta ja haudonnasta. Tehtaalle tulleet tukit otetaan vastaan joko maavarastoon tai suoraan haudonta-altaaseen. Maavarastoinnissa on huolehdittava riittävästä kostutuksesta ja nopeasta kierrosta. Tukkeja haudotaan 15 – 40°C vedessä 1 – 2 vuorokautta (Koponen 1993). Tukkien haudonta edesauttaa lujan ja tasaisen viilupinnan sorvaamista. Haudonnan jälkeen tukit kuoritaan ja katkaistaan vakiomittoihin. Suomessa käytettävät katkaisumitat ovat 1300, 1600 ja 2600 mm (Koponen 1993).

Viilun sorvaus on yksi tärkeimpiä vanerinvalmistuksen työvaiheita. Viilujen tulee olla tasaisia, pinnaltaan sileitä eikä niissä saa olla paksuusvaihteluita. Sorvauksesta viilut menevät joko suoraan kuivaukseen tai sitten ne leikataan heti sorvauksen jälkeen tarvittaviin mittoihin. Telakuivauskonetta käytettäessä viilut leikataan heti sorvauksen jälkeen oikeisiin leveysmittoihin. Jos käytetään verkkokuivauskonetta, viilut leikataan vasta kuivauksen jälkeen. Viilut kuivataan noin 3 – 5 % kosteuteen. Viilun maksikosteutena liimauksen onnistumisen kannalta voidaan pitää noin 6 % (Koponen 1993). Erityisen tärkeää liimauksen onnistumisen kannalta on kuitenkin tasainen viilunkosteus, jotta vältetään liimausvirheitä.

Kuivauksen jälkeen viilut lajitellaan pintaviiluihin, keskimmäisiin laatuihin, paikattaviin, saumattaviin ja päistä sahattaviin viilulaatuihin (Koponen 1993). Paikattavat viilut lajitellaan vielä erikseen pintaviiluihin ja keskimmäisiin. Viiluista paikataan esim. oksanreiät hyvälaatuisesta viilusta tehdyllä paikkamateriaalilla. Saumattavat viilut liitetään yhteen joko lankasaumaajalla tai liimalla. Päistä sahattavista viiluista voidaan sahata kapeampia viiluja.

Vanerin liimauksessa viilut ristiin liimataan yleisimmin fenoli-formaldehydiliimalla. Viilut voidaan liimata joko telalevittimellä, ruiskulevityksellä tai vaahtoliimauksella. Liiman levitysmäärä vaihtelee puulajin, viilun paksuuden ja käytettävän liiman mukaan 120 – 190 g / m². Vanerilevy rakentuu siten, että liimaviilut ladotaan ristikkäin kuivien viilujen kanssa.

Liimauksen jälkeen vanerilevyt esipuristetaan useamman levyaihion erissä, huoneenlämmössä noin 6 – 10 minuutin ajan. Levyaihioita voidaan esipuristuksen jälkeen varastoida noin 2 tuntia ennen kuumapuristusta. Esipuristuksen ja välivarastoinnin jälkeen levyt syötetään yksitellen kuumapuristimeen. Puristuslämpötila on noin 125 – 130°C ja puristusaika lasketaan 3 min + 0,5min * levyn paksuus, mm. Puristusvaiheen jälkeen vanerit ovat valmiita jatkokäsittelyyn. Vanerin viimeistelyn työvaiheisiin kuuluu levyn reunojen sahaus, sekä pintojen hionta. Tämän jälkeen vanerilevyt vielä lajitellaan sekä virheelliset levyt paikataan. Tarvittaessa levyt pinnoitetaan tai muutoin käsitellään.

2.3 Vanerin ominaisuudet

Pinnoittamaton vakiovanerin laatuluokka määritellään pintaviilun laadun perusteella EN 635-normin mukaisesti. Pintaviilun laadun perusteella määritelty vanerin laatuluokka ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi levyn lujuusominaisuuksiin. Ulkokäyttöön tarkoitettulla liimalla liimatun vanerin kosteuseläminen on melko vähäistä. Exterior-liimatun vanerin mitan kasvu pintaviilun syiden suuntaan ja niitä vastaan kohtisuoraan on 0,015 % vanerin kosteuspiitoisuuden kasvaessa prosenttiyksikön. (Vanerikäsikirja 2005) Vanerilevyn kosteudenkestävyys on kuitenkin rajallinen, etenkin jos sitä ei ole pinnoitettu tai muutoin käsitelty kosteutta kestäväksi.

Fenoliformaldehydiliimalla liimatun vanerin formaldehydipäästöt ovat erittäin pienet. Formaldehydipäästöt alittavat kansainväliset vaatimukset. Standardin EN 717-2 mukaan määritetty pinnoittamattoman koivuvanerin formaldehydiemissio on 0,4 mg HCHO/m³. Tämä alittaa selvästi parhaan E1-luokan vaatimukset. (Vanerikäsikirja 2005) Vanerikäsikirjan mukaan vanerin biologinen kestävyys on yhtä hyvä kuin sillä puulajilla, josta se on valmistettu. (Vanerikäsikirja 2005) Eli liimaus siinänsä ei paranna vanerin biologista kestävyyttä. Liimassa olevat aineet voivat kuitenkin omalta osaltaan parantaa puun biologista kestävyyttä.

Miedot hapot ja happamat suolaliuokset eivät heikennä vanerin ominaisuuksia. Alkaliset aineet sen sijaan pehmentävät vanerin pintaa. Hapettavat aineet, kuten kloori, hypokloriitti ja nitraatti heikentävät vanerin ominaisuuksia ja suoraa kosketusta näiden aineiden kanssa tulee välttää. Pinnoittaminen fenolifilmillä tai lasikuidulla parantaa vanerin kemiallista kestävyyttä merkittävästi. (Vanerikäsikirja 2005)

2.4 Vanerin palonkesto-ominaisuudet

Vaneri, kuten puutuotteet yleensäkin, on palava materiaali. Kuitenkin vanerin palotekniset ominaisuudet ovat useita palamattomia materiaaleja paremmat. Lämpötilan muuttuessa vanerin mittamuutokset ovat erittäin pieniä ja vanerin palamisnopeus on pienempi kuin esimerkiksi sahatavaralla. Vaneri syttyy palamaan liekkien vaikutuksesta noin 270°C lämpötilassa ja itsestään se syttyy vasta yli 400°C lämpötilassa. Vaneri hiiltyy hitaasti, tasaisella nopeudella palon aikana, hiiltymisnope-

us on noin 0,6 mm/min. Tämän ansiosta vaneria voidaan käyttää palolta suojaavissa rakenteissa. Pinnoittaminen palonkestävillä kalvoilla tai palonsuojakemikaaleilla parantaa vanerin palonkestävyyttä. (Vanerikäsikirja 2005)

Myllylän (2011) mukaan pinnoittamattoman koivuvanerin paloluokka on D-s2, d2. Eurocode 5:n mukaan voidaan palolle alttiina olevalle, käsittelemättömälle vanerille käyttää hiiltymisnopeutena 1,0 mm/min. Vanerikäsikirja mainitsee käsittelemättömälle vanerille hiiltymisnopeudeksi 0,6 mm / min.

Puutuotteiden terminen paksuus vaikuttaa niiden syttymisnopeuteen. Termisesti paksu tuote syttyy hitaammin kuin termisesti ohut tuote. Tämä johtuu siitä, että ohuen puutuotteen altistuessa liekeille, myös vastakkaisen puolen lämpötila nousee nopeasti ja lämpötila nousee lähelle liekille altistuvan puolen lämpötilan. Termisesti paksun tuotteen vastakkaisen puolen lämpötila ei juuri nouse vaan on lähellä ympäristön lämpötilaa näytteen syttyessä. (Hakkarainen 2005)

”Puutuote määritellään termisesti ohueksi, jos sen paksuus ei ylitä muutamaa millimetriä. Termisesti paksuksi määritellään puolestaan puutuote, jonka paksuus on vähintään 10 mm.” (Hakkarainen 2005) Tässä tutkimuksessa tutkitaan vanerilevyjä, joiden paksuus on 12 mm, eli ne ovat siis termisesti paksuja. Puutuotteiden syttyvyyteen vaikuttavat useat tekijät. Merkittäviä tekijöitä ovat ainakin tuotteen tiheys, ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus, kosteus, pinnan absorptiivisuus ja emissiivisyys, diatermisyyys, paksuus, puun syiden suunta ja pinnoitteet sekä näytteeseen kohdistuva säteily. Edellä mainitut seikat vaikuttavat erikseen ja yhdessä puumateriaalin palo-ominaisuuksiin. (Hakkarainen 2005).

3. PUUN TEOLLINEN LIIMAUS

Puun teollisessa liimauksessa on huomioitava lopputuotteen liimasaumalle asetamat vaatimukset. Puuta liimattaessa yksi merkittävimmistä liiman valintaan vaikuttavista seikoista on tuotteen kosteudenkestävyydelle asetettavat vaatimukset. Ulkokäyttöön tarkoitetuille tuotteille on erilaiset liimat kuin sisäkäyttöön. Ulkokäyttöön soveltuvia liimoja ovat mm. fenoli-formaldehydiliimat sekä resorsinoliliimat. Sisäkäyttöön tulevien tuotteiden liimaukseen käytetään esimerkiksi urealiimaa.

Liiman valinta ja liimausprosessin aiheuttamat kustannukset vaikuttavat myös tuotteen kustannusrakenteeseen. Siksi on oleellista valita aina mahdollisimman hyvin tuotteelle soveltuva liima. Liiman levitystä optimoimalla voidaan säästää oleellisesti tuotteen valmistuskustannuksissa.

Jotta liimaus onnistuu, on liimaseoksen kostutettava tasaisesti liimattava viilu. Lisäksi liimauksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että adheesio eli liiman tartunta puuhun on riittävää. Liiman on siis tunkeuduttava puun sisään riittävästi. Liimasauma ei myöskään saa rikkoutua kutistumisjännitysten vaikutuksesta. Liiman kovettuessa liimasauman on kyettävä pitämään liimatut osat tiukasti yhdessä. Jos liimasauma on liian paksu, liimasaumaan syntyy helpommin kutistumisjännityksiä, jolloin liimasauma murtuu. Lisäksi on erittäin tärkeää, että liima kestää käyttöolosuhteissa vuodesta toiseen. (Kilpeläinen 1989)

Tässä työssä keskitytään koivuvanerin liimaukseen. Koivu ja kuusi ovat suomalaisen vaneriteollisuuden pääasialliset puulajit. Koivuvaneri on pääsääntöisesti kuu-sivaneria lujempaa ja tasalaatuisempaa.

3.1 Käytettävät hartsit / liimat

Suomessa valmistettavan ristiin liimatun vanerin liimaukseen käytetään pääasiassa fenoli-formaldehydiliimaa. Fenoli-formaldehydiliimalla liimatut tuotteet soveltuvat myös ulkokäyttöön ja FF-liimalla liimattujen tuotteiden käyttöluokka on 3, exterior. Fenoli-formaldehydiliima täyttää eurooppalaisen standardin EN 314-2: luokka 3 (exterior) vaatimukset. (Vanerikäsikirja 2005)

Koposen (1990) mukaan nykyisin käytössä olevat liimat luokitellaan luonnonperustaisiin suurimolekyylisiin aineisiin ja synteettisiin tavallisimmin öljyyn perustuviin tuotteisiin. Puuliimat ovat yleensä kolloidisia liuoksia, joissa hiukkaskoko on yli 10^{-9} m. Tällaisia kolloidisia liuoksia ovat tavallisimmat liimat kuten, urea-, fenoli- ja resorsinoli-hartsit sekä epoksihartsit. (Koponen 1990)

Fenoli-hartsit muodostuu, kun fenoli ja formaldehydi reagoivat. Fenolit ovat orgaanisia aromaattisia yhdisteitä, joissa OH- ryhmä on suoraan liittynyt bentseenirenkäseen. FF-hartsien kondensaatioaste on alhainen ja niihin on lisätty jatkos-, täyte- ja koveteaineita. Alkalisen FF-hartsin kovettuminen tapahtuu korotetussa lämpötilassa. Tärkeimpiä fenolilajeja ovat fenoli, m-kresoli sekä resorsinoli. (Koponen 1974)

Fenoli-liimojen käyttökohteita kuumakovettuvina ovat vanerin valmistus, paperipohjaisten pinnoitekalvojen kyllästäminen sekä erilaiset kokoonpanoliimaukset. Fenoli-liimalla tuotteesta saadaan säänkestävä ja luja. Lisäksi fenoli-liimalla liimatut tuotteet kestävät suhteellisen hyvin mikro-organismeja, kemikaaleja, öljyä ja liuotteita. Liimasauma on väriltään punaruskea. (Koponen 1990)

Fenoli on hyvin myrkyllistä ja jopa pienet kerta-annokset voivat olla tappavia. Vanerituotteissa vapaan fenolin määrä on oltava hyvin pieni, koska tehdasolosuhteissa kosketusta liimaseokseen on hyvin vaikea välttää. Etenkin liimoittimella ja puristimella työskentelevät henkilöt altistuvat liimalle työssään. Fenoliformaldehydi-liimat kovettuvat $125 - 150^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Hyvin korkeat puristuslämpötilat saattavat aiheuttaa ongelmia levyjen puristuksessa, koska korkea lämpötila lisää taipumusta höyrykuplien muodostumiseen liimasauman keskiosiin. (Koponen 1990)

Tässä työssä tutkitaan kolmen fenoliformaldehydihartsin soveltuvuutta ja toimivuutta eri palonestoaineiden kanssa. Tutkittaviksi hartseiksi valittiin vanerihartsit 16, 17 ja 18.

Vaneriharts 17

Vaneriharts 17 on nestemäinen ja vesiliukoinen fenoli-formaldehydiharts. Hartsia käytetään yhdessä pulverikovetteen kanssa. Liimaseos soveltuu käytettäväksi tela-, juova-, spray tai vaahtolevittimessä. Harts soveltuu tehtaille, joissa on lyhyt ladonta-aika ja kuumapuristuksen ja esipuristuksen välinen aika voi olla suhteellisen pitkä. Vaneriharts 17:lla liimattu vaneri on säänkestävää ja se täyttää standardien EN 314-2 / luokka 3 liimaus- ja lujuusvaatimukset sekä formaldehydistandardin EN 1084 / luokka A vaatimuksen vanerille. Hartsiin voidaan sekoittaa lahon- ja hyönteissuoja-aineita. (Dynea, tekninen tiedote Vaneriharts 17, 2013)

Vaneriharts 16

Vaneriharts 16 on nestemäinen, vesiliukoinen fenoli-formaldehydiharts. Hartsia käytetään pääasiassa havuvanerin liimaukseen yhdessä pulverikovetteen kanssa. Liimaseos soveltuu käytettäväksi tela-, juova-, spray tai vaahtolevittimessä. Vaneriharts 16:lla liimattu vaneri on säänkestävää ja se täyttää standardien EN 314-2 / luokka 3 liimaus- ja lujuusvaatimukset sekä formaldehydistandardin EN 1084 / luokka A vaatimuksen vanerille. Hartsiin voidaan sekoittaa lahon- ja hyönteissuoja-aineita. (Dynea, tekninen tiedote Vaneriharts 16, 2013)

Vaneriharts 18

Vaneriharts 18 on nestemäinen, vesiliukoinen fenoli-formaldehydiharts. Hartsia käytetään vanerin liimauksessa yhdessä pulverikovetteen kanssa. Liimaseos soveltuu käytettäväksi tela-, juova-, spray tai vaahtolevittimessä. Harts soveltuu käytettäväksi olosuhteissa, joissa ladonta-aika on lyhyt sekä liimaukseen, jossa aika ladonnasta esipuristukseen on lyhyt. Vaneriharts 18:lla liimattu vaneri on säänkestävää ja se täyttää standardien EN 314-2 / luokka 3 liimaus- ja lujuusvaatimukset sekä formaldehydistandardin EN 1084 / luokka A vaatimuksen vanerille. Hartsiin voidaan sekoittaa lahon- ja hyönteissuoja-aineita. (Dynea, tekninen tiedote Vaneriharts 18, 2013)

Tässä tutkimuksessa selvitetään, voiko edellä mainittuihin vanerihartseihin sekoittaa palonestoaineita.

3.2 Liimojen lisäaineiden vaikutus liimaustulokseen

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan erilaisten lisäaineiden vaikutusta liimaseokseen ja liimattuun tuotteeseen. Lisäaineita pyritään lisäämään maltillisesti, jotta lujuusominaisuudet eivät heikkenisi. Palonkesto-ominaisuuksien kannalta on kuitenkin oleellista, että käytettävien aineiden määrät olisivat riittäviä palonkesto-ominaisuuksien parantamiseksi.

Lisäaineet vaikuttavat liiman kemiallisiin ominaisuuksiin sekä liimattavuuteen yleisesti. Tässä tutkimuksessa ei tehdä syvällisempää kemiallista tarkastelua eri aineiden kemiallisista vaikutuksista liimattaviin seoksiin. Seosten liimattavuutta arvioidaan viskositeetin kehittymisen avulla sekä visuaalisesti liimaseoksen laatua tarkastellen. Lisäksi viskositeetiltaan liimaukseen soveltuvat seokset liimataan ja levyjen lujuus testataan.

3.3 Vanerin liimaus

Puun liimauksen onnistumisen edellytys on liiman riittävä tunkeutuminen puu-ainekseen. Koposen mukaan vanerin rakenteessa tasapainotetaan varsin erilaisia lujuus- ja elämisominaisuuksia (Koponen 1974). Viilujen ristiin liimaus tasapainottaa siis levyn lujuus- ja elämisominaisuuksia.

Suomessa vaneria liimataan pääasiassa FF-hartseilla. FF hartsiin lisätään kovetetta, jonka koostumus vaihtelee eri valmistajien mukaan. Esipuristustartunnan parantamiseksi FF-hartsiin lisätään 1 – 2 % tärkkelystä, esimerkiksi vehnäjauhoa. Vehnäjauhomäärä vastaa noin 5 % FF-hartsin kuiva-aineesta. Vehnäjauhon ei ole todettu vaikuttavan liimauksen laatuun tai liimaustuloksiin, kun sitä lisätään 1 – 2 %. Liiman levitysominaisuuksien parantamiseksi liimaan lisätään täyteaineena mm. liitua tai puujauhoa. Jos liitua käytetään paljon, vaikuttaa se haitallisesti liimausominaisuuksiin ja työstettävyyteen. (Koponen 1974)

Tanniineja käytetään liiman kovettamiseen FF-hartseissa. Yleisesti käytetään quebracho-uutetta. Quebrachoa käytetään 4 – 6 % FF-hartsiliiman painosta. Esipuristusta käytettäessä kovettamiseen tarvittava määrä voi olla vähäisempikin. (Koponen 1974) Liimaseos sekoitetaan valmiiksi vasta vaneritehtaalla. Hart-

siseoksen joukkoon sekoitetaan valmis koveteseos ja joukkoon lisätään tarvittava määrä vettä. Tehtaat kierrättävät liimoituslaitteistojen pesusta jääneen veden uudelleen liiman sekaan. Mahdolliset liiman sekaan annosteltavat lisäaineet lisätään tässä vaiheessa. Valmis liimaseos johdetaan putkistoja pitkin liimoittimille. Liiman käyttöikä sekoituksesta on noin 6 – 8 tuntia. Liiman säilyvyyteen vaikuttavaa oleellisesti lämpötila ja se, kiertääkö sama liima putkistoissa useampaan otteeseen.

Liimoitusmenetelmistä käytetyin on telalevitys. Myös ruisku-, juova- ja valulevitys ovat käytettyjä menetelmiä. Telalevitys on tehokas ja halpa menetelmä liiman levitykseen. Levitystelat on uritettu ja eri uraprofiileilla voidaan levittää ominaisuuksiltaan erilaisia liimoja. Viilun laatu vaikuttaa kuitenkin oleellisesti telaliimauksen onnistumiseen. Epätasainen viilu aiheuttaa epätasaisen levitystuloksen. Lisäksi liiman viskositeetti vaikuttaa oleellisesti liiman levitysmäärään. Esimerkiksi lämpötilan noustessa liiman viskositeetti nousee ja tämä puolestaan nostaa levitysmäärää. (Koponen 1974)

Havuahon (2013) mukaan telalevitys on edelleen yleisin liimoitusmenetelmä. Hänen mukaansa käytettyjä menetelmiä nykyään ovat myös vaahtoliimaus sekä ruisku- ja juovalevitys. Vaahtoliimaus on menetelmänä yleistynyt.

Liiman levitysmäärä riippuu puulajista, liimausmenetelmästä sekä liiman koostuksesta. Vanerin liimauksessa liiman levitys vaihtelee 100 – 200 g/m² välillä. Viskositeetti on Brookfield mittarilla mitattaessa välillä 400 – 1500 cp, kun liimausmenetelmänä on telalevitys. Kevyet puulajit, jotka imevät yleensä paljon liimaa, on pyrittävä liimaamaan liimoilla, joilla viskositeetti on suhteellisen korkea. Koivun ja muiden painavampien puulajien liimaukseen soveltuvat parhaiten liimat, joilla on suhteellisen alhainen viskositeetti. (Koponen 1974)

Liimauksen jälkeen levyt esipuristetaan ja kuumapuristetaan. Valittavaan esipuristuspaineeseen vaikuttavat liimattava puulaji ja liima. Koivu- ja havuvanerin esipuristuksessa käytetään paineena 0,6 – 1 N / mm². Paineen on jakauduttava tasaisesti koko levyn pinnalle. Esipuristusaika vaihtelee 4 – 10 minuutin välillä. Liiman valmistajalta saa tarkempia ohjeita puristusaikaan tai paineeseen. (Koponen 1974)

Esipuristuksen jälkeen levyjä yleensä seisotetaan hetki ennen kuumapuristusta. Suljettu odotusaika on vähintään noin 20 minuuttia. Tällä hetkellä käytettävien liimojen rata-aika on koivuvanerilla maksimissaan 6 tuntia ja havuvanerilla 8 tuntia (Havuaho 2013). Kuumapuristuslämpötila Dynea Chemicalsin FF-hartseilla asetuu 125 – 132°C lämpötilaan. Puristusaikaa voidaan säädellä puristuslämpötilan avulla. Matalaa puristuslämpötilaa käytettäessä puristusaika kasvaa. Tämä vaikuttaa oleellisesti tuotantoprosessin kapasiteettiin. Korkea puristuslämpötila puolestaan mahdollistaa puristusajan lyhentämisen. Liian korkean puristuslämpötilan riskinä on kuitenkin veden höyrystyminen liimasaumassa, jolloin onttojen levyjen riski kasvaa.

Puristusaika jaetaan perusaikaan ja lämmön läpimenoaikaan. Lämmön läpimenoaika on sauman lämpiämiseen kulunut aika ja perusaika on puolestaan aika, jonka kuluessa liima kovettuu asetetussa lämpötilassa. (Koponen 1974). Puristusaika voidaan ohjeellisesti laskea siten, että $3 \text{ min} + 30 \text{ s} * \text{levyn paksuus (mm)}$. Eli 12 mm paksun levyn puristusaika on $3 \text{ min} + (12\text{mm} * 30 \text{ sekuntia}) = 9 \text{ min}$ (Havuaho 2013).

Puristuspaineen määrittämiseen vaikuttavat puulaji, viilun kosteus sekä käytettävä liima. Painavat puulajit vaativat korkeamman puristuspaineen, jotta liima tunkeutuu riittävästi puuhun sekä liimattavat pinnat kostuvat riittävästi. Kevyemmillä puulajeilla käytetään alhaisempaa puristuspainetta, jotta vältetään levyjen kokoonpuristumiselta. Puristuspainetta alennetaan puristuksen edetessä, jolloin levyn kokoonpuristuminen estyy. (Koponen, 1974). Puristinta avattaessa levyssä oleva vesi höyrystyy. Höyrystyvä vesi saattaa aiheuttaa levyn liimasaumojen rikkoutumisen. Tämä estetään laskemalla painetta vielä lisää puristuksen loppuvaiheessa. (Koponen 1993)

3.4 Liimaseoksen ominaisuuksien mittaaminen

Puutuotteiden liimauksessa käytettävän liimaseoksen on oltava tasalaatuista ja reagoitava aina samalla tavoin, mikäli prosessin ominaisuudet eivät muutu. On muistettava, että prosessin kaikki vaiheet vaikuttavat toisiinsa, eikä parametreja voi muuttaa tarkastelematta vaikutuksia muihin prosessin osiin.

Liiman valmistaja antaa liimaseoksen ominaisuuksille tietyn raja-arvot, joiden puitteissa ominaisuuksien on pysyttävä. Liimaseoksesta mitattavia ominaisuuksia ovat viskositeetti, ominaispaino, kuiva-aine- ja hartsipitoisuus, pH, varastointi- ja käyttöikä, kovettumis- ja geelautumisaika sekä haitalliset aineet (Koponen 1974)

Vaneritehtailla liimaseoksen laatua seurataan silmämääräisesti ja kokemuksen pohjalta tehdään huomioita. Lisäksi liimaseoksen viskositeettiä ja kuiva-ainepitoisuutta tarkkaillaan. Liiman levitysmäärää tarkkaillaan säännöllisesti, liiman levitysmäärä otetaan vähintään kerran työvuoron aikana jokaiselta liimoittimelta. Liiman toimittajan antamia varastointi- ja käyttöaikoja noudatetaan.

3.4.1 Viskositeetti

Liimaseoksen ominaisuuksista yksi tärkeimmistä mitattavista suureista on viskositeetti ja sen kehittyminen. Viskositeetti on yleisin tapa tarkkailla liimaseoksen laatua. Käyttötarkkailussa kätevin on FORD cup-laite (DIN 53211), jolla mitataan tietyn liimamäärän astiasta valumiseen kulunut aika sekunteina. Tavallisesti käytetään 4 mm tai 6 mm aukkoa (Koponen 1974). Tässä työssä liimaseoksen viskositeetti on mitattu Ford cup-laitteella, jonka aukko on 6 mm. Vanerin liimauksessa käytettävän liiman viskositeetin tulee olla 25 – 35 sekuntia kahden tunnin kuluttua liiman sekoituksesta.

3.4.2 Kuiva-ainepitoisuus

Liimaseoksen kuiva-ainepitoisuuden määrittely tapahtuu siten, että pieni määrä näytettä (yleensä 2 g) punnitaan kellolasiin ja tämän jälkeen näyte kuivataan 2 tunnin ajan lämpökaapissa +120°C lämpötilassa. Tästä määritellään seoksen kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainepitoisuuden määrittely on lähinnä käyttäjän laadunvalvontatoimenpide. Nestemäisissä liimoissa merkittäväntä on sitovan aineen määrä. (Koponen 1974)

3.4.3 Varastointi- ja käyttöaika

Varastointi- ja käyttöaika ovat liiman valmistajan ilmoittamia raja-arvoja tuotteen säilyvyydelle ja käytettävyydelle. Varastointikestävyys on hartsille ilmoitettava säilyvyysaika +20°C lämpötilassa. Tyypillinen varastointikestävyys fenoli-

formaldehydihartseille on 2 – 4 viikkoa. Hartsin ominaisuudet muuttuvat hartsin vanhetessa ja lämpötilojen noustessa. Hartsin vanhetessa tai lämpötilan noustessa viskositeetti alkaa nousta, mikä vaikuttaa tuotteen käytettävyyteen. Käyttöaika puolestaan on se aika, minkä liima on käyttökelpoista, kun hartsiin on sekoitettu kovete. Vaneritehtaalla liimaseos kestää noin 6 – 8 tuntia.

3.4.4 Ominaispaino

Nestemäisistä liimoista ominaispaino mitataan aerometrillä tai määrittämällä tietyn tilavuuden liiman paino. Ominaispainon määrittäminen on tärkeää, kun liiman annostusta määritellään sekoitusvaiheessa. Lisäksi valmistajan laaduntarkkailun kannalta on tärkeää määrittää tuotteen ominaispaino. Monet liimanvalmistajat määrittelevät tuotteiden pitoisuuden ominaispainon perusteella, joten ominaispainon mittaus antaa tietoa myös liuksen kuiva-ainepitoisuudesta. (Koponen 1975)

3.4.5 pH

Liimaseoksen pH vaikuttaa liimasauman kestävyysasteeseen. Puun pH-arvo on aavistuksen seitsemän alapuolella, joten puun pH arvo voidaan määrittää aavistuksen happamaksi. Puu kestääkin yleensä hyvin happojen vaikutusta. (Kilpeläinen 1989). Jos vähäinen tarkkuus riittää, voidaan pH mitata helposti värinmuutoksiin perustuvilla indikaatioväreillä. Indikaatiovärien käytön heikkoutena on kuitenkin suuri tulkinnanvaraisuus. Tarkempia ja luotettavampia mittaustuloksia saadaan käyttämällä pH-mittaria. (Koponen 1974)

3.4.6 Kovettumis- ja geelautumisaika

Kovettumis- ja geelautumisaika määrittelevät sen ajan, jona liima kovettuu. Kovettumis- ja geelautumisajan perusteella pystytään määrittelemään tarkemmin liiman käyttöaika. Nämä ovat tärkeitä liimausparametrien määrittelyssä, mm. liimausaika, avoin aika sekä puristusajat.

Geeliaikamittaria käytetään liiman geelautumisajan määrittelyyn. Termostoidussa astiassa olevaan liimaseokseen laitetaan kiekko, joka pyörii. Kiekko on kiinni mittarissa, joka mittaa viskositeetin nousua. Kun saavutetaan tietty viskositeetti, kiekko pysähtyy. Geelautumisaika ilmoitetaan yleensä minuutteina. Liiman kovettumisaika

ka voidaan määrittää siten, että koeputkeen laitetaan sovittu määrä liimanäytettä. Tämän jälkeen koeputkin laitetaan kiehuvaan veteen ja mitataan kovettumiseen kuluva aika. (Koponen 1974)

3.4.7 Haitallisten aineiden määrä

Haitallisista aineista määritellään yleensä vapaa formaldehydi sekä vapaa fenoli. Molempien aineiden määrä on saatava mahdollisimman alhaiseksi, koska ne ovat terveydelle vaarallisia. Sekä fenolin että formaldehydin terveyshaitat ovat merkittäviä, joten on ensiarvoisen tärkeää, että niiden pitoisuudet valmiissa liimaseoksessa ja lopputuotteessa ovat mahdollisimman alhaisia. Koposen (1974) mukaan fenoli ja formaldehydi määritellään II asteen myrkyiksi, joten on selvää, että näiden tuotteiden pitoisuus liimaseoksessa tai hartsissa ei saa nousta liian korkeaksi.

Haitallisten aineiden määrä liimaseoksissa vaikuttaa niiden käyttöön ja käyttömahdollisuuksiin teollisuudessa. Teollisuudessa halutaan koko ajan vähentää haitallisten aineiden käyttöä, koska ne vaikuttavat työntekijöiden terveyteen sekä asettavat tuotteiden käytölle erityisiä vaatimuksia. Fenoli ja formaldehydi ovat tuotteina vaarallisia ja haitallisia, mutta kuitenkin välttämättömiä, jotta saadaan valmistettua tarvittavat ominaisuudet omaavaa liimaa.

3.4.7.1 Fenoli

Vapaa fenoli voidaan määrittellä hartsista vesihöyrytislauksella ja titraamalla lisätty bromi jodimetrisesti (Koponen 1974). Vapaa fenoli voidaan määrittää myös Kromatografian avulla. Kromatografia on menetelmä kemiallisten yhdisteiden määrittämiseksi. Kromatografia perustuu aineiden erilaisiin ominaisuuksiin, kuten kokoon, sähkövarauksen määrään, kemiallisiin ominaisuuksiin sekä aineiden erilaiseen liukoisuuteen eri liuottimissa.

Fenoli imeytyy nopeasti elimistöön sekä ihon kautta, nieltynä että hengitysteistä. Fenoli ärsyttää ja syövyttää limakalvoja ja ihoa. Tyypillisiä oireita äkilliselle myrkytykselle ovat hengityskeskuksen lamaantuminen sekä maksa- ja munuaisvauriot. (Kemian työsuojeluneuvottelukunta 2001)

Yli 10 ppm:n fenolihöyrypitoisuudet ärsyttävät hengitysteitä sekä vaikuttavat keskushermostoon. Suurille pitoisuuksille altistuminen voi aiheuttaa maksa- ja munuaisvaurioita. Fenoliliuokset (yli 5 %) ovat iholla syövyttäviä. Altistus suurille pitoisuuksille voikin aiheuttaa rytmihäiriöitä, tajuttomuutta, kouristuksia tai jopa kuoleman. (Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Fenoli 2012)

3.4.7.2 Formaldehydi

Formaldehydin mittaaminen puolestaan perustuu formaldehydin reaktioon neutraalin NA-sulfiitin kanssa, jolloin muodostunut NaOH määritetään titraamalla. (Koponen 1974) Formaldehydin määrä voidaan määrittää myös Kromatografian avulla. Formaldehydi reagoi voimakkaasti muiden aineiden kanssa. Vesiliuoksissa formaldehydi esiintyy metyleeniglykolina. Formaldehydiä käytetään erityisesti hartsien valmistuksessa. Formaldehydin työhygieeninen raja-arvo Suomessa on 0,37 mg / m³. (Rosenberg 2005)

Formaldehydi ärsyttää hengitysteitä ja silmiä 2 – 4 ppm pitoisuudessa. Formaldehydi aiheuttaa polttavaa tunnetta silmissä, kyynelvuotoa ja yskää 5 – 20 ppm pitoisuudessa. Välittömän vaaran aiheuttaa 40 – 100 ppm:n pitoisuus. (Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Formaldehydi 2012)

3.5 Liimasauman lujuuden testaus

Liimasauman lujuus testattiin standardien EN314-1 EN 314-1 Class 1 mukaan. Tulosten tarkastelu tehdään EN314-2 annettujen arvojen mukaisesti. Koelevyistä valmistettiin leikkauslujuuskoekappaleita, joiden koko on:

- Sauman leikkauspituus ($25 \pm 0,5$ mm)
- Testikappaleen leveys ($25 \pm 0,5$ mm)
- Sahausuran leveys (2,5...4mm)
- Koekappaleen pituus 135...150 mm

Koekappaleita pidettiin 24 h vesi vesiliotuksessa (20°C), minkä jälkeen koekappaleiden liimasauman vetolujuus testattiin Zwick-testauslaitteella. Lisäksi jokaisen kappaleen puustamurtuma-prosentti arvioitiin. Puustamurtumaprosentti arvioitiin koekappaleista visuaalisesti, heti testin jälkeen. Tämän jälkeen kappaleet vielä

kuivattiin ja puustamurtuma-prosentti arvioitiin uudelleen. Standardi EN 314-1 suosittelee, että puustamurtumaprosentti arvioidaan kuivista koekappaleista.

Koekappaleita testattiin jokaisesta liimatusta seoksesta 60 kpl. Pintasauma ja keskisauma testattiin kolmesta levystä. Koekappaleita tehtiin, siten että jokaisesta levystä näytteitä sahattiin 10 kpl keskisaumasta ja 10 kappaletta pintasaumasta. Havuahon (2013) mukaan levyn keskisauma testataan, jotta nähdään onko puristusaika ollut riittävä. Jos epäillään liiman liiallista imeytymistä, niin keskisaumasta näkee tämän parhaiten, koska se on tämän suhteen kriittisin. Lämpö menee hitaimmin keskisaumaan ja liima ehtii imeytyä, mikäli liimaseos ei ole täysin soveltuva.

Liimasauman vetolujuuskappaleiden sorvaushalkeaman suunta vaikuttaa kappaleen lujuuteen. Koekappaleita sahataan yleensä vähintään 10 kappaletta samasta levystä. Käytännössä lähes aina levyistä testataan 10 näytettä pintasaumasta ja 10 keskisaumasta. Näytteet sahataan eri suuntaan, jotta sorvaushalkeamien vaikutus tulee huomioitua. Sorvaushalkeamat vaikuttavat liimasauman lujuuteen. Jos koekappale on uritettu sorvaushalkeamia auki vetäväksi kappale ei kestä niin suurta vetokuormaa kuin jos koekappale on uritettu halkeamia kiinni vetäväksi (Hirvonen 2003).

SFS-EN 314-2, Vaneri. Liimauslujuus Vanerille asetetut lujuusominaisuusvaatimukset esitellään standardissa, osa 2: Vaatimukset

N/mm ²	Puustamurtumis- %
$0,2 \leq F_v \leq 0,4$	$\geq 80 \%$
$0,4 \leq F_v \leq 0,6$	$\geq 60 \%$
$0,6 \leq F_v \leq 1,0$	$\geq 40 \%$
$1,0 \leq F_v$	Ei vaatimuksia

Kaikkien liimausluokkien, jokaisen liimasauman osalta on täytettävä kaksi yllämainittua kriteeriä samanaikaisesti.

4. PUUTUOTTEEN PALAMINEN JA SYTTYMINEN

Puu on palava materiaali. Vanerin on siis todettu syttyvän palamaan liekkien vaikutuksesta noin 270°C lämpötilassa ja itsestään se syttyy vasta yli 400°C lämpötilassa. ”Syttymisen ja palamisen yleinen edellytys on polttoaineen ja hapen sekoittuminen riittävän korkeassa lämpötilassa. Palamisella tarkoitetaan lämpöä vapauttavia eli eksotermisiä aineen hapettumisreaktioita, joita tapahtuu niin paljon, että palamistuotteiden lämpötila nousee huomattavasti korkeammaksi kuin ympäristön lämpötila” (Horttanainen 1999).

Pyrolyysi on polttoaineen niin sanottujen haihtuvien aineiden reaktio, joissa haihtuvat aineet muuttuvat kaasumaiseen olomuotoon ja poistuvat kiinteistä aineesta tai nesteestä. Kiinteässä olomuodossa olevat yhdisteet yleensä myös muuttuvat toisiksi yhdisteiksi, eivätkä vain muuta olomuotoaan. Puu koostuu pääasiassa selluloosasta ja hemiselluloosasta sekä ligniinistä. Selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini ovat melko suuria hiilivety-yhdisteitä. Pyrolyysissä nämä suuret molekyylit pilkkoutuvat usein pienemmiksi ja kevyemmiksi yhdisteiksi. Pyrolyysireaktiot tapahtuvat lämmön tuonnin ja lämpötilan kasvun seurauksena. Pyrolyysi on siis pääasiassa endoterminen eli lämpöä sitova reaktiosarja eikä se vaadi happea toteutuakseen. Pyrolyysituotteet kuitenkin reagoivat helposti hapen kanssa ja vapauttavat lämpöä. Puupolttoaineen pyrolyysireaktion seurauksena syntyy mm. terveyhdisteitä, häkää, metaania ja vetyä. (Horttanainen 1999) Palaminen vaatii aina alkulähteen, joka kuumentaa materiaalin. Palo vaatii aina kolme tekijää toteutuakseen, eli palavan aineen, korkean lämpötilan ja happea.

4.1 Palo-ominaisuuksien tutkimusmenetelmät

Puulevyjen palo-ominaisuuksia voidaan tutkia usean eri menetelmän avulla. SBI-koe on Eurooppalaisen pintakerrosten paloluokitusjärjestelmän keskeisin menetelmä palaville tuotteille. Kartiokalorimetrikoe puolestaan soveltuu hyvin tuotekehityksen testausmenetelmäksi. Kartiokalorimetri-kokeessa tarvittavan koekappaleen näytekokoon on 0,01 m², kun SBI-kokeessa tarvittava näytekokoon on 2 m². Kartiokalorimetrikokeen tulosten perusteella voidaan ennakoita SBI-kokeen tuloksia. (Hakkarainen et al. 2005)

SBI-Koe perustuu standardiin EN 13823 ja sen avulla tutkitaan palon lämmön- ja savuntuottoa, liekinleviämistä sekä pisarointia. Kartiokalorimetrikoe on standardin EN ISO 5660-1 mukainen ja se kertoo koekappaleen lämmöntuoton kehittymistä sinä aikana, kun sitä altistetaan säteilylle. Muita mahdollisia menetelmiä palo-ominaisuuksien tutkimiseksi ovat pienenliekintesti, joka on standardin EN ISO 11925-2 mukainen testimenetelmä syttymisajan ja liekkien leviämisen tutkimiseen. Säteilypaneelitesti puolestaan on standardin EN ISO 9239-1 mukainen. Säteilypaneelitestillä tutkitaan koekappaleen syttymisnopeutta, liekin leviämisenopeutta ja savuntuottoa. (Mustonen 2012)

5. PALONESTOAINEET

On olemassa useita eri palonestoaineita, jotka toimivat ja vaikuttavat monella eri tavalla. Osa palonestoaineista toimii hyvin yksinkin, mutta osa toimii parhaiten yhdessä muiden aineiden kanssa. Tässä tutkimuksessa pyritään löytämään palonestoaineita, jotka toimisivat joko yksin tai yhdessä muiden palonestoaineiden kanssa vaneriliimaan sekoitettuna.

Parannukset syttyvien tuotteiden palo-ominaisuuksissa voivat lisätä niiden käyttöä uusissa sovelluksissa, etenkin rakennuksissa ja nostaa asumisen paloturvallisuutta. Sarvarannan mukaan leimahdusta tai paloa estävät materiaalit ja tuotteet ovat tarkoitettu hidastamaan palon syttymistä. (Sarvaranta 1996)

Leimahdusta estävät tuotteet aikaansaadaan joko kemiallisin tai rakenteellisin keinoin. Leimahduksen estävät tuotteet vaikuttavat palon parametreihin liittyen pinnan materiaaleihin kuten syttymisaikaan, pinnan leviämiseen liekkeihin ja savun tuottoon ja ne näin ollen suojaavat ensimmäistä vaihetta palolta. Paloa estävät tuotteet antavat suojausta kokonaisuudessaan, kun palo kehittyy ja rakenne alkaa hiiltä. (Sarvaranta 1996)

Sarvarannan (1996) tutkimuksessa esitellään kuusi erilaista teoriaa liittyen puun pyrolyysin ja palamisen estämiseen

- a. Este teoria (Barrier theories)
Paloa hillitsevät kemikaalit estävät helposti haihtuvien yhdisteiden pääsyn tuotteen pintaan muodostamalla lasimaisen esteen. Tämä estää myös happea pääsemästä tuotteen pintaan ja eristää puun pinnan korkealta lämpötilalta.
- b. Lämpö teoria (thermal theories). Paloa hillitsevät kemikaalit voivat lisätä puun ominaissähkönjohtavuutta, jolloin kuumuus ajautuu pinnasta pois nopeammin kuin sitä siihen johtuu. Palonestokemikaalit voivat vaikuttaa kemiallisiin ja fyysisiin muutoksiin niin, että kuumuus absorboituu kemiallisesti, estäen puun pintaa syttymästä.
- c. Heikosti syttyvien kaasujen vähenemisen teoria (Dilution by noncombustible gases theories). Vapautuneet, ei leimahtavat kaasut, jotka ovat syntyneet paloa estävien kemikaalien hajotessa, laimentavat palokaasuja, jotka muodostuvat puun pyrolyysissä ja muodostavat ei leimahtavan kaasu seoksen.
- d. Vapaiden radikaalien ansa – teoria (Free radical trap theories)
Paloa estävät kemikaalit vapauttavat vapaita radikaaleja inhibiittoreita pyrolyytisessä lämpötilassa, jolloin leimahduksen ketjuuntumisreaktio keskeytyy.
- e. Lisääntyvä hiiltyminen – helposti haihtuvien väheneminen – teoria (Increased char – reduced volatiles theories) Paloa hidastavat kemikaalit alentavat lämpötilaa, missä pyrolyysi tapahtuu, ohjaamalla palon enemmän hiiltä tuottavaksi ja vähemmän helposti haihtuvia aineita tuottavaksi.
- f. Helposti haihtuvien yhdisteiden aleneva lämpösisältö - teoria (Reduced heat content of volatiles theories). Paloa hillitsevät kemikaalit alentavat palavien, haihtuvien yhdisteiden lämpösisältöä. Tämä lämmön alenema tapahtuu aina, kun hiiltyneen puun määrä kasvaa ja haihtuvien yhdisteiden määrä vähenee. Siksi teorioiden e) ja f) toiminta yhdessä, tuottaa enemmän hiiltä, vähemmän haihtuvia yhdisteitä ja alemman lämpöpitoisuuden haihtuville yhdisteille. (Sarvaranta 1996)

5.1 Palonestoaineiden toiminta

Palonestoaineita käytetään pidentämään syttymisaikaa, parantamaan itsestään sammumista, vähentämään palon aikaista kuumuuden tuottoa, ehkäisemään leimahtavaa pisarointia ja alentamaan savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista. Nykyisin käytetään paljon halogeeneihin pohjautuvia palonestoaineita, mutta niiden uskotaan nostavan palon savuntuottoa ja lisäävän myrkyllisiä, korroosia aiheuttavia ja karsinogeenisiä kaasuja palon aikana. Tulevaisuudessa palonestoaineiden tulisi olla kustannustehokkaita, ympäristöystävällisiä sekä tehokkaita jo pieninä määrinä. Eli ne eivät saisi reagoida palon aikana tai vaikuttaa prosessiin tai tuotteiden mekaanisiin ominaisuuksiin. (Suihkonen et al. 2009)

Perinteisten, ei-halogenoitujen palonestoaineiden haittapuolena on, että niitä täytyy käyttää suurempia määriä, jotta saavutetaan samat palonesto-ominaisuudet kuin halogenoiduilla yhdisteillä. Ei-halogenoituja palonestoaineita ovat esimerkiksi fosforiin perustuvat yhdisteet sekä metallien hydroksit. Kun palonestoainetta joudutaan käyttämään suurina määrinä, haittapuolena ovat korkea ominaispaino, jouston puute ja lopputuotteen huonot mekaaniset ominaisuudet, kuten myös ongelmat liiman viskositeetin nousussa. (Suihkonen et al. 2009)

Useimmat puun palonestoaineet kasvattavat kuivumis-reaktiota, joka tapahtuu lämmön alenemisen aikana. Tästä seuraa, että mitä enemmän hiiltä tuotetaan, sitä vähemmän haihtuvia yhdisteitä syntyy. Palonestoaineiden käsittely puulle voidaan luokitella kahteen yleiseen luokkaan:

- Käsittely, joissa palonestoaine impregnoidaan puuhun tai sekoitetaan puukomponentti tuotteisiin.
- Käsittely, jossa palonestoaine levitetään kuten maalit tai pinnan päällystyskalvot. (Sarvaranta 1996)

Hyvältä palonestoaineelta edellytetään, että se ei muodosta haitallisia kaasuja, eikä muodosta hajotessaan myrkyllisiä kemikaaleja. Lisäksi palonestoaine ei saa muuttaa tuotteen mekaanisia ominaisuuksia. (Mannila 2002) Palonestoaine ei siis saa heikentää vanerin lujuus- tai mekaanisia ominaisuuksia. Palotilanteessa vane-

rin syttymisen ja palamisen on hidastuttava ja palossa ei saa muodostua myrkyllisiä yhdisteitä.

5.1.1 Nanotäyteaineet

Nanotäyteaineet voivat hidastaa puutuotteiden syttymistä.

Nanotäyteaineiden jaottelu tehdään muodon perusteella pallomaisiin, kuitumaisiin ja levymäisiin täyteaineisiin. Pallomaisiin täyteaineisiin kuuluvat esimerkiksi titanioksidit, sooligeelisolika ja kalsiumkarbonaatti. Kuitumaisia täyteaineita ovat mm. hiilinanoputket. Levymäisiksi täyteaineiksi luokitellaan erilaiset savimineraalit, kuten kaoliniitti ja monmorilloniitti. (Karvo et al. 2009)

Nanokomposiittien palonaikainen käyttäytyminen perustuu siihen, että tuotteeseen muodostuu hiilikerros, joka hidastaa polymeerin palamista ja haihtuvien aineiden emissiota. Mekaaniset ominaisuudet polymeeri-savikomposiiteilla ovat hyviä. Näitä ominaisuuksia ovat jäykkyys, jännitys, taivutus, kokoonpuristuminen. Lisäksi nanokomposiittien etuina voidaan mainita Barrier-ominaisuudet, eli hapen, hiilidioksidin, höyryjen sekä liuottimien vastustuskyky. (Karvo et al. 2009)

Vuorisen (2007) mukaan nanotäyteaineet voivat parantaa palonkestominaisuuksia, kuten viivästyttää syttymistä ja vähentää palaessa muodostunutta savun määrää. Nanotäyteaineet hidastavat palamista muodostamalla kappaleen pinnalle hiiltyneen kerroksen. Hiiltynyt kerros puumateriaalin pinnalla toimii lämmön eristeenä, estää palavan materiaalin tippumista sekä palotuotteiden vapautumista. Nanotäyteaineet alentavat myös palon lämpötilaa. (Jyrkinen 2007)

5.1.2 Nanosavi

Savimineraalit ovat käytetyimpiä nanomateriaalisia täyteaineita, koska ne ovat edullisia, helposti saatavissa ja hyvin modifioitavia. Savimineraaleista montmorilloniittia käytetään paljon, koska sen partikkelikoko on pieni, silikaattikerrokset ohuita ja pinta-ala on suuri. Lisäksi montmorilloniittia käytetään sen kationinvaihtokapasiteetin takia. Savi on materiaalina hydrofiilinen ja polymeerit ovat usein hydrofobisia ja lähes kaikki kaupalliset nanosavet ovatkin orgaanisesti modifioituja.

(Karvo et al. 2009)

Hapuarachchi et al ovat tutkineet fosforilla modifioitujen silikaattien vaikutusta lämmön ja liekkien viivästyymiseen epoksi liimoissa. Lämmön ja liekkien viivästyymisen ajateltiin johtuvan siitä, että nanosavi muodostaa suojaavan kerroksen. Tämä suojaava kerros hidastaa pyrolyysia. (Hapuarachchi et al. 2011)

Hapuarachin et al mukaan tutkimukset ovat osoittaneet, että hiilinanoputkien ja sepioliittisaven seos voi johtaa synergiaetuihin, kuten kasvavaan lämmönpysyvyyteen, jäännöshiiltymiseen ja alentuneeseen palamisnopeuden maksimipisteeseen. Kaikkein tärkein saavutettava etu (10 wt % sepioliitti:0,5 wt % hiilinanoputki) kolmiarvoisessa systeemissä on se, että palamisnopeuden maksimipiste alenee. Palamisnopeuden maksimipiste on kaikkien kriittisin palon vaara. Tämä synerginen reaktio sisältää stabiilin jäännöshiiltymisen muodostumisen. Tämä hiilen muodostuminen vähentää pienten, helposti haihtuvien polymeerien määrää pyrolyysissa, tai polttoaineessa Hiili myös eristää alla olevan polymeerin, mikä puolestaan johtuu alhaisesta lämmönjohtavuudesta ja säteilee haitallisesti ulkoa päin vaikuttavan energian pois polymeeristä. Lisäksi hiili muodostaa fyysisen esteen ja hidastaa kemiallisia reaktioita. (Hapuarachchi et al. 2011)

Yen et al. (2012) ovat tutkimuksissaan päässeet samankaltaisiin tuloksiin. Heidän tutkimuksessaan todetaan, että nanosaven lisäys EVA/metalli hydroksidisyteemiin lisää lämmönkestävyyttä ja parantaa leimahduksen hidastumista. Komposiitit, joissa nanosaven pitoisuus on 1-6 wt- %, osoittivat parempaa lämmönkestävyyttä kuin ne, joissa ei ollut nanosavea. (Yen et al. 2012)

5.1.3 Aine 1

Aine 1 on stabiili aine, joka normaaleissa käyttökohteissa on liukenematon happoihin, emäksiin ja liuottimiin. Koska Aine 1 ei reagoi muiden aineiden kanssa, on se myrkytöntä. (Tikka 2013) Aine 1 onkin turvallista käyttää erilaisissa seoksissa. On kuitenkin muistettava, että teollisuudessa käytettävä aine1 sisältää myös muita aineita, jotka on syytä huomioida tuotetta käytettäessä.

Devi et al. (2013) ovat tutkineet aine 1:n ja nanosaven synergisiä vaikutuksia mekaanisiin, palonkesto-ominaisuuksiin, UV-stabiilisuuteen ja antibakteerisiin ominaisuuksiin puu-polymeerikomposiiteissa. Tutkimuksessaan he päätyivät johtopäätökseen, että maksimaalinen parannus mekaanisiin ja palonkesto-ominaisuuksiin saavutetaan aine 1:n ja nanosaven seoksessa, kun seossuhde on 0,5:0,5 puu/SAN-polymeeri matriisiin. (SAN = styreeni-akrylinitriili-kopolymeeri) (Devi et al. 2013)

5.1.4 Silikaatit

Silikaattien teho palonestoaineena perustuu niiden hyvään lämpötilankestoon. Pries ja Mai (2012) ovat tutkimuksessaan todenneet, että pii-pohjaisia materiaaleja on jo pitkään käytetty palonestoaineina. Esimerkiksi vesilasiasia on käytetty pitkään halpana, lyhytaikaisena päällysteenä tulta vastaan etenkin sellaisissa rakennuksissa, joissa kyllästys ei ole tullut kysymykseen. Vesilasista tehty pinnoite suojaa puuta tulipalolta sulamalla ja muodostamalla eristävän vahtokerroksen puun pintaan. Myös muita pii-pohjaisia yhdisteitä on käytetty parantamaan puun palonkestävyyttä. (Pries et al. 2012)

Piidioksidin muodostama kolloidinen liuos on yksi epäorgaaninen piidioksidiyhdiste. Piidioksidin kolloidista liuosta on käytetty puun kyllästämiseen. Kyllästäminen on lisännyt puun vastustuskykyä erilaisia sieniä vastaan sekä se on parantanut puun vedenkestävyyttä. (Pries et al. 2012).

Pries ja Mai tutkivat kationisen piidioksidin kolloidisen liuoksen (CSS) vaikutusta puun palonkesto-ominaisuuksien paranemiseen. Tutkimuksessaan he päätyivät tulokseen, että CSS-liuoksella on vain vähäisiä vaikutuksia puun palonkesto-ominaisuuksiin verrattuna käsittelemättömään puuhun. Silti, puun käsittely CSS:n 15 %:lla konsentraatiolla paransi puun muita ominaisuuksia, kuten alensi puun kapillaarista vedenottokykyä sekä paransi sienten vastustuskykyä. Kasvanut palonkestävyys on positiivinen lisä kolloidisen piidioksidin vaikutuksesta. (Pries et al. 2012)

5.1.5 Fosforipohjaiset palonestoaineet

”Fosforipohjaiset palonestoaineet toimivat usealla eri vaikutusmekanismilla. Niiden on todettu vaikuttavan kiinteässä aineessa ja kaasufaasissa sekä kemiallisesti että fysikaalisesti. Liekin passivoiminen, lämmön lasku palonestoaineen sulaessa, barrier-kerroksen muodostuminen materiaalin pintaan fosforia sisältävien happojen vaikutuksesta, happojen katalysoima hiiltymien muodostus, hiiltymisen nopeutuminen ja hiiltymän hapettumisen estäminen ovat fosforipitoisten palonestoaineiden tyypillisiä vaikutusmekanismeja.” (Mannila 2002)

Fosforia sisältävät palonestoaineet toimivat tehokkaasti nestemäisessä olomuodossa palavassa materiaalissa. Kun materiaalia kuumennetaan, fosfori reagoi ja muodostuu fosforihappoa. Tämä happo aiheuttaa materiaalille hiiltymistä, muodostaa lasimaisen kerrokset ja näin ollen estää pyrolyysi-prosessia, joka on tärkeä liekkien syntyminen kannalta. (Cefic 2006)

Tällä tavoin tuotetun polttoaineen määrää saadaan oleellisesti pienennettyä, koska enemmän hiiltä kuin palavia kaasuja syntyy. Laajentunut hiiltyminen näyttelee merkittävää roolia palonestoaineen toiminnassa. Se toimii kuten kaksisuuntainen este, estää leimahtavien kaasujen pääsyn ja sulan polymeerin kohti liekkiä ja suojaa polymeeria liekkien kuumuudelta. Edelleen, palon tarvitsemaa palavaa materiaalia saadaan merkittävästi pienennettyä, koska muodostuva hiili on parempi kuin että muodostuisi palavia kaasuja. (Cefic 2006)

5.2 Palonestoaineiden käyttö liimauksessa

Palonestoaineita pyritään lisäämään liimaseoksiin kohtuullisesti, jotta liimausominaisuudet eivät heikentyisi. Työssä ei suoranaisesti arvioida palonestoaineiden aiheuttamia kemiallisia reaktioita liimaseoksessa. Sekoitettavia liimaseoksia arvioidaan silmämääräisesti ja aistinvaraisesti. Lisäksi tuotteiden viskositeetti määritellään ja pyritään säätämään se sellaiseksi, että puun liimaus onnistuu.

Palonestoaineet vaikuttavat liimaseoksen ominaisuuksiin eri tavoin. Työn alkuvaiheessa selvitetään palonestoaineiden vaikutus liimaseoksen laatuun, kuten sekoituvuuteen, tasalaatuisuuteen sekä viskositeettiin ja sen kehitykseen. Tämän jäl-

keen ominaisuuksiltaan soveltuvat seoksen liimataan. Levyjen liimausvaiheessa arvioidaan seoksen käyttäytymistä ja liimausominaisuuksia, kuten liiman levityksen tasaisuus. Tämän jälkeen liimauksen onnistumista arvioidaan testaamalla kappaleista lujuus. Levyt, joiden lujuusominaisuudet täyttävät standardin EN-314 vaatimukset, lähetetään palotesteihin Metsägroupin Suolahden tehtaalle. Tämän jälkeen arvioidaan mahdollisten lisätestausten tarve.

Palonestoaineiden käyttöturvallisuustiedotteet tarkastetaan ja sellaiset aineet, jotka arvioidaan ominaisuuksiltaan riittävän haitallisiksi tai vaarallisiksi jätetään pois tutkimuksesta. Vaneritehtailla liimoittimilla ja puristimella työskentelevät henkilöt ovat liimoihin kosketuksissa päivittäin, joten liimojen tulee olla sellaisia, että niistä ei aiheudu terveydellistä haittaa tai vaaraa työntekijöille. Vaneritehtaiden liimoitus- ja puristusosastoilla käytetään yleisesti ottaen suojavaarusteina silmänsuojaimia, turvakenkiä, suojavaatetusta sekä liimoitukseen soveltuvia käsineitä. Palonestoaineita käyttöön otettaessa on vielä varmistettava suojavaarusteille asetettavat vaatimukset.

6. TUTKIMUSOSUUS

6.1 Liimaseosten valinta

Työ aloitettiin valitsemalla koivuvanerin liimaukseen soveltuvat hartsit. Lisäksi valittiin 3 impregnointihartsia, joiden avulla parannetaan liiman imeytymistä puuhun. Työhön päätettiin valita kaksi vanerilevyjen liimaukseen soveltuvaa hartsia vanerihartsit 16 ja 17. Testattaviksi Impregnointihartseiksi valikoituivat impregnointihartsit 19, 20 ja 21.

Liimaseoksen valinnalle asetettiin yhdeksi kriteeriksi hyvä imeytyminen puuhun, jotta liimaseoksen mukana kulkeutuisi myös palonestoaineita syvemmälle puuhun. Hyvä liiman imeytyminen parantaa puutuotteen palonkestävyyttä. Lisäksi liimaseoksen tulee olla koivuvanerin liimaukseen soveltuva, jotta saavutetaan riittävät lujuusominaisuudet. Vanerin hyvä liimaus on myös palonkesto-ominaisuuksien kannalta tärkeää. Jos liimasauma on heikko, pääsee tuli etenemään levyn rakenteessa paremmin.

6.2 Liiman imeytymisen testaus

Päätettiin, että hartseihin 16 sekä 17 sekoitetaan impregnointihartseja 19, 20 ja 21. Ja tutkitaan sitten näiden seosten imeytymistä viilusta tehtyihin tikkuihin. Penetraatiota testattiin siten, että sekoitettiin vanerihartsia ja impregnointihartsia eri seossuhteilla. Tämän jälkeen seokseen asetettiin viilusta taitettu puutikku (pituus n. 200 mm ja leveys noin 15 mm). Jokaisella seossuhteella tehtiin 3 seosta, jotta puutikun ominaisuuksien vaihtelu ei vaikuttaisi seoksen imeytymisestä tehtäviin päätelmiin. Seuraavaksi tarkkailtiin visuaalisesti hartsiseoksen imeytymistä puutikua pitkin viiden vuorokauden ajan.

Impregnointihartsia 20 lisättiin hartseihin 16 ja 17. Impregnointihartsi 20 vapaan fenolin määrä on suhteellisen korkea 8- 10 %, joten sen määrä seoksessa ei saa olla merkittävä, jotta lopputuotteen vapaan fenolin määrä pysyy riittävän alhaisena. Seoksia päätettiin tehdä seossuhteella 95 / 5 ja 90 / 10. Seoksia tehtiin kummallakin seossuhteella kolme. Näytteiden imeytymistä puutikkuun tutkittiin visuaalisesti 5 vuorokauden ajan päivittäin. 5 vuorokauden jälkeen tehtiin lopulliset mittaukset seoksen imeytymisestä. Mittaukset tehtiin siten, että puutikusta mitattiin se osuus, joka oli imeytynyt yli seoksen pinnan. Puutikun ominaisuudet, kuten tiheys, oksat ja kosteuspitoisuus vaikuttavat hartsiseoksen penetraatioon ja mittaukset tehtiin visuaalisiin havaintoihin perustuen viivoittimella, joten tuloksissa saattaa olla pieniä poikkeamia. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin tehdä alustavia johtopäätöksiä hartsin imeytymisestä. Alla on kirjatut imeytymistulokset.

SEOS	IMEYTYMINEN mm / 3 tikun tulokset
1. Harts 16 90 % + imp.harts 20 10 %	Ei imeytymistä
2. Harts 17 90 % + imp.harts 20 10 %	5 – 7 – 7
3. Harts 16 95 % + imp.harts 20 5 %	2 – 0 – 2
4. Harts 17 95 % + imp.harts 20 5 %	6 – 6 – 0

Impregnointi- ja vanerihartsin seoksen imeytyminen oli melko vähäistä. Päätettiin kuitenkin, että impregnointihartsista ja vanerihartsista tehdään liimaseos, missä impregnointihartsin osuus on 5 % ja seurataan viskositeetin kehittymistä. Tämän jälkeen päätetään, käytetäänkö impregnointihartsia 20 vanerilevyjen liimaukseen.

Seuraavaksi testattiin impregnointihartsin 19 ja vanerihartsien 16 ja 17 penetraatiota. Impregnointihartsi 19 vapaan fenolin määrä on 2 – 3 %. Impregnointihartsin alhaisemman vapaan fenolin pitoisuuden vuoksi päätettiin, että impregnointihartsia lisätään maksimissaan 40 % vanerihartsin sekaan. Molempien vanerihartsien sekaan päätettiin lisätä impregnointihartsia seossuhteilla 90 / 10, 80 / 20, 70 / 30 ja 60 / 40. Seoksia tehtiin kaikilla seossuhteilla ja molemmista vanerihartseista kolme kappaletta kutakin.

Näytteiden imeytymistä puutikkiin tutkittiin visuaalisesti 5 vuorokauden ajan päivittäin. 5 vuorokauden jälkeen tehtiin lopulliset mittaukset seoksen imeytymisestä. Puutikusta mitattiin se osuus, joka oli imeytynyt yli seoksen pinnan.

SEOS	IMEYTYMINEN mm / 3 tikun tulokset
1. Hartsi 17 60 % + imp.hartsi 19 40 %	12 – 10 – 12
2. Hartsi 16 60 % + imp.hartsi 19 40 %	10 – 6 – 12
3. Hartsi 17 70 % + imp.hartsi 19 30 %	10 – 10 – 10
4. Hartsi 16 70 % + imp.hartsi 19 30 %	11 – 6 – 8
5. Hartsi 17 80 % + imp.hartsi 19 20 %	8 – 8 – 8
6. Hartsi 16 80 % + imp.hartsi 19 20 %	7 – 6 – 6
7. Hartsi 17 90 % + imp.hartsi 19 10 %	4 – 4 – 4
8. Hartsi 16 90 % + imp.hartsi 19 10 %	1 – 7 – 7

Päätettiin, että eri liimaseosten ominaisuuksien tutkimisessa käytetään seossuhteena 20 % ja 30 %. Liian suuri impregnointihartsin osuus liimaseoksessa saattaa heikentää liimasauman ominaisuuksia. Liima imeytyy hyvin liimasaumaan ja muodostuu luja sauma, mutta tikkuprosentti jää helposti liian alhaiseksi. Liimasauman muodostajaksi tarkoitettut kuiva-aineet liukenevat puuaineksen sisään. Lujuusominaisuuksien lisäksi myös tikkuprosentti on tärkeä liimasauman ominaisuuksia kuvaava tekijä. Korkea impregnointihartsipitoisuus nostaa vapaan fenolin määrää valmiissa liimaseoksessa. Lisäksi impregnointihartsin käyttö lisää kustannuksia.

Kolmantena impregnointihartsina tutkittiin impregnointihartsi 21. Impregnointihartsi 21 vapaan fenolin pitoisuus on 3 – 4 %. Päätettiin, että impregnointihartsia 21 lisä-

tään vanerihartsien sekaan seossuhteilla 70 / 30, 80 / 20 sekä 90 / 10. Tämän impregnointihartsin sekoitus vanerihartsien sekaan ei onnistunut, vaan seoksen pintaan nousi molemmissa seoksissa valkoista kuohua, jonka ajateltiin olevan fosforihappoa. Impregnointihartsi 21 hylättiin tutkimusten jatkosta.

6.3 Hartsiseosten ominaisuuksien tarkastelu

Vapaan fenolin määrä hartsiseoksessa on oltava alle 2 %. Seoksen vanerihartsi 16 ja impregnointihartsi 19 vapaan fenolin määrä seossuhteella 60 : 40 oli 1,38 %. Seoksen vanerihartsi 17 ja impregnointihartsi 19 vapaan fenolin määrä seossuhteella 60 : 40 oli myös 1,38 %. Seoksen vanerihartsi 16 ja impregnointihartsi 20 vapaan fenolin määrä seossuhteella 90 : 10 oli 1,17 %. Seoksen vanerihartsi 17 ja impregnointihartsi 20 vapaan fenolin määrä seossuhteella 90 : 10 oli 1,40 %.

Vapaan fenolin määrä tutkittiin laadunvalvontalaboratoriossa kromatografialla. Geelautumisaika määritettiin myös laadunvalvontalaboratoriossa. Geelautumisaika oli seoksella vanerihartsi 17 ja impregnointihartsi 19 25 sekuntia, kun seossuhde oli 80 : 20. Vanerihartsilla 17 geelautumisaika on tavallisesti 27 sekuntia. Seoksen vanerihartsi 16 ja impregnointihartsi 19 geelautumisaika oli 20, kun seossuhde oli 80 : 20. Vanerihartsi 16 geelautumisaika on tavallisesti 21.

Joten impregnointihartsin lisäämisellä vanerihartsin sekaan ei ole merkittävä vaikutusta kovettumisaikaan. Kovettumisajan avulla arvioidaan liimaseoksen käyttäytymistä liimoituksessa ja puristuksessa. Kovettumisajan perusteella voidaan määrittellä tarvittavaa kuumapuristus- sekä esipuristusaikaa. Lisäksi kovettumisajan avulla voidaan arvioida liimauksen avointa aikaa sekä suljettua odotusaikaa.

6.4 Testattavien palonestoaineiden valinta

Työhön valittiin alustavasti testattavia palonestoaineita. Näistä palonestoaineista valikoituivat aineet, joita käytettiin seosten valmistuksessa. Alla luetellaan alustavasti valitut palonestoaineet, joita oli tarkoitus käyttää tutkimuksessa. Jokaisen tuotteen osalta on erikseen mainittu, käytetäänkö sitä jatkotutkimuksissa.

Tuotteista tutkitaan käyttöturvätiedotteet, jotta varmistutaan siitä, että ei käytetä vaarallisia tai toimialalle tyypillisesti haitallisempia liimojen lisäaineita. Kriteereinä tuotteiden valinnassa on, että lisäaineista ei saa aiheuta vaaraa tai haittaa työntekijöille tai ympäristölle. Aineita pitää pystyä käyttämään niiden suojarusteiden kanssa, joita vaneritehtailla yleisesti käytetään.

6.4.1 Aine 1

Aine 1 on epäorgaaninen aine, joka ei reagoi muiden aineiden kanssa. Aine 1 on myrkytön jauhemainen aine, joka on helppo sekoittaa vanerikovetteen sekaan ja sitä kautta liimaseokseen. Aine 1 on turvallista käyttää ja sen ominaisuudet eivät haitallisesti vaikuta vaneriliiman työturvallisuusominaisuuksiin.

Käyttöturvätiedotteen mukaan Aine 1 ei ole leimahtava eikä räjähtävä. Tuote on stabiili, kun sitä käytetään normaaleissa käyttöolosuhteissa. Vaarallisia reaktioita ei tapahdu. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.2 Aineet 2 ja 3

Aineet 2 ja 3 ovat jauhemaisia kerameerisia materiaaleja, joilla on hyvä lämmönkestävyys. Aine 2 koostuu pienemmistä partikkeleista kuin aine 3. Muutoin seokset ovat koostumukseltaan samanlaisia. Aine ei aiheuta merkittäviä muutoksia liimoituksessa tai liiman sekoituksessa tarvittaviin suojarusteisiin, joten sitä voidaan käyttää liimoituksessa.

Aine 2 sekoittuu hyvin liimaseokseen ja seos on tasalaatuista. Joitakin pieniä hippusia on havaittavissa. Aineessa 3 hiutalekoko on isompi kuin aineessa 2. Seoskokeissa todettiin, että aine 3 sekoittuu hyvin kovetteeseen ja liimaseokseen. Liimaseos siivilöitiin ja tässä todettiin, että seoksesta jää liikaa hippuja siivilään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että seos tukkii vaneritehtaalla liimaputkiston suodattimet, joita pitkin liimaseos johdetaan liimoittimille. Päätettiin, että liimaukset tehdään aineella 2, koska se on ominaisuuksiltaan soveltuvampi.

Valmistajan käyttöturvätiedotteen mukaan aineita 2 ja 3 käytettäessä huomioitavat R-lausekkeet

- R21/22 Terveydelle haitallista joutuessaan iholle ja nieltynä
R38 Ärsyttää ihoa
R48/20 Terveydelle haitallista: pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa
 vakavaa haittaa terveydelle hengitettynä
R65 Haitallista: voi aiheuttaa keuhkovaurion nieltäessä

6.4.3 Aine 4

Aine 4 sekoittuu hyvin liimaseokseen ja muodostaa tasaisen liimaseoksen. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.4 Aine 5

Aine 5 sekoittuu huonosti liimaseokseen. Seokseen jää hippusia ja seoksen pintaan muodostuu runsaasti vaahtoa.

Luokitus säädöksen (EC) No 1272/2008 (EU-GHS/CLP) mukaisesti.

Ihoärsytys	Luokka 2
Silmä-ärsytys	Luokka 2
Elinkohtainen myrkyllisyys	Kerta-altistuminen, luokka 3

Tuote ei sovellu käyttöön ominaisuuksiensa vuoksi.

6.4.5 Aine 6

Luokitus säädöksen (EC) No 1272/2008 (EU-GHS/CLP) mukaisesti.

Välitön myrkyllisyys, Suun kautta (Luokka 4)

Tuote ei sovellu käyttöön ominaisuuksiensa vuoksi.

6.4.6 Aine 7

Luokitus säädöksen (EC) No 1272/2008 (EU-GHS/CLP) mukaisesti.

Ihosyövyttävyys (Luokka 1B)

Ihon herkistyminen (Luokka 1)

Elinkohtainen myrkyllisyys – kerta-altistuminen (Luokka 3)

Tuote ei sovellu käytettäväksi ominaisuuksiensa vuoksi.

6.4.7 Aine 8

Luokitus säädöksen (EC) No 1272/2008 (EU-GHS/CLP) mukaisesti.

Vakava silmävaurio Luokka 1

Välitön myrkyllisyys vesieliöille Luokka 1

EU-direktiivien 67/548/ETY tai 1999/45/EY mukainen luokitus

Vakavan silmävaurion vaara. Erittäin myrkyllistä vesieliöille, voi aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesiympäristössä.

Tuote ei sovellu käyttöön ominaisuuksiensa vuoksi.

6.4.8 Aine 9

Ainetta 9 käytetään parantamaan muoveissa fyysisiä ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä. Yleisesti ottaen sitä käytetään palonestoaineena rakenteissa ja esteenä polymeerisovelluksissa. Aine 9:n avulla on saatu parannettua pinnan hiiltymistä ja leimahduksen hidastumista. Aine 9 ei ole vaarallinen aine tai seos asetuksen (EY) N:o 1272/2008 tai EU direktiivin 67/548/ETY tai 1999/45/EY mukaisesti. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.9 Aine 10

Aine 10 lisää tuotteen lämmönkestävyyttä. Aine 10 ei ole vaarallinen aine tai seos asetuksen (EY) N:o 1272/2008 tai EU direktiivin 67/548/ETY tai 1999/45/EY mukaisesti. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.10 Aine 11

Aine 11 lisää tuotteen lämmönkestävyyttä. Aine 11 ei ole vaarallinen aine tai seos asetuksen (EY) N:o 1272/2008 tai EU direktiivin 67/548/ETY tai 1999/45/EY mukaisesti. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.11 Aine 12

Haitallisia vaikutuksia ihmisen terveyteen ei ole, jos noudatetaan annettuja käyttöohjeita. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.12 Aine 13

Aine 13 on halogeenivapaa, reaktiivinen, palonestoaine. Aine 13 on sopiva palonestoaine PU-vaahdolle, PF-liimalle, EP-liimalle ja UP-liimalle. Tuotetta päätettiin kokeilla liimaseokseen.

6.4.13 Aine 14

Tuotteen valmistajan mukaan aine 14 on halogeenivapaa ja hyvin tehokas palonestoaine. Luokitus säädöksen (EC) No 1272/2008 (EU-GHS/CLP) mukaisesti. H319 Ärsyttää voimakkaasti silmiä. **Vaaraohje** H360 FD, voi vaurioittaa sikiötä. Epäillään heikentävän hedelmällisyyttä. Tuote ei sovellu käyttöön ominaisuuksiensa vuoksi.

6.4.14 Aine 15

Tuotteen valmistajan mukaan aine 15 on halogeenivapaa palonestoaine. Tuotteella on hyvät leimahdusta hidastavat ominaisuudet PF- ja EP-liimoissa.

Luokitus säädöksen (EC) No 1272/2008 (EU-GHS/CLP) mukaisesti.

Välitön myrkyllisyys, suun kautta Luokka 4

Välitön myrkyllisyys vesieliöille Luokka 1

Krooninen myrkyllisyys vesieliöille Luokka 1

EU-direktiivien 67/548/ETY tai 1999/45/EY mukainen luokitus

Myrkyllistä vesieliöille, voi aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesiympäristössä. Tuote ei sovellu käytettäväksi liimaseoksissa ominaisuuksiensa vuoksi.

6.5 Liimaseosten viskositeettien ja ominaisuuksien tutkiminen

Seuraavana vaiheena tutkimuksessa oli selvittää eri palonestoaineiden käyttäytyminen liimaseoksessa. Lisäksi määritetään, kuinka paljon kutakin palonestoaainetta voidaan lisätä liimaseokseen, jotteivat liimaseoksen ominaisuudet ja liimauksen onnistuminen heikkene. Liimaseoksen hartsipitoisuuden tulisi olla 65 – 70 %, jotta liimausominaisuudet säilyvät riittävän hyvinä.

Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin liimaseoksen viskositeetin kehittymistä seoksella, joka on normaalisti vaneritehtaalla käytössä. Tähän seokseen ei lisätä vielä impregnointihartsia eikä muitakaan lisäaineita. Tarkoitus on saada kahden tunnin

viskositeetti Ford Cup 6:lla mitattuna 25 – 35 sekunnin välille. Viskositeetit mitataan kaikista liimaseoksista heti sekoituksen jälkeen, 1 tunnin kuluttua sekoituksesta, 2 tunnin kuluttua sekoituksesta, 4 tunnin kuluttua sekoituksesta sekä 24 tunnin kuluttua liimaseoksen sekoituksesta. Seokset tehtiin vanerihartseille 16 ja 17. Seuraavat reseptit valittiin jatkotutkimuksiin. Taulukossa näkyy myös viskositeetin kehitys.

Taulukko 1. Liimaseoksen 1 resepti

Liimaseos 1		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	300 g	28,908	34,522	29,779	27,713	35,777
Kovete	60 g	29,159	34,837	31,399	27,462	35,968
Vesi	72 g					

Taulukko 2. Liimaseoksen 10 resepti

Liimaseos 10		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	270 g	28,287	39,772	31,725	34,274	45,142
Kovete	63 g	30,216	39,965	32,773	34,786	47,274
Vesi	67 g	30,46	39,33			47,211

Kun perusreseptien viskositeetti oli saatu muokattua toivotulle tasolle, seoksiin alettiin lisätä impregnointihartsia. Impregnointihartsi valittiin impregnointihartsi 19 ja seossuhteeksi vanerihartsin kanssa 80 : 20 ja 70 : 30. Tämän tutkimuksen perusreseptit muokattiin olemassa olevien reseptien pohjalta siten, että arvioitiin impregnointihartsin vaikutus ja sen pohjalta tehtiin resepti. Seuraavilla resepteillä ja seossuhteilla liimaseoksen viskositeetit saatiin säädettyä impregnointihartsi 19 ja vanerihartsin kanssa toivotulle tasolle.

Taulukko 3. Liimaseoksen 11, 12, 2 ja 3 reseptit

Liimaseos 11		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240	21,082	26,227	30,282	34,094	39,717
Imp.hart	19					
20%	60 g	20,653	27,465	31,465	35,715	38,9
Kovete	60 g		27,152	31,094	35,658	
Vesi	72 g					
Liimaseos 12		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	210	20,52	25,786	27,713	32,771	34,758
Imp.hart	19					
30%	90 g	20,341	26,333	28,651	33,522	35,218
Kovete	60 g				33,963	
Vesi	72 g					
Liimaseos 2		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	320g	22,344	28,975	32,963	35,474	33,092
Imp.hart 19 20 %	80 g	22,533	30,156	32,963	37,026	34,904
Kovete	80 g		30,081	32,464	36,094	35,447
Vesi	96 g					
Liimaseos 3		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	280g	21,59	28,775	32,211	34,47	35,403
Imp.hart 19 30 %	120g	21,723	30,02	33,14	36,021	35,892
Kovete	80 g		30,841	33,784		
Vesi	96 g					

Liimaseoksissa 2 ja 3 oli havaittavissa vähäistä faasitutumista 24 h jälkeen. Impregnointihartsin 19 osalta päätettiin, että sitä lisätään liimaseoksiin 20 % ja 30 %. Palonestoaineiden ja eri impregnointihartsipitoisuuden omaavaa liimaseoksen ominaisuuksia ja viskositeetin kehittymistä tarkastellaan jatkossa.

Seuraavaksi testattiin impregnointihartsi 20 käyttäytymistä liimaseoksessa. Seuraavat reseptit testattiin

Taulukko 4. Liimaseosten 17 ja 16 reseptit

Liimaseos (4/16.5)	17		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	285	32,34	48,229	52,719	49,967		58,534
Imp.ha 20							
5%	15	34,476	50,155	54,834	52,382		58,718
Kovete	63	35,403			54,407		
Vesi	67						
<hr/>							
Liimaseos 16 (3 / 16.5)			0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	380	23,834	33,904	38,335	39,591		34,651
Imp.ha 20 5 %	20	23,345	33,967	38,641	40,084		33,572
Kovete	80						
Vesi	96						

Liimaseosten viskositeetti kohosi voimakkaasti, joten käytännössä sitä on hankala saada käyttöön soveltuvaksi. Liimaseoksissa 16 (3/16.5) ja 17 (4/16.5) oli havaittavissa vähäistä faasituumista 24 h kuluttua liimaseoksen sekoituksesta. Lisäksi vanerihartsien ja impregnointihartsin seoksen penetraatio oli heikkoa. Impregnointihartsin 20 osalta päätettiin, että siitä ei tehdä enempää liimaseoksia eikä sitä käytetä liimauksissa.

6.6 Palonestoaineiden lisäys ja seoksen ominaisuuksien tutkiminen

Liimaseokset sekoitettiin aineiden lämpötilan ollessa huoneenlämpötilassa. Kaikki kuiva-aineet siivilöitiin seokseen. Liimaseoksia sekoitettiin noin 10 minuuttia, aineiden lisäämisen jälkeen. Seosten viskositeetti on mitattu 25°C lämpötilassa Ford Cup 6:lla. Seoksia säilytettiin termostoidussa altaassa, jonka lämpötila on säädetty 25°C. Kun perusreseptit impregnointihartsin 19 ja vanerihartsien 16 ja 17 osalta oli saatu säädettyä, aloitettiin palonestoaineiden lisääminen seoksiin.

6.6.1 Aine 2

Aine 2 korvasi liimaseoksissa kokonaisuudessaan kovetteen. Eli niihin liimaseoksiin, joihin lisättiin ainetta 2, ei laitettu kovetetta ollenkaan. Lisäksi vettä ei lisätty seoksiin, jotta viskositeetti saatiin säädettyä toivotulle tasolle. Ainetta 2 lisättiin 25 – 33 % liimaseoksesta riippuen. Ensimmäisenä testattiin aineen 2 käyttäytymistä vanerihartsista 16 tehdyn liimaseoksen kanssa, missä impregnointihartsin pitoi-

suus on 20 %. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 5. Liimaseoksen 13 resepti

Liimaseos 13		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240	30,033	30,466	29,907	27,724	
Imp.ha 19 20%	60	30,845	31,034	31,526		
Kovete	0			31,447		
Aine 2	100					

Liimaseos oli tasalaatuinen, mutta seoksessa oli kuitenkin pieniä hippuja seassa. Pienet hiput ovat lähtöisin aineesta 2. Liimaseoksen pohjalle saostui hieman kuiva-ainetta ajan kuluessa (24 h). Seoksen viskositeetti saatiin säädettyä toivotulle tasolle. Seoksen osalta päädyttiin siihen, että siitä voidaan tehdä liimauksia.

Seuraavaksi tutkittiin aineen 2 käyttäytymistä vanerihartsista 16 tehdyn liimaseoksen kanssa, missä impregnointihartsin pitoisuus on 30 %. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 6. Liimaseoksen 14 resepti

Liimaseos 14		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	210	28,022	26,225	26,902	26,408	29,405
Imp.ha 19 30%	90	28,591	26,96	27,535	26,714	30,08
Kovete	0					
Aine2	100					
Vesi	0					

Liimaseos oli tasalaatuinen, mutta seoksessa oli kuitenkin pieniä hippuja seassa. Pienet hiput ovat lähtöisin aineesta 2. Liimaseoksen pohjalle saostui hieman kuiva-ainetta ajan kuluessa (24 h). Seoksen viskositeetti saatiin säädettyä toivotulle tasolle. Seuraavaksi tutkittiin aineen 2 käyttäytymistä vanerihartsista 17 tehdyn liimaseoksen kanssa, missä impregnointihartsin pitoisuus on 20 %. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 7. Liimaseoksen 4 resepti

Liimaseos 4		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsia 17	240	38,332	39,152	39,71	39,905	41,289
Imp.ha 19 20 %	60	38,906	39,84	38,335	41,655	42,088
Kovete	0				41,961	
Aine 2	150					
Vesi	0					

Liimaseos oli tasalaatuinen, mutta seoksessa oli kuitenkin pieniä hippuja seassa. Pienet hiput ovat lähtöisin aineesta 2. Liimaseoksen pohjalle saostui hieman kuiva-ainetta ajan kuluessa (24 h). Seoksen viskositeetti on aavistuksen korkea liimoitukseen. Liimoitusta varten tehtävään liimaseoksen viskositeettiä tarkastellaan ja tarvittaessa lisätään ainetta 2 hieman vähemmän tai säädetään viskositeettia vettä lisäämällä. Seoksen osalta päädyttiin siihen, että siitä voidaan tehdä liimauksia. Seuraavaksi tutkittiin aineen 2 käyttäytymistä vanerihartsista 17 tehdyn liimaseoksen kanssa, missä impregnoitihartsin pitoisuus on 30 %. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 8. Liimaseoksen 5 resepti

Liimaseos 5		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsia 17	210	27,275	28,463	29,975	28,559	30,467
Imp.ha 19 30 %	90	28,022	28,903	31,031	28,598	31,08
Kovete	0					
Aine 2	125					
Vesi	0					

Liimaseos oli tasalaatuinen, mutta seoksessa oli kuitenkin pieniä hippuja seassa. Pienet hiput ovat lähtöisin aineesta 2. Liimaseoksen pohjalle saostui hieman kuiva-ainetta ajan kuluessa (24 h). Seoksen viskositeetti saatiin säädettyä toivotulle tasolle.

Tässä vaiheessa päätettiin, että liimaseokset tehdään ainoastaan 20 % impregnoitihartsia sisältävistä liimaseoksista. Liimaseoksen käyttäytyminen oli melko samanlaista impregnoitihartsin määrästä riippumatta. Lisäksi penetraatiotesteissä

ei ollut nähtävissä kovin suurta eroa 20 % tai 30 % sisältävien hartsiseosten penetraatiossa. Työn selkeyden vuoksi ja johdonmukaisuuden vuoksi parempi, että liimaseoksia tehdään vain yhdellä impregnointihartsipitoisuudella. Lisäksi kokeiltavia palonestoaineita on useita, joten liimaseosten määrä tuplaantuu, jos käytetään useita eri pitoisuuksia impregnointihartsille.

6.6.2 Aine 1

Seuraavaksi päätettiin testata aineen 1 käyttäytymistä liimaseoksessa. Ainetta 1 päätettiin lisätä 2 % molempiin liimaseoksiin. Ensimmäisenä testattiin aineen 1 käyttäytymistä vanerihartsista 17 tehdyn liimaseoksen kanssa. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 9. Liimaseoksen 6 resepti

Liimaseos 6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	320 g	22,903	27,22	33,274	34,832	36,842
Imp.ha 19 20 %	80 g	22,656	27,902	32,9	35,475	37,849
Kovete	68,6 g					
Aine 1	11,4 g					
Vesi	80					

Liimaseos oli tasalaatuinen, sekoittui hyvin ja lisäksi viskositeetin kehitys oli tasainen. Liimaseos pysyi seuranta-ajan melko hyvin tasalaatuisena. 24 tunnin jälkeen liimaseoksessa oli 2 faasia ja ainetta 1 saostui seoksen pohjalle. Liimaseos on liimaukseen soveltuva. Seuraavaksi testattiin aineen 1 käyttäytymistä vanerihartsista 16 tehdyn liimaseoksen kanssa. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 10. Liimaseoksen 15 resepti

Liimaseos 15		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240 g	22,782	25,841	31,081	34,711	39,594
Imp.ha 19 20 %	60 g	23,092	26,847	31,952	35,659	41,344
Kovete	51,6 g					
Aine 1	8,4 g					
Vesi	60 g					

Liimaseos oli tasalaatuinen, sekoittui hyvin ja lisäksi viskositeetin kehitys oli tasainen. Liimaseos pysyi seuranta-ajan melko hyvin tasalaatuisena. 24 tunnin jälkeen liimaseoksessa oli 2 faasia ja titaanidioksidia saostui seoksen pohjalle. Liimaseos on liimaukseen soveltuva.

6.6.3 Aine 5

Seuraavaksi tutkittiin aineen 5 käyttäytymistä vanerihartsista 17 tehdyn liimaseoksen kanssa. Ainetta 5 päätettiin lisätä liimaseokseen 3 %. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 11. Liimaseoksen 3 resepti

Liimaseos 3 / 23.5		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	320 g	31,085	46,845	41,9	49,46	89,832
Imp.ha 19 20 %	80 g	31,729	48,074	44,304	49,335	91,655
Kovete	63,2 g					
Aine 5	16,8 g					
Vesi	100 g					

Aine 5 sekoittui huonosti liimaseokseen. Seokseen muodostui paljon hippusia. Lisäksi seoksessa oli paljon ilmaa. Viskositeetin mittausta oli hankalaa ja seos tuli tiputtamalla ulos FORD-cupista. Vettä jouduttiin lisäämään alkuperäiseen reseptiin 20 g. Tämän seoksen osalta päädyttiin siihen, että siitä ei tehdä liimauksia huonon sekoittuvuuden vuoksi. Seuraavaksi tutkittiin aineen 5 käyttäytymistä vanerihartsista 16 tehdyn liimaseoksen kanssa. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 12. Liimaseoksen 4 resepti

Liimaseos 4/ 23.5		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240 g	41,595	54,271	57,593	65,035	99,031
Imp.ha 19 20 %	60 g	43,153	56,83	59,405	66,345	
Kovete	47,4 g					
Aine 5	12,6 g					
Vesi	60 g					

Aine 5 sekoittui huonosti liimaseokseen. Seokseen muodostui paljon hippusia. Viskositeetin mittausta oli hankalaa ja seos tuli tiputtamalla ulos FORD-cupista. Tämän seoksen osalta päädyttiin siihen, että siitä ei tehdä liimauksia huonon sekoituvuuden vuoksi.

6.6.4 Aine 4

Seuraavaksi tutkittiin aineen 4 käyttäytymistä vanerihartsista 17 tehdyn liimaseoksen kanssa. Ainetta 4 päätettiin lisätä liimaseokseen 5 %. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus ja viskositeetin kehitys.

Taulukko 13. Liimaseoksen 7 resepti

Liimaseos 7		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	320	29,406	37,583	36,965	35,15	44,467
Imp.ha 19 20 %	80	29,362	35,963	37,653	36,891	43,712
Kovete	52,5				36,897	
Aine 4	27,5					
Vesi	70					

Aine 4 sekoittui hyvin liimaseokseen. Liimaseoksen pintaan muodostui kuohua, mutta muutoin seos oli tasalaatuinen. 2 tunnin jälkeen seoksen pinnalla olin noin 1 cm kerros kuohua. 24 tunnin jälkeen seoksen pinnalla oli 2 faasia, jotka kuitenkin sekoittuivat hyvin seokseen. Tämä liimaseos on liimaukseen soveltuva. Seuraavaksi tutkittiin aineen 4 käyttäytymistä vanerihartsista 16 tehdyn liimaseoksen kanssa. Alla olevasta taulukosta näkyy liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 14. Liimaseoksen 16 resepti

Liimaseos 16		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240g	22,349	28,218	30,023	29,407	28,84
Imp.ha 19 20 %	60g	22,405	29,28	31,082	30,398	29,973
Kovete	39g					
Aine 4	21g					
Vesi	60g					

Aine 4 sekoittui hyvin liimaseokseen. Liimaseoksen pintaan muodostui kuohua, mutta muutoin seos oli tasalaatuinen. 2 tunnin jälkeen seoksen pinnalla olin noin 1

cm kerros kuohua. 24 tunnin jälkeen liimaseoksen pohjalla oli vähän saostumaa. Tämä liimaseos on liimaukseen soveltuva.

6.6.5 Aine 9

Ainetta 9 päätettiin lisätä liimaseoksiin 3 %. Seuraavaksi työssä testattiin aineen 9 käyttäytymistä hartsista 17 sekoitetussa liimaseoksessa. Alla olevassa taulukossa on esitelty liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehittyminen.

Taulukko 15. Liimaseoksen 8 resepti

Liimaseos 8		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	320 g	36,214	42,461	35,272	47,495	29,652
Imp.ha 19 20 %	80 g	36,53	45,4	34,095	49,903	30,777
Kovete	63,2 g					
Aine 9	16,8 g					
Vesi	80 g					

Aine 9 sekoittui hyvin liimaseokseen. Liimaseokseen muodostui paljon vaahtoa, jonka vuoksi viskositeettia oli hankala mitata. 2 tunnin jälkeen liimaseoksen pinnalla oli noin 15 mm paksuinen vaahtokerros. 24 tunnin jälkeen seoksessa ei ollut enää vaahtoa. Ainetta 9 sisältävä liimaseos on liimaukseen soveltuva. Tämän jälkeen tutkittiin aineen 9 ja vanerihartsista 16 tehdyn liimaseoksen ominaisuuksia ja viskositeetin kehittymistä.

Taulukko 16. Liimaseoksen 17 resepti

Liimaseos 17		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240	27,534	33,967	36,782	38,962	28,153
Imp.h 19 20%	60	27,647	34,275	37,275	40,08	28,905
Kovete	47,4					
Aine 9	12,6					
Vesi	60					

Aine 9 sekoittui hyvin liimaseokseen ja seos oli tasalaatuinen. Sekoitusvaiheessa seokseen ei muodostunut vaahtoa. 2 tunnin jälkeen seoksen pinnalla oli vähän vaahtoa. Liimaseos oli liimaukseen soveltuva.

6.6.6 Aine 12

Ainetta 12 päätettiin lisätä liimaseokseen noin 10 %. Seuraavaksi työssä testattiin aineen 12 soveltuvuutta liimaseoksiin. Ensimmäisenä sekoitettiin seos vanerihartsin 17 kanssa. Alla olevan taulukon mukaisilla seossuhteilla saatiin viskositeetti kehittymään tasaisesti.

Taulukko 17. Liimaseoksen 9 resepti

Liimaseos 9		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsin 17	320 g	32,959	30,215	32,656	34,651	41,774
Imp.ha 19 20 %	80 g	33,65	31,081	33,277	34,343	42,285
Kovete	55 g					
Aine 12	55 g					
Vesi	45 g					

Aine 12 sekoittui hyvin liimaseokseen. Seos oli tasalaatuinen, ainoastaan vähän vaahtoa oli havaittavissa heti sekoituksen jälkeen. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia. Ainetta 12 sisältävä liimaseos on liimaukseen soveltuva. Tämän jälkeen sekoitettiin ainetta 12 vanerihartsista 16 tehtyyn liimaseokseen. Alla olevassa taulukossa on esitelty liimaseoksen koostumus sekä viskositeetin kehittyminen.

Taulukko 18. Liimaseoksen 18 resepti

Liimaseos 18		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsin 16	240g	22,96	23,093	24,472	26,963	32,965
Imp.h 19 20%	60 g	23,091	23,403	24,963	27,093	33,968
Kovete	40 g					
Aine 12	43 g					
Vesi	44 g					

Aine 12 sekoittui hyvin liimaseokseen. Seos oli tasalaatuinen. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia ja sakkaa pohjalla. Ainetta sisältävä liimaseos on liimaukseen soveltuva.

6.6.7 Aine 13

Ainetta 13 päätettiin lisätä liimaseoksiin noin 10 % ja noin 17 %. Ensimmäiseen seokseen, mikä sekoitettiin vanerihartsiin 17, lisättiin ainetta 13 9,7 %. Alla olevassa taulukossa on esitelty liimaseoksen koostumus ja viskositeetin kehitys.

Taulukko 19. Liimaseoksen 1 / 10.6 resepti

Liimaseos 1 / 10.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Harts 17	320 g	26,842	30,153	31,961	34,65	46,582
Imp.h 19 20%	80 g	27,595	30,524	32,344	35,967	48,215
Kovete	80 g					
Aine 13	58 g					
Vesi	58 g					

Aine 13 sekoittui hyvin liimaseokseen ja seoksesta tuli tasalaatuista. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia ja astian pohjalle kertyi sakkaa. Seoksen haju oli hyvin pistävä ja epämiellyttävä. Seuraavaksi vanerihartsista 17 tehtyyn liimaseokseen lisättiin ainetta 13 17 %. Alla olevassa taulukossa on esitelty seoksen koostumus sekä viskositeetin kehittyminen.

Taulukko 20. Liimaseoksen 3 / 10.6 resepti

Liimaseos 3 / 10.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Harts 17	320g	25,891	24,719	24,709	25,963	35,476
Imp.ha 19 20 %	80 g	25,71	25,274	25,468	26,907	36,272
Kovete	70 g					
Aine 13	96 g					
Vesi	0					

Aine 13 sekoittui hyvin liimaseokseen ja seoksesta tuli tasalaatuista. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia ja astian pohjalle kertyi sakkaa. Seoksen haju oli hyvin pistävä ja epämiellyttävä. Tämän jälkeen vastaavat seokset tehtiin vanerihartsista 16 tehtyihin seoksiin. Ensimmäiseen seokseen lisättiin 9,7 % ainetta 13. Alla olevasta taulukosta näkyy seoksen koostumus sekä viskositeetin kehittyminen.

Taulukko 21. Liimaseoksen 2 / 10.6 resepti

Liimaseos 2 / 10.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240g	27,229	28,773	27,711	31,082	44,03
Imp.ha 19 20 %	60 g	27,965	29,775	28,212	31,596	46,023
Kovete	60 g					
Aine 13	43,5g					
Vesi	43,5g					

Aine 13 sekoittui hyvin liimaseokseen ja seoksesta tuli tasalaatuista. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia ja astian pohjalle kertyi sakkaa. Seoksen haju oli hyvin pistävä ja epämiellyttävä.

Seuraavaan vanerihartsiin 16 perustuvaan liimaseokseen lisättiin ainetta 13 16,7 %. Alla olevasta taulukosta näkyy seoksen koostumus sekä viskositeetin kehittyminen

Taulukko 22. Liimaseoksen 4 / 10.6 resepti

Liimaseos 4 / 10.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240g	32,528	30,652	30,771	33,654	49,274
Imp.ha 19 20 %	60 g	33,058	31,161	32,274	34,59	51,843
Kovete	60 g					
Aine 13	72 g					
Vesi	0 g					

Aine 13 sekoittui hyvin liimaseokseen. Seoksesta tuli kohtalaisen tasalaatuinen, pinnalle muodostui sekoituksen jälkeen vaahtoa. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia ja astian pohjalle kertyi sakkaa. Seoksen haju oli hyvin pistävä ja epämiellyttävä. Aine 13 aiheuttaman epämiellyttävän, pistävän ja voimakkaan hajun vuoksi päädyttiin siihen, että ainetta 13 ei käytetä liimoituksessa. Voimakas haju estää tuotteen käytön teollisessa valmistuksessa.

6.6.8 Aine 11

Seuraavaksi testattava palonestoaine oli aine 11. Ainetta 11 päätettiin lisätä liimaseokseen noin 10 %. Ensimmäiseksi sekoitettiin vanerihartsiin 17 perustuva seos. Alla olevasta taulukosta selviää seoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 23. Liimaseoksen 1 / 12.6 resepti

Liimaseos 1 / 12.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Harts 17	320 g	33,207	40,728	47,37	50,029	57,155
Imp.h 19 20%	80 g	33,272	42,032	49,644	53,282	59,593
Kovete	70 g					
Aine 11	57 g					
Vesi	49 g					

Seoksen sekoittaminen oli hankalaa. Seoksesta ei tullut tasalaatuista, vaan siihen jäi paakkuja pitkästä sekoitusajasta huolimatta. Sekoituksen lopuksi seos siivilöitiin ja isoimmat paakut poistettiin. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen vettä jouduttiin lisäämään seokseen 10 g ja kovetetta puolestaan vähennettiin 10 g. Seokseen muodostui 2 faasia ja pohjalle saostui kuiva-ainetta. Seuraavaksi ainetta 11 lisättiin liimaseokseen, joka pohjautuu vanerihartsiin 16. Alla olevasta taulukosta selviää seoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 24. Liimaseoksen 2 / 12.6 resepti

Liimaseos 2 / 12.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Harts 16	240 g	26,407	33,967	40,966	46,58	50,285
Imp.h 19 20						
%	60 g	26,332	34,27	41,148	47,466	50,595
Kovete	60 g					
Aine 11	44 g					
Vesi	56 g					

Seoksen sekoittamiseen tasalaatuiseksi meni kauemmin aikaa kuin muilla seoksilla. Seoksesta kuitenkin tuli tasalaatuinen. 24 tunnin jälkeen seoksessa oli 2 faasia. Lisäksi vettä jouduttiin lisäämään 20 g enemmän kuin alkuperäisessä suunnitelmassa. Viskositeetti kehittyi melko nopeasti. Aineen 11 osalta päädyttiin siihen, että sitä ei käytetä vanerilevyjen valmistukseen.

6.6.9 Aine 10

Viimeisenä testattavana palonestoaineena oli aine 10. Palonestoainetta päätettiin lisätä seoksiin noin 10 %. Ensimmäiseksi sekoitettiin vanerihartsiin 17 perustuva

seos. Alla olevasta taulukosta selviää seoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 25. Liimaseoksen 19 resepti

Liimaseos 19		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 17	320 g	18,775	21,219	22,522	24,961	
Imp.ha 19 20 %	80 g	19,211	21,009	22,409	24,785	
Kovete	60 g					
Aine 10	57 g					
Vesi	64 g					

Liimaseos sekoittui hyvin ja seoksesta tuli tasalaatuinen. Viskositeetti jäi hieman alhaiseksi. Päätettiin kuitenkin, että seosta voidaan käyttää liimauksessa. Viskositeettia säädetään tarpeen mukaan vähentämällä vettä. Seuraavaksi sekoitettiin vanerihartsiin 16 perustuva seos. Alla olevasta taulukosta selviää seoksen koostumus sekä viskositeetin kehitys.

Taulukko 26. Liimaseoksen 3 / 12.6 resepti

Liimaseos 3 / 12.6		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsi 16	240g	25,892	33,836	37,902	41,345	45,902
Imp.ha 19 20 %	60 g	26,27	35,524	38,969	42,522	47,333
Kovete	50 g					
Aine 10	44 g					
Vesi	46 g					

Sekoitusvaiheessa seokseen muodostui vaahtoa. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen seokseen lisättiin 10 g vettä ja kovetetta puolestaan vähennettiin 10 g. 24 tunnin jälkeen seokseen oli muodostunut 2 faasia. Seokseen muodostuneen vaahton vuoksi päädyttiin siihen, että seosta ei tässä vaiheessa käytetä liimaukseen.

6.7 Liimattavien seosten valinta

Työn seuraavana vaiheena oli valita sekoitetuista liimaseoksista ne, jotka näyttäsivät ominaisuuksiensa puolesta soveltuvat liimaukseen. Ainetta 1 päätettiin käyttää liimauksissa, koska se sekoittui hyvin molempien vanerihartsiseosten kanssa.

Lisäksi seos oli tasalaatuinen ja viskositeetti kehittyi tasaisesti. Valkeaa jauhetta saostui 24 tunnin kuluessa säilytysastian pohjalle.

Ainetta 2 päätettiin käyttää vanerilevyjen liimaukseen. Aine 2 sekoittui hyvin molempien vanerihartsista tehtyjen liimaseosten kanssa. Liimaseoksissa oli pieniä valkoisia hippuja, mutta näiden ei arveltu vaikuttavan heikentävästi liimaseoksen liimautumiseen ja liimasauman lujuteen. Aineesta 2 tehdyn liimaseoksen viskositeetti pysyi melko vakaana koko seurantajakson ajan. Todennäköisesti siitä syystä, että siinä ei ole tärkkelystä, mikä ajan kuluessa nostaa viskositeettia.

Aine 4 valittiin myös vanerilevyjen valmistukseen käytettäväksi palonestoaineeksi. Aine 4 sekoittui hyvin molempiin liimaseoksiin. Sekoituksen jälkeen seosten pintaan nousi kuohua, mikä vaikeutti viskositeetin mittausta. Viskositeetti kuitenkin kehittyi tasaisesti ja pysyi annetuissa rajoissa.

Aineen 9 osalta päädyttiin siihen, että siitä tehdään liimaseos vanerihartsiin 17 perustuvan liimaseoksen kanssa. Jouduimme tekemään valinnan eri liimaseosten väliltä, koska aine 9 ei riittänyt kahteen liimaseokseen. Oletusarvona oli, että aine 9 antaa paremmat liimaustulokset vanerihartsin 17 kanssa. Aine 9 sekoittui hyvin liimaseokseen, vaikkakin seoksen pintaan nousi kuohua sekoituksen jälkeen. Viskositeettia oli hankala mitata vaahdon takia, mutta viskositeetti pysyi kuitenkin kohtalaisen hyvin annetuissa rajoissa.

Aineen 10 osalta päädyttiin siihen, että tässä vaiheessa liimataan vanerihartsiin 17 perustuva seos. Aine 10 sekoittui hyvin liimaseokseen ja viskositeetti kehittyi tasaisesti.

Aine 12 valittiin vanerilevyjen liimaukseen käytettäväksi palonestoaineeksi. Aine 12 sekoittui hyvin liimaseoksiin. Viskositeetti kehittyi tasaisesti ja liimaseokset olivat tasalaatuisia. 24 tunnin jälkeen liimaseoksessa oli kaksi faasia ja sakkaa saostunut säilytysastian pohjalle.

7 LIIMAUS

Liimaus on yksi vanerivalmistuksen keskeisimpiä toimintoja. Tutkimuksen kannalta oli oleellista selvittää tarvittavat puristusajat eli esi- ja kuumapuristusajat sekä optimaalisimman liimanlevityksen määrä. Ensimmäisessä vaiheessa liimoitettiin liimaseokset 2 ja 11, joihin ei vielä tutkimuksen tässä vaiheessa lisätty palonestoaineita. Päätettiin, että 12 mm levyjä tehdään kuusi kappaletta ja 30 mm vanerilevyjä 3 kappaletta kummastakin seoksesta. Levyjen puristusolosuhteita muutetaan tarkoituksena löytää optimaaliset puristusolosuhteet.

7.1 Esipuristus

Esipuristustartuntaa tarkasteltiin heti esipuristuksen jälkeen sekä juuri ennen kuumapuristusta. Esipuristustartunnan arviointi on Dynea Finland Oy:n kehittämä. Esipuristustartunta arvioidaan asteikolla 1 – 5.

Arvosana	Selite
5	Aihio täysin kiinni, kova
4	Kosteuden ja / tai kuivumisen aiheuttamia pieniä Kupruja. Aihio kova (arvosanojen jälkeen merkitään kauttaviivalla kuprujen lkm)
3	Pintaviilu osin irti, aihio muuten kova (arvosanan jälkeen merkitään kauttaviivalla irtonaisen osuus prosentteina koko pinta-alasta)
2	Pintaviilu osin irti ja / tai sisäviiluja irti. Aihio ei ole kova
1	Aihiossa irtoviiluja

Liimasauman leikkauslujuuden tulisi olla yli 2 N/mm² ja tikkuprosentin kuivana tarkastetuista koekappaleista 80 %, jotta voidaan sanoa, että liimaus on hyvin onnistunut.

7.2 Puristusajan optimointi

Taulukko 27. Liimaseoksen 11 liimaus- ja puristusolosuhteet

Liimaseos 11		
Hartsin 16	3360 g	
Imp.har 19 20%	840 g	
Kovete	840 g	
Vesi	1008 g	
Liimaolosuhteet olivat seuraavat:		
Puulaji	Koivu	
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus:	3 – 5 %	
Viilun lämpötila	20 – 25°C	
Liiman levitysmäärä	160 g/m ²	
Levyn paksuus:	1.1.A, 1.1.B, 1, 2, 3, 4	12 mm
	5, 6, 7, 8	30mm
Ladonta-aika 10 min		
Avoin aika	5 min	
Esipuristusaika:	Levyt 1.1.A, 1.1.B, 1, 2, 5, 6	8 min
	Levyt 3, 4, 7, 8	12 min
Rata-aika	20 min	
Kuumapuristus LT	128°C	
Kuumapuristus paine	1,8 Mpa	
Kuumapuristusaika	Levyt 1.1.A, 1.1.B, 1 ja 3, 9 min	
	Levyt 2 ja 4	12 min
	Levyt 5, 7	18 min
	Levyt 6, 8	23 min

Esipuristustartunta on esitelty liitteessä 17. Liimaseoksen esipuristustartunta oli hyvä, ainoastaan kahdessa levyssä oli ennen puristusta pieni kupru. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin. Liimanlevitys oli helposti säädettävissä.

Taulukko 28. Liimaseoksen 2 liimaus- ja puristusolosuhteet

Liimaseos 2		
Hartsi 17	6720 g	
Imp.ha 19 20 %	1680 g	
Kovete	1680 g	
Vesi	2016 g	
Liimausolosuhteet olivat seuraavat:		
Puulaji	Koivu	
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus:	3 – 5 %	
Viilun lämpötila	20 – 25°C	
Liiman levitysmäärä	160 g/m ²	
Ladonta-aika 10 min		
Avoin aika	5 min	
Esipuristusaika:	Levyt 9A, 9B, 9C, 10, 13, 14	8 min
	Levyt 11. ja 12, 15, 16	12 min
Rata-aika	20 min	
Kuumapuristus LT	128°C	
Kuumapuristus paine	1,8 Mpa	
Kuumapuristusaika	Levyt 1.1.A, 1.1.B, 1 ja 3.	9 min
	Levyt 2. ja 4.	12 min
	Levyt 13, 15	18 min
	Levyt 14, 16	23 min

Esipuristustartunta liimaseokselle 2 on esitelty liitteessä 17. Liimaseoksen esipuristustartunta oli kohtalaisen hyvä, yhdessä levyssä oli kupru heti esipuristuksen jälkeen. Kahdessa levyssä oli kupru suljetun odotusajan jälkeen ja yhdessä levystä pintaviilu oli osin irti. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin. Liimanlevitys oli kohtalaisen helposti säädettävissä.

Seuraavaksi kappaleiden lujuus testattiin. Koekappaleista testattiin pinta- ja keskisauma. Lisäksi koekappaleiden tikkuprosentti arvioitiin sekä märkänä että kuivauksen jälkeen. Liitteen 20 taulukossa 3 on esitelty vanerilevyjen 1 – 4 sekä 8 – 12 lujuuden testaustulokset, hajonta sekä tikkuprosentti. Tulosten perusteella on valit-

tu puristusolosuhteet jatkossa liimattaville vanerilevyille. Levyistä testattiin ainoastaan 12 mm paksut vanerilevyt. 30 mm levyjä ei testattu lainkaan, koska niiden käsittely osoittautui hankalaksi. Lisäksi todettiin, että 12 mm paksujen levyjen testaustulokset ovat riittävän kattavia kuvaamaan puristusolosuhteiden vaikutusta.

Kokonaisuutta arvioimalla päädyttiin siihen, että tutkimuksessa valmistettavat levyt liimataan käyttäen esipuristusaikana 8 min ja kuumapuristusaikana 9 min. Vanerihartsiin 17 perustuvan seoksen lujuusominaisuuksia painotettiin tutkimuksen tässä vaiheessa hieman enemmän, koska sitä on perinteisesti käytetty koivuvanerin liimauksessa. Testattujen levyjen lujuuksien keskiarvo ja tikkuprosentti olivat aavistuksen paremmat valituilla puristusajoilla kuin muilla puristusolosuhteilla. Lisäksi lyhempi puristusaika on kustannustehokkaampi ja mahdollistaa suuremman kapasiteetin. Vuositasolla pitempi puristusaika on merkittävästi kalliimpi ja lisäksi tehdään kapasiteetti pienenee.

7.3 Liiman levitysmäärän optimointi

Työn seuraavana vaiheena oli liiman levitysmäärän optimointi. Liiman levitysmääränä päätettiin käyttää $160 \text{ g} / \text{m}^2$, mikä on liimanvalmistajan ohjeiden mukainen. Tutkimuksen alkuvaiheessa todettiin, että mikäli palonkestävyyttä saadaan tuotteelle liimamäärää lisäämällä, on se täysin hyväksyttävää. Kuitenkaan levyjen lujuusominaisuudet eivät saa heikentyä. Päätettiin tutkia liiman levitysmäärien $175 \text{ g} / \text{m}^2$ ja $190 \text{ g} / \text{m}^2$ vaikutukset levyjen esipuristustartuntaan sekä lujuusominaisuuksiin. Lisäksi tarkkaillaan liimoituksen teknistä onnistumista. Liimoitukset tehtiin sekä vanerihartseihin 16 ja 17 pohjautuviin seoksiin.

7.3.1 Liiman levitysmäärän tarkastelu vanerihartsia 16

Taulukko 29. Liiman levitysmäärän optimointi hartsia 16

Liimoitettavan seoksen resepti		
Hartsia 16	240g	
Imp.ha 19 20 %	60g	
Kovete	60g	
Vesi	72g	
Liimattavan seoksen viskositeetti 29,34 sekuntia / 2 h.		
Puulaji	Koivu	
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus:	3 – 5 %	
Viilun lämpötila	20 – 25°C	
Liiman levitysmäärä	175 g/m ²	Levyt 17 – 19
	190 g/m ²	Levyt 20 - 22
Ladonta-aika 10 min		
Avoin aika	5 min	
Esipuristusaika:	8 min	
Rata-aika	20 min	
Kuumapuristus LT	128°C	
Kuumapuristus paine	1,8 Mpa	
Kuumapuristusaika	9 min	

Levyjen esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 4. Levyjen liimaus onnistui teknisesti hyvin, esipuristustartunta levyillä oli heikompi kuin niillä levyillä joiden liiman levitysmäärä oli 160 g/m². Rata-ajan kasvaessa esipuristustartunta huonontui. Levyjen lujuudentestaustulokset on esitelty liitteen 20 taulukossa 5.

Liiman levitysmäärän ollessa 160 g/m² liimasauman leikkauslujuuden keskiarvo oli 2,11 N/mm² ja tikkuprosentti kuivatuista näytteistä oli 57,78 %. Liiman levitysmäärän ollessa 175 g/m² liimasauman leikkauslujuuden keskiarvo oli 2,16 N/mm² ja tikkuprosentti kuivatuista näytteistä oli 33,20%. Liimanlevitysmäärällä 190 g/m² liimasauman leikkauslujuuden keskiarvo oli 2,25 N/mm² ja tikkuprosentti 51,33 %.

Liiman levitysmäärän nostamisella ei ollut kovin suurta merkitystä lujuusominaisuuksiin. Liimasauman leikkauslujuudet olivat hieman paremmat suuremmalla levitysmäärällä, mutta tikkuprosentti oli puolestaan parempi liiman levitysmäärän ollessa 160 g /m².

7.3.2 Liiman levitysmäärän tarkastelu vanerihartsin 17

Seuraavaksi liimoitettiin vanerihartsin 17 perustuva liimaseos

Levyt liimoitettiin seuraavin parametrein:

Taulukko 30. Liiman levitysmäärän optimointi hartsi 17

Liimaseoksen resepti		
Hartsi 17	320g	
Imp.ha 19 20 %	80g	
Kovete	80g	
Vesi	96g	
Liimoitettavan seoksen viskositeetti 34,81 sekuntia / 2h.		
Puulaji	Koivu	
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus:	3 – 5 %	
Viilun lämpötila	20 – 25°C	
Liiman levitysmäärä	175 g/m ²	Levyt 23 – 25
	190 g/m ²	Levyt 26 - 28
Ladonta-aika 10 min		
Avoin aika	5 min	
Esipuristusaika:	8 min	
Rata-aika	20 min	
Kuumapuristus LT	128°C	
Kuumapuristus paine	1,8 Mpa	
Kuumapuristusaika	9 min	

Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 6. Esipuristustartunta oli myös liimaseoksen 17 osalta huonompi, kun liimamäärää nostettiin. Liimaseoksen liimoitus onnistui kuitenkin hyvin, eikä liimanlevityksessä ilmennyt ongelmia. Levyjen

leikkauslujuuden testaustulokset levyjen 23 -28 osalta on esitelty liitteen 20 taulukossa 7.

Liiman levitysmäärän ollessa 160 g/m^2 liimasauman leikkauslujuuden keskiarvo oli $2,47 \text{ N/mm}^2$ ja tikkuprosentti kuivatuista näytteistä oli 70 %. Liiman levitysmäärän ollessa 175 g/m^2 liimasauman leikkauslujuuden keskiarvo oli $2,24 \text{ N/mm}^2$ ja tikkuprosentti kuivatuista näytteistä oli 16,70 %. Liimanlevitysmäärällä 190 g/m^2 liimasauman leikkauslujuuden keskiarvo oli $2,21 \text{ N/mm}^2$ ja tikkuprosentti 32,48 %.

Vanerihartsiin 17 perustuvan liimaseoksen lujuusominaisuudet heikkenivät suuremmilla liimanlevitysmäärillä. Etenkin seoksen, missä liimanlevitysmäärä oli 175 g / m^2 , tikkuprosentti jäi selkeästi liian alhaiseksi.

Kokonaisuutta arvioiden päädyttiin siihen, että tutkimuksia jatketaan liimanlevitysmäärällä 160 g/m^2 . Suurempi liimanlevitysmäärä lisää oleellisesti liimauskustannuksia, Lisäksi suurempi levitysmäärä saattaa lisätä pussilevyjen syntymistä. Yhtenä haittatekijänä suuremmassa liimamäärässä on myös se, että työympäristö, liimoitinlaitteet ja puristimet likaantuvat enemmän.

7.4 Palonestoaineiden lisäys

Kun liimausolosuhteet oli vakioitu, tutkimusta jatkettiin liimoitusta seoksilla, joihin oli lisätty palonestoaineita. Työ eteni siten, että jokaisesta liimasekoituksesta liimoitettiin viisi vanerilevyä. Leikkauslujuus testattiin kolmesta testilevystä ja kaksi levyistä jätetään palotestejä varten. Leikkauslujuustestien jälkeen päätettiin palotesteihin lähetettävät levyt.

7.4.1 Aine 1

Aine 1, impregnointihartsin 19 sekä vanerihartsin 16

Palonestoaineita testattiin ensimmäisenä aineen 1, impregnointihartsin 19 sekä vanerihartsin 16 seokseen (liimaseos 16). Liitteessä 1 on esitelty aineen 1 ja vanerihartsin 16 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 34,16 sekuntia. Levyjen liimoitus onnistui teknisesti hyvin. Liimanlevitys oli helppo säätää ja liimaustulos oli tasainen. Liitteen 23 taulukossa 9 on esitelty esipuristustartunta. Levyjen esipuristustartunta oli erinomainen. Levyjen leikkauslujuuden keskiarvo oli 2,19 N/mm² ja tikkuprosentti kuivatuista testikappaleista oli 53,83 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä, mutta tikkuprosentti jäi toivottua alhaisemmaksi.

Aine 1, impregnointihartsin 19 sekä vanerihartsin 17

Liitteessä 2 on esitelty aineen 1 ja vanerihartsin 17 perustuvan seoksen, liimaseos 6 valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 26,81 sekuntia. Levyjen liimoitus onnistui teknisesti hyvin. Liimanlevitys oli helppo säätää ja liimaustulos oli tasainen. Liimoitusvaiheessa Levyjen 45 ja 46 välistä puuttui kuiva viilu, joten levyt olivat liimautuneet yhteen. Lujuus saatiin testattua ainoastaan levyistä 44 ja 45. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 8.

Esipuristustartunta levyillä oli kohtalaisen hyvä. Yhdessä levyssä esiintyi muutamia pieniä kupruja. Levyjen leikkauslujuuden keskiarvo oli 2,30 N/mm² ja tikkuprosentti kuivatuilla koekappaleilla oli 37,72 %. Levyjen leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä, mutta tikkuprosentti jäi toivottua alhaisemmaksi.

7.4.2 Aine 2

Aine 2, impregnointihartsin 19 ja vanerihartsin 17.

Liitteessä 3 on esitelty aineen 2 ja vanerihartsin 17 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Aine 2 sekoittui hyvin hartsiseokseen. Seoksessa oli pieniä valkoisia hippuja, mutta oletuksena oli, että ne eivät heikennä liimauslujuutta tai muutoinkaan vaikuta liimautuvuuteen. Liimoituksessa käytettä-

vän liiman viskositeetti oli 33,25 sekuntia. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin ja liiman levitys oli hyvin hallittavissa ja levitys oli tasainen. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 9.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,07 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 20,39 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä, mutta tikkuprosentti jäi toivottua selvästi alhaisemmaksi.

Aine 2, impregnointihartsin 19 ja vanerihartsin 16.

Liitteessä 4 on esitelty aineen 2 ja vanerihartsin 16 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Aine 2 sekoittui hyvin hartsiseokseen. Seoksessa oli pieniä valkoisia hippuja, mutta oletuksena oli, että ne eivät heikennä liimauslujuutta tai muutoinkaan vaikuta liimautuvuuteen. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 28,31 sekuntia. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin ja liiman levitys oli hyvin hallittavissa ja levitys oli tasainen. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 10.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,43 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 42,52 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli erittäin hyvä. Tikkuprosentti oli kohtalainen, mutta jäi toivottua alhaisemmaksi.

7.4.3 Aine 4

Kolmantena palonestoaineena testattiin aineen 4 soveltuvuutta liimauksiin. Aine 4 sekoittui hyvin molempiin seoksiin. Seosten pinnalle nousi kuitenkin vaahtoa. Vaahto nosti seosten viskositeettia.

Aine 4, impregnointihartsin 19 sekä vanerihartsin 17

Liitteessä 5 on esitelty aineen 4 ja vanerihartsin 17 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 35,80 sekuntia. Liimanlevitystä oli vaikeaa saada säädettyä tasaiseksi. Seoksen pinnalle syntynyt vaahto saattoi osaltaan vaikuttaa liimanlevityksen säädön hallittavuuteen. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 11.

Esipuristustartunta oli kohtalaisen hyvä. Yhdessä levyssä oli 1 pieni kosteuden aiheuttama kupru heti esipuristuksen jälkeen. Ennen puristusta tilanne oli edelleen sama, eli kupru ei ollut kasvanut tai niitä ei ollut tullut lisää. Liimasauman leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,13 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 35,78 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä. Tikkuprosentti jäi toivottua alhaisemmaksi.

Aine 4, impregnointihartsin 19 sekä vanerihartsin 17

Seuraavaksi aine 4 sekoitettiin vanerihartsin 16 perustuvan liimaseoksen sekaan. Liitteessä 6 on esitelty aineeseen 4 ja vanerihartsin 16 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 32,59 sekuntia. Liimanlevitystä oli vaikeaa saada säädettyä tasaiseksi. Seoksen pinnalle syntynyt vaahto saattoi osaltaan vaikuttaa liimanlevityksen säädön hallittavuuteen. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 12.

Esipuristustartunta koelevyissä oli erittäin hyvä. Liimasauman leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,31 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 36,33 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä. Tikkuprosentti jäi toivottua alhaisemmaksi.

7.4.4 Aine 9

Seuraavana testattavana palonestoaineena oli aine 9. Ainetta 9 oli käytettävissä noin 200 g, joten sitä ei riittänyt testattavaksi molemmilla vanerihartseilla. Päätettiin, että testataan vanerihartsin 17 soveltuvuutta, koska se on tarkoitettu koivu- vanerin liimaukseen. Liitteessä 7 on esitelty aineen 9 ja vanerihartsin 17 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Aine 9 sekoittui hyvin liimaseokseen. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 32,79 sekuntia. Viskositeettia oli hankala mitata sekoituksessa syntyneen vaahdon takia. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin ja liimanlevityksen säätäminen sujui ongelmitta. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 13.

Esipuristustartunta koelevyissä oli erittäin hyvä. Liimasauman leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,06 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 10,87 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä, mutta tikkuprosentti oli huono. Huonosta tikkuprosentista voi päätellä, että liimaus ei ole onnistunut.

7.4.5 Aine 10

Seuraavana liimoitettavana palonestoaineena oli vuorossa aine 10. Myös tämän palonestoaineen osalta päädyttiin, että liimattava seos tehdään vain vanerihartsiin 17 perustuvaan seokseen. Liitteessä 8 on esitelty aineen 10 ja vanerihartsiin 17 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Aine 10 sekoittui hyvin liimaseokseen ja seoksesta tuli tasainen. Liimanlevityksessä käytettävän liiman viskositeetti oli 34,53 sekuntia. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin ja liimanlevitys oli tasainen. Liitteen 23 Taulukossa 14 on esitelty esipuristustartunta.

Esipuristustartunta oli hyvä. Kaikki levyt olivat hyviä heti esipuristuksen jälkeen. Yhteen levyyn nousi 4 pientä kosteuden aiheuttamaa kuprua rata-ajan kuluessa. Liimasauman leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,61 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 62,82 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli erinomaisen hyvä. Tikkuprosentti oli kohtalaisen hyvä ja paras palonestoaineilla tähän asti tehdyistä seoksista.

7.4.6 Aine 12

Viimeisenä testattavana palonestoaineena oli aine 12. Aine 12 testattiin molempien vanerihartsien 17 sekä 16 kanssa. Aine 12 sekoittui hyvin molempien vanerihartsiseosten kanssa. Liimoitus onnistui teknisesti hyvin molemmilla seoksilla. Liimanlevitys oli tasainen ja hyvin säädettävissä.

Aine 12, Impregnoitihartsin 19 sekä vanerihartsin 16

Liitteessä 9 on esitelty aineen 12 ja vanerihartsiin 16 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 32,23 sekuntia. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 14. Esipuristus ei onnistunut, minkä johdosta esipuristustartunta oli huono.

Aihioissa oli pintaviiluja osin irti ja myös sisäviilujen osalta viiluja oli erillään. Aihio

ei ollut kova. Liimasauman leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,08 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 10,67 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä. Tikkuprosentti oli huono.

Aine 12, Impregnointihartsit 19 sekä vanerihartsit 17

Liitteessä 10 on esitelty aineen 12 ja vanerihartsin 17 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet sekä lujuuden testaustulokset. Liimoituksessa käytettävän liiman viskositeetti oli 29,68 sekuntia. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 15. Esipuristustartunta seoksella oli todella huono. Aihiossa oli irtoviiluja ja aihio ei ollut kova. Liimasauman leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,04 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli vain 5,70 %.

Leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä. Tikkuprosentti oli todella huono.

7.4.7 Jatkoimenpiteet ja johtopäätökset

Levyjen liimaustulokset kokonaisuutena tarkastellen eivät olleet kovin hyviä. Liimasauman leikkauslujuuden testitulokset olivat hyviä ja täyttivät standardin EN 314-2 asettamat vaatimukset. Testikappaleiden tikkuprosentti kuivatuista koekappaleista ei kuitenkaan ollut asetetun vaatimustason mukainen. Standardin EN 314-2 asettama vaatimus täyttyy, mutta käytännössä tikkuprosentin on oltava parempi.

Jos levy murtuu käyttökohteessa liimasaumasta, asiakkaalla tai käyttäjällä on aina epäily huonosta liimauslaadusta, vaikkakin levyn lujuusominaisuudet olisivat riittäviä. Liimasauman murtuessa liimasaumasta ilman tikkuisuutta on hyvin vaikeaa todistaa liimasauman lujuusominaisuuksien täyttymistä. Liimaseoksiin lisätty impregnointihartsit vaikuttaa liiman imeytymiseen. Todennäköisesti impregnointihartsit lisää liiman imeytymistä puuhun, jolloin liimasauman leikkauslujuusarvot kasvavat. Liiman imeytymisen vuoksi tikkuprosentti jää kuitenkin alhaiseksi. Huonosta tikkuprosentista huolimatta kaikki liimatut levyt päätettiin lähettää Metsägroupin Suolahden tehtaalle palotesteihin.

8 PALO-OMINAISUUKSIEN TESTAUS

Vanerilevyjen palonkestävyyden testaus suoritettiin Metsägroupin Suolahden tehtaalla. Testausmenetelmä on heidän itsensä kehittämä ja sitä voidaan käyttää suuntaa-antavana testausmenetelmänä. Testausmenetelmä on melko karkea ja ulkopuoliset seikat vaikuttivat lopputulokseen. Menetelmä ei ole täysin toistettavissa, koska käytettävissä ei ole mittalaitteita, joiden avulla mitattaisiin liekin lämpötilaa, palon voimakkuutta tai liekin suuntautumista oikeaan kohtaan. Lisäksi vanerilevyn taustan lämpötilaa ei tarkkailtu.

Testin tarkoituksena on antaa ohjeellisesti suuntaa palonkestävyydelle. Vertailulevyinä testauksessa käytetään normaalista tuotannosta otettuja vanerilevyjä. Mikäli polttokokeessa saadaan tuloksia, jotka selkeästi ylittävät normaalin tuotannon palonkestoajat, lähetetään levyjä jatkotutkimuksiin. Jatkotutkimuksissa levyt testaan kartiokalorimetri-kokeella.

Tehtaalla oli rakennettu testausta varten erillinen pieni koppi. Kopin ovea pidettiin auki koko testausprosessin ajan, jotta ilma olisi vaihtunut tehokkaammin. Vanerilevyjä varten oli rakennettu teline, johon testattavat levyt asetettiin palotestin ajaksi. Levyihin puhallettiin puhalluslampun avulla liekki siten, että liekki osui koko ajan levyn keskikohtaan. Puhalluslampun etäisyys oli säädetty siten, että liekki saatiin säädettyä osumaan levyn keskikohtaan. Puhalluslampun voimakkuutta ei säädetty testin aikana, jotta levyyn kohdistuva liekki olisi ollut mahdollisimman tasainen. Puhalluslampun liekin voimakkuutta tarkkailtiin silmämääräisesti testauksen ajan. Puhalluslampun polttoaineena oli nestekaasu.

Testauksessa havaittiin, että oven ollessa auki, tuuli vaikutti välillä liekin suuntautumiseen ja voimakkuuteen. Testauspaikan eteen asetettiin vanerilevy, joka suoja- si paloa tuulelta. Lisäksi oli nähtävissä, että liekki heikkeni muutamaan otteeseen. Puhalluslampun ja nestekaasupullon liitännät ja letkut tarkastettiin, jolloin liekki tasaantui. Polttokokeessa tarkkailtiin pinnan syttymisaikaa, vanerilevyn taustapuolen tummumisaikaa, läpipaloaikaa sekä levyn jälkipaloaikaa. Vanerilevyn taustan lämpötilaa ei mitattu. Vanerilevyn taustapuolen tummumisaika todettiin visuaali-

sesti. Levyjen läpipaloaika todettiin siitä, kun levy oli palanut puhki ja liekit etenivät vanerilevyn taustapuolelle. Jälkipaloaikaa tarkkailtiin siten, että sammuiko palo itsestään heti, kun liekit eivät enää kohdistuneet siihen, vai pitikö levy sammuttaa vesihauteessa. Jos palo jatkui, merkittiin jälkipaloajaksi yli 2 minuuttia.

Testattavia levyjä oli yhteensä 31. Testilevyjä oli tehty kaksi rinnakkaista. Metsägroupin Suolahden tehtaan tuotannosta otettiin kolme referenssilevyä, joiden tuloksiin Dynea Chemicalsilla liimattuja levyjä verrattiin. Levyt testattiin siten, että ensin koe poltettiin Metsägroupin referenssilevyt. Tämän jälkeen testattiin yksi sarja palonestoaineilla liimattuja levyjä. Ensimmäisen koepolttosarjan jälkeen pidettiin tauko ja sen jälkeen testattiin vielä ne palonestoaineet, joiden paloaika oli pidempi kuin Dynea Chemicalsin referenssilevyjen paloaika.

Taulukko 31. Polttokoeolosuhteet

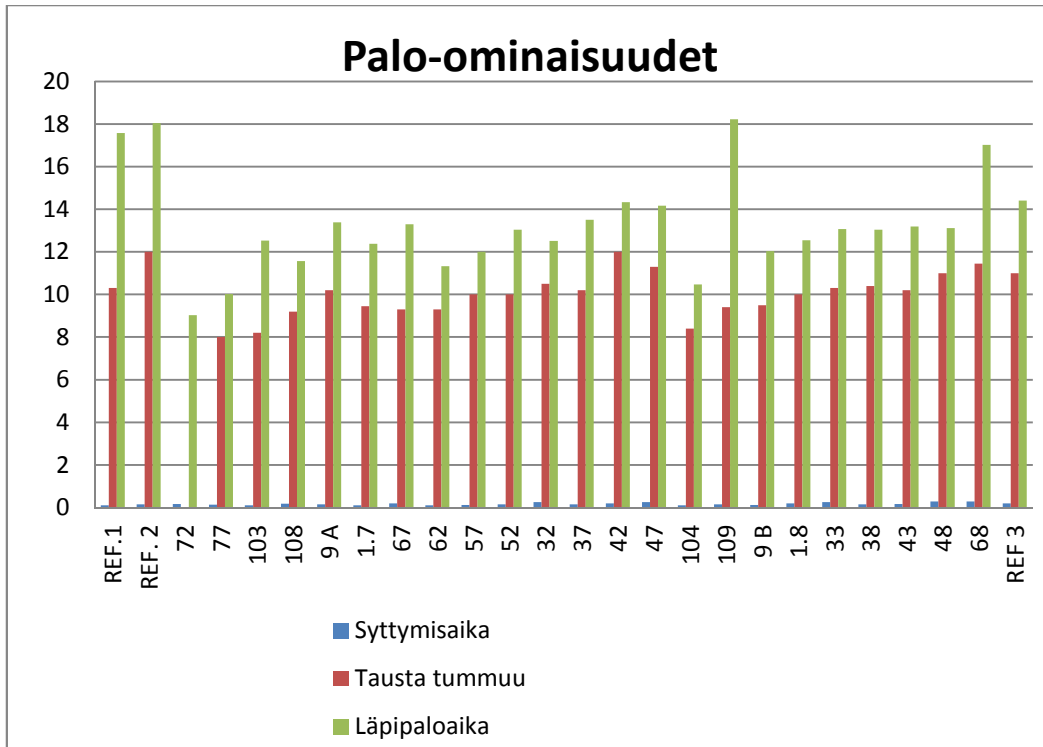
Koekappaleen materiaali	Koivuvaneri
Koekappaleen paksuus	12 mm
Koekappaleen koko	210 x 300 mm
Koekappaleen syysuunta	Dynea: pystysuoraan Metsägroup: vaakasuoraan
Testauslämpötila	Ulkoilman lämpötila, testauksen aikana lämpötila vaihteli noin 8°C – 15°C
Kaasupolttimen liekin pituus	Vaihteli hieman, todettiin visuaalisesti
Vanerilevyn taustan lämpötila	Ei mitattu

Impregnointihartsin määrä oli 20 % kaikissa niissä koelevyissä, joihin sitä on lisätty. Koelevyistä REF 1, REF 2 ja REF 3 oli otettu Metsägroupin Suolahden tehtaan tuotannosta. Muut levyt oli valmistettu Dynea Chemicalsin koestuslaboration laitteilla. Taulukossa 32. on esitelty polttokokeiden tulokset.

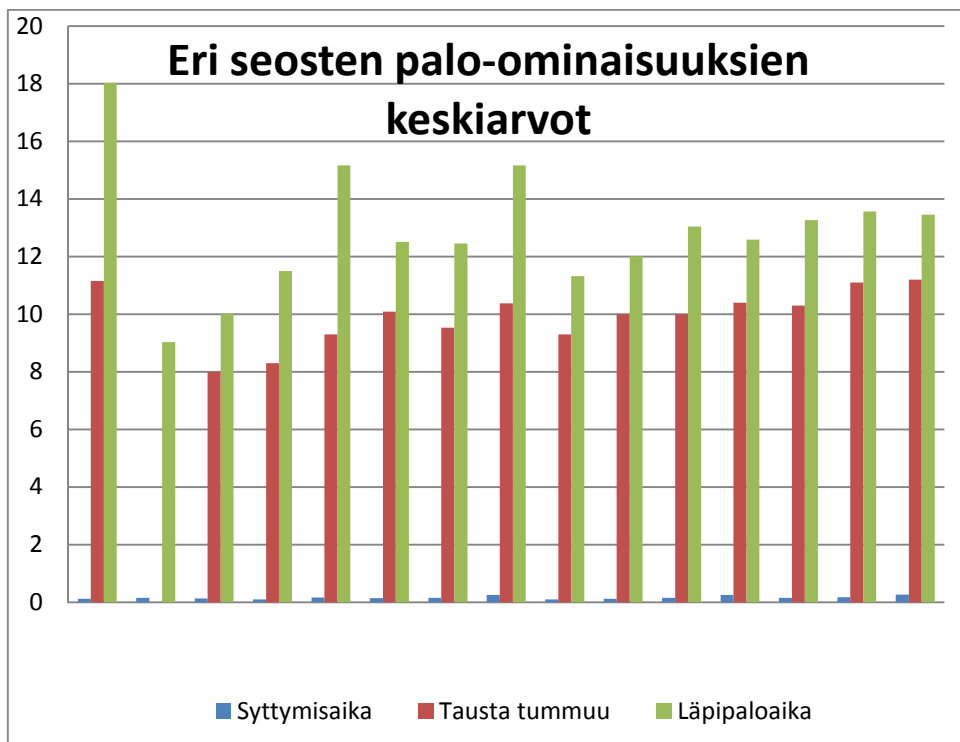
Taulukko 32. Palotestien tulokset.

Liimaseos	Lisäaine	Levyn nro	Pinta syttyi s.	Tausta tummunut (min)	Läpipalo aika (min)	Jälkipalo aika (min)
Hartsi 18		REF.1	10	10,3	17,58	Sammui heti
Hartsi 18		REF. 2	15	12	18,05	Sammui heti
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 12	72	16		9,03	yli 2 min
Hartsi 16+imp.h 19	Aine 12	77	13	8	10,02	yli 2 min
Hartsi 16		103	10	8,2	12,53	yli 2 min
Hartsi 17		108	18	9,2	11,57	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19		9 A	15	10,2	13,39	yli 2 min
Hartsi 16+imp.h 19		1.7	10-15	9,45	12,38	Sammui heti
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 10	67	20	9,3	13,29	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 9	62	10	9,3	11,32	yli 2 min
Hartsi 16+imp.h 19	Aine 4	57	12	10	12,01	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 4	52	15	10	13,04	yli 2 min
Hartsi 16+imp.h 19	Aine 1	32	26	10,5	12,52	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 2	37	15	10,2	13,50	Sammui heti
Hartsi 16+imp.h 19	Aine 2	42	20	12	14,33	Sammui heti
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 1	47	26	11,3	14,17	yli 2 min
Hartsi 16		104	10	8,4	10,47	yli 2 min
Hartsi 17		109	15	9,4	18,22	Sammui heti
Hartsi 17+imp.h 19		9 B	12	9,5	12,04	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19		1.8	20	10	12,54	yli 2 min
Hartsi 16+imp.h 19	Aine 1	33	25	10,3	13,07	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 2	38	15	10,4	13,04	yli 2 min
Hartsi 16+imp.h 19	Aine 2	43	16	10,2	13,19	Sammui heti
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 1	48	28	11	13,12	yli 2 min
Hartsi 17+imp.h 19	Aine 10	68	29	11,45	17,02	Sammui heti
Hartsi 18		REF 3	19	11	14,41	yli 2 min

Taulukko 33. Palo-ominaisuudet testattujen levyjen osalta



Taulukko 34. Eri seosten palo-ominaisuuksien keskiarvot



Koelevyistä jätettiin testaamatta rinnakkaisnäytteet seoksille, koska näiden koelevyjen rinnakkaisnäytteiden koepoltosta saadut tulokset eivät olleet riittävän hyviä.

8.1 Palotestin tulosten tarkastelu

Palotesteissä tarkkailtiin pinnan syttymisaikaa, taustan tummumisaikaa sekä läpi- ja jälkipaloaikoja. Parhaimmat tulokset palo-ominaisuuksissa saavutettiin Metsägroupin valmistamilla tuotannon referenssilevyillä. Kahden ensimmäisen levyn osalta läpipaloaika oli noin 18 minuuttia ja levyt sammuivat itsestään heti, kun niihin ei enää kohdistunut liekkiä. Levyt paloivat reilulla liekillä. Kolmannen testatun levyn läpipaloaika oli 14,41 minuuttia. Tämä levy testattiin tauon jälkeen, joten olosuhteet ovat voineet hieman muuttua. Kolmannen levyn jälkipaloaika oli yli 2 minuuttia ja se sammutettiin vesihauteessa. Seuraavaksi pisimmät läpipaloajat saavutettiin perusseoksella vanerihartsin 17 sekä vanerihartsin 17, impregnointihartsin 19 ja aineen 10 seoksella.

Perusseoksen vanerihartsin 17 osalta on kuitenkin todettava, että visuaalisesti katsottuna levyyn kohdistuva liekki näytti hiipuvan testausvaiheessa, joten tämä tulos ei ole kovin luotettava. Ensimmäisen palotestin läpipaloajaksi saatiin 11,57 minuuttia ja toisen levyn paloaika oli 18,22 minuuttia. Levyjen polttokokeesta tehtiin seuraavia huomioita: Levy ei kupruile, palo etenee lähinnä hiiltymällä, sekä liekki sammuu välillä. Toisen testatun levyn osalta todettiin, että levy palaa hallitulla liekillä, mutta liekki näyttää hiipuvan välillä.

Vanerihartsilla 16 liimatun referenssilevyn palo-ominaisuudet olivat testisarjan heikoimmasta päästä. Syttymisaika oli 10 sekuntia, taustan tummumiseen kulunut aika 8,30 minuuttia ja läpipaloaika oli keskimäärin 11,5 minuuttia. Molempien levyjen jälkipaloaika oli yli 2 minuuttia.

Vanerihartsin 17 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimoitettujen referenssilevyjen palotulokset olivat testisarjan keskitasoa. Levyjen pinnan keskimääräinen syttymisaika oli 14 sekuntia ja taustan tummumiseen kului keskimäärin 10,09 minuuttia. Läpipaloaika oli 12,51 minuuttia ja molempien levyjen jälkipaloaika oli yli 2 minuut-

tia. Ensimmäinen testilevy paloi lähes hiiltymällä. Ja toinen testilevyistä paloi pienellä liekillä.

Vanerihartsin 16 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimoitettujen referenssilevyjen palotulokset olivat testisarjan keskitasoa. Levyjen pinnan keskimääräinen syttymisaika oli 15 sekuntia ja taustan tummumiseen kului keskimäärin 9,53 minuuttia. Läpipaloaika oli 12,46 minuuttia. Ensimmäinen testilevyistä sammui heti ja toisen testatun levyn jälkipaloaika oli yli 2 minuuttia. Molemmat testilevyt paloivat välillä reilusti ja välillä palo lähes sammui.

Vanerihartsin 17, impregnointihartsin 19 ja aineen 10 seoksella saavutettiin kohtalaisen hyvä tulos palotesteissä. Koelevyt paloivat hillityllä ja pienellä liekillä. Palo keskittyi pienelle alalle. Pinnan syttymisaika oli melko pitkä, keskimäärin 25 sekuntia, verrattuna muihin levyihin. Myös taustan tummumiseen kulunut aika (10,38 min) ja läpipaloaika (15,16 min) olivat keskimääräistä pidempiä.

Myös aineella 2 saavutettiin kohtalaisen hyvät tulokset verrattuna Dynean testisarjan levyihin. Aine 2 + vanerihartsin 16 + impregnointihartsin 19 seoksesta liimatut levyt paloivat hillityllä liekillä ja palo sammui heti, kun liekin kohdistus levyn pintaan loppui. Levyjen läpipaloaika oli keskimäärin 13,56 min.

Aine 2 + vanerihartsin 17 + impregnointihartsin 19 seoksella liimattujen levyjen keskimääräinen läpipaloaika oli 13,27 min. Ensimmäisellä testilevyllä palo keskittyi pienelle alueelle ja palo sammui heti, kun liekkiä ei enää kohdistettu levyyn. Toinen testilevyistä paloi hillityllä liekillä pienellä alueella. Toisen testilevyn jälkipaloaika oli yli 2 minuuttia.

Vanerilevyt, joiden liimaukseen oli lisätty ainetta 1 saavuttivat myös melko hyvät testaustulokset, Dynean referenssilevyihin verrattuna. Aineen 1, vanerihartsin 16 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimattujen levyjen keskimääräinen läpipaloaika oli 12,59 min ja levyjen jälkipaloaika oli yli kaksi minuuttia. Levyjen pinnan syttymisaika oli 26 sekuntia, mikä oli testisarjan toiseksi pisin aika. Ensimmäisen testilevyn aikana levy sammui välillä, vaikka liekki kohdistui siihen koko ajan. Toinen testile-

vyistä paloi ensin suurella liekillä, mutta 3 minuutin kohdalla liekki pieneni ja levy paloi loppuun saakka pienellä liekillä.

Aineen 1, vanerihartsin 17 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimattujen levyjen keskimääräinen läpipaloaika oli 13,45 minuuttia ja jälkipaloaika oli yli kaksi minuuttia molemmilla levyillä. Levyjen pinnan syttymisaika oli testisarjan pisin, 27 sekuntia. Ensimmäinen testilevy paloi alkuun isolla liekillä, kunnes palo sammui 5 minuutin kohdalla, vaikka liekki kohdistui koko ajan levyyn. Levy paloi tästä edespäin hillityllä liekillä. Testilevyistä toinen paloi alkuun melko isolla liekillä, kunnes liekki pieneni 4,30 minuutin kohdalla.

Aineen 4, vanerihartsin 17 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimatun levyn läpipaloaika oli 13,04 minuuttia ja jälkipaloaika oli yli kaksi minuuttia. Levy syttyi 15 sekunnissa ja taustan tummumiseen kului 10 minuuttia. Levyjä testattiin vain yksi ja se paloi tasaisesti koko palon ajan.

Aineen 4, vanerihartsin 16 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimatun levyn läpipaloaika oli 12,01 minuuttia ja jälkipaloaika oli yli kaksi minuuttia. Levy syttyi 12 sekunnissa ja taustan tummumiseen kului 10 minuuttia. Levyjä testattiin vain yksi ja se paloi alkuun reilulla liekillä.

Aineen 9, vanerihartsin 17 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimatun levyn pinnan syttymisaika oli 10 sekuntia ja taustan tummumiseen kului 9,3 minuuttia. Levyn läpipaloaika oli 11,32 minuuttia ja jälkipaloaika oli yli kaksi minuuttia. Testilevy paloi pienellä liekillä.

Aineen 12, vanerihartsin 17 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimatun levyn pinnan syttymisaika oli 16 sekuntia. Läpipaloaika oli 9,03 minuuttia ja jälkipaloaika oli yli kaksi minuuttia. Saumat pullistuivat auki ja palo pääsi nopeammin etenemään.

Aineen 12, vanerihartsin 16 ja impregnointihartsin 19 seoksella liimatun levyn pinnan syttymisaika oli 13 sekuntia. Taustan tummumiseen kului 8 minuuttia ja läpipaloaika oli 10,02 minuuttia. Viilut pullistuivat irti liimasaumoista palon edetessä.

Saatujen testitulosten pohjalta päädyttiin siihen, että jos lujuuden testaustulokset ovat heikkoja tai jos tikkuprosentti on huono, myöskään palonkesto-ominaisuudet eivät ole hyviä. Liimasauman tulee olla luja ja kestävä, jotta levyistä tulee palonkestävämpiä. Liimasauman ollessa heikko palo pääsee etenemään helposti viilukerrostenväleissä. Viilut irtoavat liimasaumoista helpommin, jolloin ilmaa pääsee viilujen väliin ja palo pääsee paremmin etenemään. Levyjen valmistuksessa olisi pitänyt huomioida, että käytettäessä S-laadun viiluja, vältetään puun heikentävien ominaisuuksien vaikutuksilta palonkestokokeiden tuloksiin. Dynealla valmistettujen levyjen viiluja ei lajiteltu, vaan valmistuksessa käytettiin peruslaadun viiluja.

Lisäksi Dynean testilevyt oli sahattu toisin päin kuin Metsägroupin testilevyt. Dynean levyissä syysuunta oli pystysuoraan kun taas Metsägroupin levyt oli sahattu syysuunta vaakasuoraan. Testikappaleet olisi pitänyt olla sahattuna samaan suuntaan, jotta syysuunta ei vaikuttaisi testaustuloksiin. Nyt ei osattu arvioida syysuunnan vaikutusta palon syttymiseen ja etenemiseen. Tiedossa on ainoastaan, että kappaleiden syysuunnalla on merkitystä.

8.2 Johtopäätökset palo-ominaisuuksien ja lujuuden testauksesta

Käytetyillä palonestoaineiden ja hartsien seoksilla ei saavutettu riittävän pitkää läpipaloaikaa. Metsägroupin ohjeena oli, että läpipaloajan täytyy olla puolet suurempi kuin referenssilevyjen läpipaloajan. Millään Dynean liimaamalla levyillä ei saavutettu yhtä pitkiä läpipaloaikoja kuin Metsägroupin referenssilevyillä. Koska valmistusprosessi on erilainen ja levyt on sahattu erisuuntaan, päädyttiin vertaamaan Dynean levyjä keskenään.

Päätettiin, että tehdään vielä lisää liimaseoksia, joilla arvellaan saavutettavan paremmat lujuusominaisuudet ja tätä kautta parannettua palonkesto-ominaisuuksia. Päätettiin, että aine 10, aine 2 sekä aine 1 ovat jatkossa testattavat lisäaineet. Lisäksi päätettiin, että impregnointihartsia ei lisätä enää vanerihartsin sekaan. Tähän päädyttiin, koska näyttää siltä, että liima imeytyy liikaa viiluihin. Lujuusarvot kyllä nousevat, mutta tikkuprosentti jää alhaiseksi. Lisäksi päätettiin, että seoksissa käytetään vanerihartseja 16, 17 ja 18.

9. UUSIEN LIIMASEOKSIEN SEKOITUS, LIIMAUS JA TESTAUS

Tutkimuksen seuraavassa vaiheessa sekoitettiin vielä vanerihartseihin palonestoaineita ja pyrittiin saamaan tasalaatuisia ja viskositeetiltaan liimaukseen soveltuvia seoksia. Impregnointihartsi päätettiin jättää pois. Alla esiteltävien seosten avulla pyrittiin saavuttamaan riittävän hyvät liimaus- ja lujuusominaisuudet koivuvanerille. Mikäli saavutetaan riittävän hyvät lujuusominaisuudet ja myös tikkuprosentti on hyvä, niin levyjä lähetetään palotesteihin. Leikkauslujuuden tulisi olla vähintään 1,8 N/mm² ja tikkuprosentin 80 % tuntumassa, jotta levyt ovat hyväksyttäviä.

Tutkimuksessa oli tarkoitus käyttää ainetta 2. Kun osa uusista liimaseoksista oli jo liimoitettu, ilmoitti aineen 2 valmistaja, ettei hiukkaskooltaan pienempää ainetta ole enää saatavilla. Tuotteen korvaa aine 3, joka on koostumukseltaan sama kuin aine 2, ainoastaan partikkelikoko on suurempi. Liimaseokset 1, 2 ja 3 ehdittiin liimoittaa aineella 2. Teimme siis liimaseosta 2 vastaavan liimaseoksen 10 isommalla hiukkaskoolla varustetulla aineella 3. Lisäksi liimaseos 7 on liimattu aineella 2.

Aineita 2 ja 3 verrattiin toisiinsa siten, että jauheita verrattiin silmämääräisesti sekä vanerihartsiin sekoitettuna. Suurta eroa ei havaittu, joten todettiin, että tutkimusta voidaan jatkaa aineella 3. Seosten samankaltaisuuden vuoksi seoksia 1 ja 2 ei liimoitettu uudelleen.

Aine 3, aine 10 sekä vanerihartsi 17

Liitteessä 11 on esitelty hartsiin 17 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet. Liitteessä 21 on esitelty lujuuden testaustulokset ilman impregnointihartsia liimatuista seoksista. Liimaseos oli tasalaatuinen ja viskositeetti ei muuttunut ensimmäisen neljän tunnin aikana kovinkaan paljon. Seoksessa oli pieniä valkoisia hippusia, mutta ne eivät vaikuttaneet liimausprosessiin. Liimattavan seoksen viskositeetin kehitys näkyy liitteessä 11. Seoksen viskositeetti/ 2h oli 37,31 sekuntia. Viskositeetin madaltamiseksi seokseen lisättiin 40 g vettä. Levyjen esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 20.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 1,90 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 14,83 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli riittävän hyvä, mutta tikkuprosentti jäi asetettua tavoitearvoa selvästi alhaisemmaksi.

Aine 2, aine 10 ja vanerihartsin 16

Liitteessä 12 on esitelty aineeseen 2, aineeseen 10 ja vanerihartsiin 16 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet. Liimaseos oli tasalaatuinen ja viskositeetti pysyi lähes samana ensimmäisen neljän tunnin ajan. Seoksessa oli pieniä valkoisia hippuja, mutta ne eivät vaikuttaneet liimausprosessiin. Liimattavan seoksen reseptiin päätettiin lisätä 15 g ainetta 2, jotta viskositeetti nousee 25 – 35 sekunnin välille. Liimattavan seoksen viskositeetti oli 34,81 sekuntia / 2 h. Levyjen esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 21.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 1,97 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 20 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli riittävän hyvä, mutta tikkuprosentti jäi asetettua tavoitearvoa selvästi alhaisemmaksi.

Aine 2, aine 10 ja vanerihartsin 18

Liitteessä 13 on esitelty aineeseen 2, aineeseen 10 ja vanerihartsiin 18 perustuvan seoksen valmistusolosuhteet. Liimaseos oli tasalaatuinen ja viskositeetti pysyi lähes samana ensimmäisen neljän tunnin ajan. Seoksessa oli pieniä valkoisia hippuja, mutta ne eivät vaikuttaneet liimausprosessiin. Liimattavan seoksen reseptiin päätettiin lisätä 15 g ainetta 2, jotta viskositeetti nousee 25 – 35 sekunnin välille. Liimoitettavan seoksen viskositeetti oli 32,35 sekuntia / 2 h. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 22.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,10 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 29,15 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli riittävän hyvä, mutta tikkuprosentti jäi asetettua tavoitearvoa selvästi alhaisemmaksi.

Aine 10, aine 1 ja vanerihartsin 17

Liitteessä 14 on esitelty aineen 10, vanerihartsin 17, kovetteen sekä aineen 1 seoksen valmistusolosuhteet. Aineen 10 määrä seoksessa oli noin 10 % ja aineen 1 määrä oli noin 2 %. Liimaseos oli tasalaatuinen. Seokseen ilmaantui vaahtoa 1 tunnin jälkeen, mikä vaikutti viskositeetin mittaustuloksiin. Liimattavan seoksen reseptiin päätettiin lisätä 10 g vettä, jotta viskositeetti laskee 25 – 35 sekunnin välille. Liimoitettavan seoksen viskositeetti oli 33,95 sekuntia / 2 h. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 23.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,41 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 88,34 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä ja myös tikkuprosentti nousi tavoitearvon yläpuolelle.

Aine 10, aine 2 ja vanerihartsin 18

Liitteessä 15 on esitelty aineen 10, vanerihartsin 18, kovetteen sekä aineen 1 seoksen valmistusolosuhteet. Aineen 10 määrä seoksessa oli noin 10 % ja aineen 1 määrä oli noin 2 %. Liimaseos oli tasalaatuinen. Seokseen ilmaantui vaahtoa 1 tunnin jälkeen, mikä vaikutti viskositeetin mittaustuloksiin. Liimattavan seoksen reseptiin päätettiin lisätä 10 g kovetetta, jotta viskositeetti nousee 25 – 35 sekunnin välille. Liimattavan seoksen viskositeetti nousi 2 tunnin kohdalla 45,6 sekuntiin. Seokseen lisättiin 80 g vettä (alkuperäiseen reseptiin lisättävä 7,3 g), minkä jälkeen viskositeetti oli 35,06 sekuntia. Liimauksen kannalta viskositeetti on hyväksyttävä. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 24.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,24 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 87,70 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä ja myös tikkuprosentti nousi tavoitearvon yläpuolelle.

Aine 10, aine 1 ja vanerihartsin 16

Liitteessä 16 on esitelty aineen 10, vanerihartsin 16 sekä aineen 1 seoksen valmistusolosuhteet. Aineen 10 määrä seoksessa oli noin 10 % ja aineen 1 määrä oli noin 2 %. Liimaseos oli tasalaatuinen. Viskositeetti nousi ensimmäisen tunnin aikana, mutta laski tämän jälkeen vielä 4 tunnin kohdalla. Liimattavan seoksen re-

septiin päätettiin lisätä 10 g kovetetta, jotta viskositeetti nousee 25 – 35 sekunnin välille. Liimattavan seoksen viskositeetti oli 34,03 sekuntia / 2 h. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 25. Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,22 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 80,50 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä ja myös tikkuprosentti nousi tavoitearvon yläpuolelle.

Aine 3, aine 10, aine 1 sekä Vanerihartsin 18

Liitteessä 17 on esitelty aineen 3, aineen 10, vanerihartsin 18 sekä aineen 1 seoksen valmistusolosuhteet. Aineen 10 määrä seoksessa noin 11 % ja aineen 1 määrä noin 2,2 %. Liimaseos oli tasalaatuinen ja viskositeetti pysyi alkuun lähes muuttumattomana. Liimattavan seoksen reseptiin päätettiin lisätä 15 g ainetta 3, jotta viskositeetti nousee 25 – 35 sekunnin välille. Liimattavan seoksen viskositeetti oli 35,3 sekuntia / 2h. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 26. Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,25 N/mm² ja tikkuprosentti määritettyä koekappaleista oli 36,50 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä ja mutta tikkuprosentti jäi selvästi tavoitearvon alapuolelle.

Aine 3, aine 10, aine 1 sekä Vanerihartsin 16

Liimaseos oli tasalaatuinen ja viskositeetin kehitys oli tasaista. Liimaseosta ei liimoiteta, koska Liimaseoksen 2 tikkuprosentti jäi selvästi alle tavoitearvon. Tämä seos on muutoin sama, mutta seokseen on lisätty ainetta 1. Koska aine 1 ei reagoi muiden aineiden kanssa, ei ole oletettavissa, että tikkuprosentti olisi parempi seoksella 8.

Aine 3, aine 10, aine 1 sekä Vanerihartsin 17

Liimaseoksen viskositeetti jäi todella alhaiseksi. Liimaseosta ei liimoiteta, koska Liimaseoksen 1 tikkuprosentti jäi selvästi alle tavoitearvon. Tämä seos on muutoin sama, mutta seokseen on lisätty ainetta 1. Koska aine 1 ei reagoi muiden aineiden kanssa, ei ole oletettavissa, että seoksen 9 tikkuprosentti olisi parempi.

Aine 3, aine 10 sekä Vanerihartsin 16

Liitteessä 18 on esitelty aineen 3, aineen 10 ja vanerihartsin 16 seoksen valmistusolosuhteet. Seos 10 tehtiin, jotta nähtäisiin, eroavatko seokset 2 ja 10 toisistaan. Seokset ovat muutoin samoja, mutta seoksessa 10 on käytetty ainetta 3, kun liimaseoksessa 2 on käytetty ainetta 2. Seos sekoittui yhtä hyvin kuin rinnakkaisseos 2. Seoksen koostumus oli samankaltainen kuin seoksen 2. Pieniä valkoisia hippusia oli nähtävissä, mutta näiden ei ajateltu vaikuttavan liimausominaisuuksiin. Seoksen viskositeetti liimauksessa oli 32,35 sekuntia. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 27.

Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 1,98 N/mm² ja tikkuprosentti kuivista koekappaleista oli 19,17 %. Leikkauslujuus testi kappaleilla oli hyvä ja mutta tikkuprosentti jäi selvästi tavoitearvon alapuolelle.

Perusseos vanerihartsista 18

Viimeisenä seoksena liimoitettiin perusseos vanerihartsista 18. Tämän testisarjan levyjä käytetään referenssilevynä palotestauksessa. Liitteessä 19 on esitelty vanerihartsin 18 perusseoksen valmistusolosuhteet. Liimaseos oli tasalaatuinen ja viskositeetin kehitys oli tasainen. Liimausviskositeetti oli 30,1 / 2 h. Esipuristustartunta on esitelty liitteen 23 taulukossa 28. Esipuristustartunta oli erinomainen. Leikkauslujuuden keskiarvoksi saatiin 2,32 N/mm² ja tikkuprosentti märistä koekappaleista oli 85 %. Leikkauslujuus testikappaleilla oli hyvä ja tikkuprosentti nousi tavoitearvon yläpuolelle.

9.1 Palotestaus

Lujuuden testauksen jälkeen päätettiin, että liimatuista seoksista lähetetään kaksi näytelevyä jokaisesta liimatusta seoksesta palotesteihin Suolahteen. Testausmenetelmä oli samanlainen kuin aiemmin kuvattu. Tulokset eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia aiempiin tuloksiin nähden, koska testausolosuhteet ovat muuttuneet. Koelevyistä REF 1 oli otettu Metsägroupin Suolahden tehtaan tuotannosta. Muut levyt oli valmistettu Dynea Chemicalsin koestuslaboration laitteilla.

Taulukko 35. Polttokoetestin tulokset

Liimaseos	Lisäaine	Levyn nro	Pinta syttyi s.	Tausta tummunut (min)	Läpipalo aika (min)	Jälkipalo aika (min)
Hartsi 17	aine 2 / aine 10	153	23	9,5		Yli 2 min
Hartsi 17	aine 2 / aine 10	154	15	9,2	11,15	yli 2 min
Hartsi 18	aine 2 / aine 10	159	12	9,4	11,4	yli 2 min
Hartsi 18	aine 2 / aine 10	160	12	10,1	10,5	yli 2 min
Hartsi 17	aine 10 / aine 1	165	15	10	10,5	yli 2 min
Hartsi 17	aine 10 / aine 1	166	12	9,2	10,5	yli 2 min
Hartsi 18	aine 10 / aine 1	171	11	9,1	10,1	yli 2 min
Hartsi 18	aine 10 / aine 1	172	11	9,1	10,05	yli 2 min
Hartsi 16	aine 2 / aine 10	177	10	Savua liikaa poltto seis		
Hartsi 16	aine 2 / aine 10	178	8	9,3	10,2	yli 2 min
Hartsi 16	aine 10 / aine 1	183	10	8,2	9,2	1,3
Hartsi 16	aine 10 / aine 1	184	12	9,1	9,5	yli 2 min
Hartsi 16	aine 3 / aine 10	200	15	Savua liikaa poltto seis		
Hartsi 16	aine 3 / aine 10	201	10	9,3	10,5	Sammui heti
Hartsi 16	aine 2 / aine 10	209	11		9,3	yli 2 min
Hartsi 16	aine 2 / aine 10	210	10	9,2	10,25	yli 2 min
Hartsi 18		215	10	8,5	9,4	yli 2 min
Hartsi 18		216	12	9,1	10,5	Sammui heti
Ref. 1			11	9,5	11,1	yli 2 min

Palotestausten tulosten perusteella toivottuja palo-ominaisuuksia ei saavutettu myöskään tämän testisarjan levyillä. Metsägroup oli asettanut tavoitteeksi, että palonsuoja-aineella käsiteltyjen levyjen läpipaloaika pitää olla kaksi kertaa suurempi kuin referenssilevyjen. Tässä testisarjassa Metsägroupin tuotannosta otetun referenssilevyn läpipaloaika oli 11,1 minuuttia. Ainoastaan kaksi palonkestoaineilla käsitellyistä levyistä ylitti referenssilevyn läpipaloajan. Vanerihartsin 17, aineen 2 ja aineen 10 seoksesta liimatun levyn läpipaloaika oli 11,15 ja vanerihartsin 18, aineen 2 ja aineen 10 seoksesta liimatun levyn läpipaloaika oli 11,4 minuuttia. Muiden seosten läpipaloajat vaihtelivat välillä 9,2 minuuttia – 10,5 minuuttia.

Vaneriharts 17, aine 2 ja aine 10

Testilevyt 153 ja 154. Molemmat näytteet paloivat hillitysti eikä palosta aiheutunut käryä. Syttymisaajat olivat hieman keskimääräistä pidemmät 23 sekuntia ja 15 sekuntia. Taustan tummumiseen kului aikaa testisarjan muihin levyihin verrattuna keskimääräinen aika 9,5 ja 9,2 min. Toisen levyn läpipaloaika ei ole tiedossa, mutta toisen levyn läpipaloaika oli keskimääräistä korkeampi 11,15 min. Jälkipaloaika molemmilla levyillä oli yli 2 minuuttia. Levyjen lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli alhainen, keskimäärin 14,83 % ja lujuus 1,90 N/mm².

Vaneriharts 18, aine 2 ja aine 10

Testilevyt 159 ja 160. Molemmat näytteet paloivat alkuun isolla liekillä. Näytelevy 159 paloi loppuun hiiltymällä. Palon aikana levystä valui nestettä. Näytelevy 160 paloi loppuun välillä sammuen, kunnes syttyi voimakkaaseen paloon. Syttymisaika molemmilla levyillä oli 12 sekuntia, mikä oli keskitasoa testisarjassa. Taustan tummumiseen kului aikaa testisarjan muihin levyihin verrattuna hieman keskimääräistä pidempi aika 9,4 ja 10,5 min. Toisen levyn läpipaloaika oli 10,5 minuuttia, mutta toisen levyn läpipaloaika oli testisarjan pisin 11,4 minuuttia. Jälkipaloaika molemmilla levyillä oli yli 2 minuuttia. Levyjen lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli alhainen, keskimäärin 29,15 % ja lujuus 2,10 N/mm².

Vaneriharts 16, aine 2 ja aine 10

Testilevyt 177 ja 178. Levyn 177 poltto keskeytettiin vankan savun muodostuksen vuoksi. Näytelevy 178 paloi alkuun isolla liekillä, kunnes 5 minuutin palon kohdalla liekit pienenevät ja palo eteni hiiltymällä. Syttymisaika levyllä 177 oli 10 sekuntia ja levyllä 178 8 sekuntia, mikä oli testisarjan lyhin syttymisaika. Näytelevyllä 178 taustan tummumiseen kului aikaa 9,3 min ja levyn läpipaloaika oli 10,2 minuuttia. Jälkipaloaika levyllä oli yli 2 minuuttia. Levyjen lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli alhainen, keskimäärin 20 % ja lujuus 1,97 N/mm².

Vaneriharts 16, aine 3 ja aine 10

Testilevyt 200 ja 201. Levyn 200 poltto keskeytettiin vankan savun muodostuksen vuoksi. Näytelevy 201 paloi alkuun isolla liekillä, kunnes 2,2 minuutin palon kohdalla liekit pienenevät ja palo eteni hiiltymällä. Syttymisaika levyllä 200 oli 15 se-

kuntia ja levyllä 201 10 sekuntia. Näytelevyllä 201 taustan tummumiseen kului aikaa 9,3 min ja levyn läpipaloaika oli 10,5 minuuttia. Jälkipaloaika levyllä oli yli 2 minuuttia. Levyjen lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli alhainen, keskimäärin 19,17 % ja lujuus 1,98 N/mm².

Vanerihartsi 17, kovete, aine 10 ja aine 1

Testilevyt 165 ja 166. Levy 165 paloi alkuun isolla liekillä, kunnes 3,3 minuutin palon kohdalla liekit pienenevät ja palo eteni hiiltymällä. Näytelevy 166 paloi isolla liekillä ja levystä valui nestettä. Syttymisaika levyllä 165 oli 15 sekuntia ja levyllä 166 12 sekuntia. Näytelevyllä 165 taustan tummumiseen kului aikaa 10 min ja levyllä 166 9,2 minuuttia. Molempien levyjen jälkipaloaika oli 10,5 minuuttia. Jälkipaloaika levyillä oli yli 2 minuuttia. Levyjen lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli hyvä, keskimäärin 88,34 % ja lujuus 2,41 N/mm².

Vanerihartsi 18, kovete, aine 10 ja aine 1

Testilevyt 171 ja 172. Levy 171 paloi alkuun isolla liekillä, kunnes 5 minuutin palon kohdalla liekit pienenevät. Palon edetessä levystä lähti kokkareita ja palosta erittyi pistävää savua. Näytelevy 172 paloi hajuttomasti ja hillitysti. Syttymisaika levyllä molemmilla levyillä oli 11 sekuntia. Molempien levyjen taustan tummumiseen kului aikaa 9,1 min. Läpipaloaika oli levyllä 171 10,1 minuuttia ja näytelevyllä 172 10,05 minuuttia. Molempien levyjen jälkipaloaika oli 10,5 minuuttia. Jälkipaloaika levyillä oli yli 2 minuuttia. Levyjen lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli hyvä, keskimäärin 87,70 % ja lujuus 2,23 N/mm².

Vanerihartsi 16, kovete, aine 10 ja aine 1

Testilevyt 183 ja 184. Levy 183 paloi alkuun isolla liekillä, kunnes 5 minuutin palon kohdalla liekit pienenevät. Näytelevy 184 paloi alkuun isolla liekillä, kunnes 2 minuutin kohdalla liekit pienenevät ja levy paloi loppuun hiiltymällä. Näytelevystä lähti palaessa pistävä haju. Syttymisaika levyllä 183 oli 11 sekuntia ja levyllä 184 12 sekuntia. Levyn 183 taustan tummumiseen kului aikaa 8,2 min ja levyn 184 9,1 minuuttia. Läpipaloaika oli levyllä 183 9,2 minuuttia ja näytelevyllä 184 9,5 minuuttia. Levyn 183 jälkipaloaika oli 1,3 minuuttia ja levyllä 184 yli 2 minuuttia. Levyjen

lujuuden testauksessa tikkuprosentti oli hyvä, keskimäärin 80,50 % ja lujuus 2,22 N/mm².

Vanerihartsin 18 perusseos

Testilevyt 215 ja 216. Dynealla liimattujen testilevyjen tulokset eivät poikkea oleellisesti palonsuoja-aineilla liimoitettujen levyjen testaustuloksista. Levy 215 poksauteli, savusi ja 8,3 minuutin kohdalla syttyi isoon liekkiin. Näytelevy 216 paloi isolla liekillä ja näytelevystä valui nestettä palon aikana. Syttymisaika levyllä 215 oli 10 sekuntia ja levyllä 216 12 sekuntia. Levyn 215 taustan tummumiseen kului aikaa 8,5 min ja levyn 216 9,1 minuuttia. Läpipaloaika oli levyllä 215 9,4 minuuttia ja näytelevyllä 216 10,5 minuuttia. Levyn 215 jälkipaloaika oli yli 2 minuuttia ja näytelevy 216 sammui heti, kun liekkien vaikutus loppui.

Näytesarjan levyjen testaustulokset eivät merkittävästi poikenneet toisistaan. Saatujen tulosten perusteella on todettava, että palonestoaineiden lisäämisellä liimaseoksiin ei ole ollut vaikutusta vanerin palonkestävyyteen.

10. TULOSTEN TARKASTELU

On olemassa useita eri palonestoaineita, jotka toimivat ja vaikuttavat monella eri tavalla. Osa palonestoaineista toimii hyvin yksinkin, mutta osa toimii parhaiten yhdessä muiden aineiden kanssa. Tässä tutkimuksessa pyritään löytämään palonestoaineita, jotka toimisivat joko yksin tai yhdessä muiden palonestoaineiden kanssa vaneriliimaan sekoitettuna.

Palonestoaineita käyttämällä pyrittiin löytämään liimaseos, jolla saataisiin hidastettua syttymisaikaa sekä palamista, parannettua itsestään sammumista, vähennettyä palonaikaista kuumuuden tuottoa ja alennettua savun ja myrkyllisten kaasujen muodostumista. Palonestoaine ei saa heikentää vanerin lujuus- tai mekaanisia ominaisuuksia.

Aine 1

Ensimmäinen tutkituista aineista oli aine 1. Aine 1 on stabiili ja myrkytön aine.

Ensimmäisessä vaiheessa ainetta 1 kokeiltiin liimaseoksessa, missä oli myös impregnointihartsia seassa. Ainetta 1 sisältävällä liimaseoksella liimattujen levyjen pinnan syttymisaika oli keskimäärin puolet pidempi kuin referenssilevyillä. Taustan tummumiseen kului noin kaksi minuuttia pidempi aika kuin referenssilevyillä.

Vanerihartsin 17 Liimaseoksen, johon oli lisätty ainetta 1, läpipaloaika vaihteli 13,12 minuutista 14,17 minuuttiin. Vanerihartsin 17 seoksesta liimatun referenssilevyn läpipaloaika oli 11,57 ja 18,22 minuuttia. 18,22 minuuttia ei ole luotettava tulos, koska silmämääräisesti katsottuna liekki näytti hiipuvan, joten tulos ei ole vertailukelpoinen. Testilevyt, joissa oli ainetta 1, paloivat alkuun isolla liekillä, mutta palo heikkeni ja levyt paloivat loppuun hillityllä liekillä. Toisen testilevyn osalta palo jopa sammui hetkeksi 5 minuutin kohdalla, vaikka levyyn kohdistui liekki.

Vanerihartsin 16 liimaseoksen, johon oli lisätty ainetta 1, läpipaloaika vaihteli 12,52 minuutista 13,07 minuuttiin. Vanerihartsista 16 seoksesta liimatun referenssilevyn läpipaloaika oli 10,47 ja 12,53. Ensimmäisen testilevyn aikana levy sammui välillä, vaikka siihen kohdistui liekki koko ajan. Toinen testilevyistä paloi alkuun suurella liekillä, mutta liekki pieneni ja paloi loppuun hillityllä liekillä.

Seuraavassa vaiheessa liimoitettiin levyjä, joissa oli ainetta 1 ja ainetta 10. Aineen 1 ja aineen 10 lisäys liimaseoksiin ei merkittävästi parantanut palonkestävyysominaisuuksia. Tulokset olivat lähes samoja kuin referenssilevyjen. Ensin oli tarkoitus liimata vielä aineen 1, aineen 10 ja aineen 2 seos, mutta koska tikkuprosentti jäi alhaiseksi aineen 2 seoksessa, päädyttiin siihen, että enempää levyjä ei liimoiteta. Tähän päädyttiin, koska ei ole odotettavissa, että tikkuprosentti paranisi.

Aineen 1 osalta voi päätellä, että kun aine 1 imeytyy hyvin viilun sisään, aikaansaadaan syttymistä hidastavia ominaisuuksia. Liekin hiipuminen kertoo, että aine 1 hidastaa palamista. Liekit hiipuivat aina, kun liekki eteni liimasaumaan, mutta kiihtyi hetkellisesti, kun liimasauma petti. Tulokset eivät olleet kuitenkaan riittäviä ase-

tettuihin vaatimuksiin nähden. Aineen 10 ja aineen 1 seoksella ei ollut merkittävää vaikutusta palonkesto-ominaisuuksiin.

Jo ensimmäisessä polttokokeessa päädyttiin siihen, että jos liimaus ei ole täysin onnistunut ja näinollen lujuusominaisuudet ja tikkuprosentti eivät ole riittävän hyvät, myöskään palo-ominaisuudet eivät ole hyviä. Eli kun liimasauma aukeaa helposti, pääsee palo etenemään alempiin kerroksiin.

Koska lujuusominaisuudet eivät olleet toivottuja, lisää ei levyjä liimoitettu.

Aineet 2, 3 ja 4

Tässä tutkimuksessa tutkittiin palonestoaineiden 2 ja 3 käyttäytymistä eri liimaseoksissa.

Aineen 2, impregnointihartsin sekä vanerihartsin 17 seoksesta tehtyjen testilevyjen pinnan syttymisaika ei eronnut referenssilevyjen syttymisajasta. Koelevyjen taustan tummumiseen kulunut aika 10,2 ja 10,4 minuuttia, kun referenssilevyjen syttymisaika oli 9,2 ja 9,4 minuuttia ja impregnointihartsin ja vanerihartsista liimattujen levyjen 10,2 ja 10 minuuttia. Koelevyjen läpipaloajat olivat 13,04 ja 13,50 minuuttia, kun vertailukelpoisen referenssilevyn läpipaloaika oli 11,57 minuuttia. Impregnointihartsin ja vanerihartsista tehtyjen levyjen läpipaloaika oli 13,39 sekä 12,04 minuuttia. Jälkipaloaikaan aineella 2 ei ole ollut merkittävää vaikutusta, sillä koelevyllä ja perusseoksen vanerihartsista 17 referenssilevyillä oli sama jälkipaloaika. Testilevyjen palo keskittyi pienelle alueelle ja palo eteni hillityllä liekillä, osittain lähes hiiltymällä. Toinen levyistä sammui heti, kun liekkiä ei enää kohdistettu levyyn. Näistä tuloksista voi päätellä, että aineen 2 lisäämisellä on ollut vähäinen vaikutus palonkesto-ominaisuuksien paranemiseen. Verrattuna aiempiin tutkimuksiin voidaan päätellä, että tässäkin tutkimuksessa saatiin tuloksia, että aineella 2 käsitellyt levyt palavat hillitymmällä liekillä, minkä voi ajatella johtuvan osittain hiiltymisestä.

Aineen 2, impregnointihartsin sekä vanerihartsin 16 seoksesta tehtyjen testilevyjen pinnan syttymisaika oli referenssilevyillä 10 sekuntia, impregnointihartsin ja vane-

rihartsin seoksesta liimatuilla levyillä 10 ja 20 sekuntia, kun taas testilevyillä pinnan syttymisaika oli 20 ja 16 sekuntia, joten aineella 2 liimoitettujen levyjen syttymisaika oli ehkä hieman parempi kuin referenssilevyjen syttymisaika. Koelevyjen taustan tummumiseen kulunut aika oli 12 ja 10,2 minuuttia, kun referenssilevyjen syttymisaika oli 8,2 ja 8,4 minuuttia ja impregnointihartsin ja vanerihartsista liimattujen levyjen 9,45 ja 10 minuuttia. Koelevyjen läpipaloajat olivat 14,33 ja 13,19 minuuttia, kun referenssilevyn läpipaloaika oli 12,53 ja 10,47 minuuttia. Impregnointihartsin ja vanerihartsista tehtyjen levyjen läpipaloaika oli 12,38 sekä 12,54 minuuttia. Palo eteni levyissä hillityllä liekillä ja palo sammui heti, kun liekki ei enää kohdistunut levyyn. Näistä tuloksista voi päätellä, että aineen 2 lisäämisellä on ollut vähäinen vaikutusta palonkesto-ominaisuuksien paranemiseen. Aine 2 on hillinnyt palon etenemistä rakenteessa muodostamalla hiiltyneen kerroksen tuotteen pintaan.

Seuraavassa vaiheessa aineesta 2 ja aineesta 10 tehtiin liimaseokset sekä vanerihartseihin 16, 17 ja 18 perustuvien liimaseosten kanssa. Impregnointihartsi jätettiin kuitenkin pois, koska ensimmäisen polttokokeen jälkeen todettiin, että jos liimaus ei ole kunnolla onnistunut ja puustamurtumaprosentti ei ole hyvä, niin liimasaumat aukeavat helpommin ja palo pääsee sitä kautta etenemään.

Vanerihartsin 17, aineen 1 ja aineen 10 seoksen pinnan syttymisaika parani lähes puolella referenssilevyyn verrattuna, mutta muilla vanerihartseilla ei havaittu eroa pinnan syttymisajan suhteen referenssilevyihin nähden. Taustan tumumisajat ja läpipaloajat olivat myös samaa luokkaa kuin vanerihartsiin 16, aineeseen 10 ja aineeseen 2 pohjautuvalla seoksella. Polttokokeita tehtiin neljälle levyille, joista kaksi levyistä oli liimattu isompi-rakeisella aineella 3. Vanerihartsiin 16 perustuvien levyjen polttokoe jouduttiin keskeyttämään sankan savun muodostuksen vuoksi.

Yhteenvetona aineen 2 ja 3 käytöstä liimaseoksissa voisi sanoa, että parhaat tulokset saavutettiin seoksilla, joissa oli impregnointihartsia ja ainetta 2 tai 3. Aineen 10 ja aineiden 2 tai 3 seoksilla ei saavutettu mainittavaa parannusta palonkestävyyteen.

Saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta, että aineilla 2 tai 3 ei saavutettu toivottuja palonkestävyysominaisuuksia. Kuten aiemmissa tutkimuksissa myös tässä oli kuitenkin nähtävissä, että levyt paloivat osittain hiiltymällä tai pienellä liekillä, joten aineen 2 tai 3 lisäämisellä on kuitenkin paloa hillitsevä vaikutus.

Aine 4

Ainetta 4 käytettiin koeliimauksissa, joissa oli seoksena joko vanerihartsin 17 tai 16 sekä impregnointihartsin 18. Aineen 4 testaustulokset eivät merkittävästi poikenneet referenssilevyjen tuloksista, joten sen osalta tutkimuksia ei jatkettu. Referenssilevyjen tulokset olivat jopa parempia kuin ainetta 4 sisältävät levyt. Levyjen jälkipaloaika oli yli 2 minuuttia, vanerihartsilla 17 liimoitetut levyt paloivat tasaisella liekillä koko palon ja vanerihartsilla 16 alkuun reilulla liekillä ja sen jälkeen tasaisella liekillä. Lähdeaineistossa viitattua hiiltymistä ei ollut havaittavissa.

Aine 10

Vanerihartsin 17, impregnointihartsin 19 ja aineen 10 seoksella saavutettiin kuitenkin kohtalaisen hyvät tulokset palotesteissä. Pinnan syttymisaika oli keskimäärin 25 sekuntia ja se oli selvästi pidempi kuin referenssilevyillä. Levyjen läpipaloaika oli 13,29 ja 17,02 minuuttia, joten myös läpipaloaika oli pidempi kuin referenssilevyillä. Koelevyt paloivat pienellä ja hillityllä liekillä ja palo sammui heti, kun liekin kohdistus levyn pintaan loppui. Aineen 10 lisäyksellä oli siis vaikutus palonkestävyyteen. Aiempiin tutkimuksiin viitaten, nyt saadut tulokset olivat kohtalaisen hyviä.

Seuraavassa vaiheessa ainetta 10 testattiin yhdessä aineen 2 kanssa ilman impregnointihartsia. Ja kuten jo aiemmin todettu aineen 10 ja aineen 2 yhdistelmällä ei saavutettu parannuksia palonkestävyyteen. Impregnointihartsin vaikutuksesta aine 10 on imeytynyt puuhun, jolloin palonkestävyys on parantunut.

Aine 12

Aine 12 sekoitettiin vanerihartsien 17 sekä 16 ja impregnointihartsin 19 sekaan. Palotestien tulokset molemmilla liimaseoksilla olivat testisarjojen heikoimpia. Palotestissä oli nähtävissä, että saumat pullistuivat irti ja palo pääsi nopeasti eteneään vanerin rakenteessa. Ainetta 12 sisältävällä liimaseoksella liimattujen vanerien puustamurtumaprosentti oli alhainen ja se näkyy myös palotestien tuloksissa.

11. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa pyrittiin löytämään palonestoaine tai aineita, joiden avulla saataisiin vanerin palonkestävyyttä parannettua. Työn teettäjä oli asettanut tavoitteeksi, että levyjen läpipaloajan on kaksinkertaistuttava.

Testeissä kokeiltiin useita erilaisia palonestoaineita, mutta tavoitteita ei saavutettu. Parhaimmat tulokset saavutettiin liimaseoksella, johon oli sekoitettu impregnointihartsia ja palonestoainetta. Eli vanerihartsia 17, impregnointihartsia 19 sekä aine 10. Kokeissa kävi ilmi, että onnistunut liimaus on tärkeä edellytys palonkestävyyden parantumiselle. Impregnointihartsin käytön tarkoituksena oli saada palonestoaineet imeytymään puun sisään.

Impregnointihartsin avulla saatiin palonestoaineiden tunkeutumista puuhun parannettua, mutta tikkuprosentti jäi alhaiseksi. Vaikka lujuusarvot olivat hyviä, liimasauman puustamurtumisprosentti jäi alle tavoitearvon 80 %. Ilmeisesti tämän vuoksi liimasaumat aukeilivat helposti palon aikana ja palo pääsi etenemään vanerin rakenteessa.

Ilman impregnointihartsia liimattujen levyjen lujuus oli heikompi kuin levyjen, jotka oli liimattu seoksella, mihin oli lisätty impregnointihartsia. Ilman impregnointihartsia liimattujen levyjen puustamurtumisprosentit olivat kuitenkin parempia. Vaikka liimaustulokset olivat parempia, näillä levyillä ei ollut nähtävissä merkittävää muutosta levyjen paloneston paranemiseen. Palonestoaine ei imeytynyt puuhun ja koska sitä oli vain liimasaumassa, ei se muodostanut riittävää palonsuojausta.

12. YHTEENVETO

Työssä tutkittiin eri vaikutusmekanismeilla toimivien palonestoaineiden soveltuvuutta fenoliformaldehydipohjaisiin hartsiseoksiin. Tavoitteena oli löytää seos, joka toimisi hyvin koivuvanerin liimauksessa ja jonka avulla palo-ominaisuuksia saataisiin parannettua. Hartsiseokset olivat tyypillisiä vaneriteollisuuden käyttämiä lii-

maseoksia. Osaan seoksista lisättiin myös impregnointihartsia, jotta palonestoaineilla käsitelty liimaseos imeytyisi paremmin puun sisään ja näinollen suojaisi puuta paremmin palon vaikutukselta. Tutkimuksessa vertailtiin eri vaikutusmekanismeihin pohjautuvia palonestoaineita. Työssä tutkittiin fosforipohjaisia palonestoaineita, silikaatteja sekä erilaisia nanomateriaaleja.

Työssä tutkittiin liimaseosten imeytyvyyttä, viskositeetin kehittymistä sekä liimautuvuutta. Jokaisesta vaatimukset täyttävästä liimaseoksesta tehtiin vanerilevyjä. Levyistä tutkittiin lujuusominaisuudet sekä palonkestävyys. Lujuusominaisuuksien tavoitteeksi oli asetettu liimasauman leikkauslujuuden osalta yli 2 N/mm² ja tikkuprosentin kuivana tarkastetuista koekappaleista 80 %.

Työn teettjä oli asettanut palo-ominaisuuksille tavoitteeksi sekä pinnan syttymisaian että levyn läpipaloajan kaksinkertaistumisen verrattuna referenssilevyihin. Lisäksi levyn tulee sammua heti, kun siihen ei kohdistu ulkopuolista liekkiä. Työssä ei saavutettu tavoitteeksi asetettua palo-ominaisuuksien parantumista. Joidenkin liimaseosten osalta kuitenkin saavutettiin parannusta palonkesto-ominaisuuksiin ja näiden seosten osalta tutkimuksia kannattaa jatkaa. Tutkimuksessa kävi hyvin selvästi ilmi, että levyjen liimauksen on onnistuttava ja lujuustulosten on oltava hyviä, jotta palonkestävyys paranee.

13. LÄHDELUETTELO

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. Ympärisöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Annettu Helsingissä 6 päivänä huhtikuuta 2011. 43 s.

Hakkarainen, T. & Mikkola, E. 2005. Palosuojattujen puutuotteiden palokäyttäytymisen arviointi. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 1-4 s.

Hapuarachci T.D., Bilotti E, Reynolds C.T and Peijs T. 2010. The Synergistic performance of multiwalled carbon nanotubes and sepiolite nanoclays as flame retardants for unsaturated polyester. DOI: 10.1002/fam.1044. Fire and Materials; Fire Mater 2011. Published online 2 June 2010 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). 57-169 s.

Hirvonen, T. 2003. Fenoliformaldehydiliiman kustannusten minimointi, Insinööriyö, Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu, Puutekniikan koulutusohjelma. s.37

Horttanainen, M. 1999. Syttyminen ja palamisen eteneminen partikkelikerroksessa, Lisensiaatintutkimus, Lappeenrannan teknillinen Korkeakoulu, Energiatekniikan osasto, Lappeenranta. 120 s.

Karvo, A., Kanala-Salminen, H. & Koponen, H. 2009 Nanomateriaalinen hyödyntämismahdollisuudet pakkausteollisuudessa. Teknologiakeskus Ketek Oy. 92 s.

Kilpeläinen, H. 1989. Puun liimaus: Liimauksen teoria, liimat ja liimojen tutkiminen. VTT tiedotteita 1001. Espoo. 133 s.

Koponen, H. 1993. Puulevyjen valmistus. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laitos. TKK Offset.137s.

Koponen, H. 1974. Puun Teollinen Liimaus. Kirjayhtymä. Helsinki. 201 s.

Koponen, H. 2002. Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. Edita Oy. Helsinki 201s.

Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Otatieto. Karisto Oy. Hämeenlinna. 142s.

Mannila, J. 2002. Kylmälaitteiden lämmöneristemateriaalien palo-ominaisuudet. Turvatekniikan Keskus. TUKES-Julkaisu 1/2002. Helsinki. s. 31-35

Mekaaninen Metsäteollisuus 1. 1985. Vaneriteollisuus. Ammattikasvatushallitus. Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys r.y. Valtion painatuskeskus. 127 s.

Mustonen, M. 2012. Palosuoja-aineiden ominaisuuksien vertailu. Opinnäytetyö. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Puutekniikan koulutusohjelma. s. 15-17

Myllylä, P. 2011. Uudet palomääräykset laajentavat puun käyttömahdollisuuksia sisä- ja ulkopinnassa. Puupäivä 27.10.2011, Helsinki, Suomi. 27 s.

Pries, M. & Mai, C. 2013. Fire Resistance of wood treated with cationic silica sol, *Eur J. Wood Prod.* (2013) 71:237-244, DOI 10.1007/s00107-013-0674-7. Received 14 August 2012 / Published online: 9 February 2013, © The Author(s) 2013. This Article is Published with open access at Springerlink.com. 237-244 s.

Rashmi R. Devi, Krishna Gogoi, Bolin K. Konwar, Tarun K. Maji. 2012. Synergistic effect of nano TiO₂ and nanoclay on mechanical, flame retardancy, UV stability, and antibacterial properties of wood polymer composites. DOI 10.1007/s00289-013-0928-x. *Polym.Bull.* (2013). Published online: 7 February 2013, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. 1411 s.

Rosenberg, C. & Priha, E. 2005. Kemikaalit ja työ, Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä, 4.11 Hengitystieherkistäjät, 4.11.1 Formaldehydi. Työterveyslaitos.

SFS-EN 314-1.1993. Plywood. Bonding quality. Part 1: Test methods. Vaneri. Liimauslujuus. Osa 1: Testausmenetelmät. 1+11 s.

SFS-EN 314-2.1993. Plywood. Bonding quality. Part 2: Requirements. Vaneri. Liimauslujuus. Osa 2: Vaatimukset. 1+6 s.

Sarvaranta, L. 1996. Fire retardant wood, polymer and textile materials, VTT tiedotteita 1730. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT). Espoo. 38 s.

Suihkonen, R., Nevalainen, K. & Vuorinen J. 2009. The Effect of Ammonium Polyphosphate and Nanoclay on the Rheological, Thermal and Flame Retardant Properties of Epoxy. Annual transactions of the Nordic rheology society, VOL17. Tampere University of Technology. Tampere. s. 263-265

Tikka, T. 2013. Uuden laboratoriomenetelmän kehittäminen ja soveltaminen titaanidioksidipigmentin märkäjauhatukseen. Satakunnan Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. s. 9

Vanerikäsi kirja. 2005. Metsäteollisuus ry. Kirjapaino Markprint Oy. Lahti, 2005. 64s.

Vuorinen, J., Nevalainen, K. & Eteläaho P. 2007. Akateeminen johdanto; asiantuntijapuheenvuoro Muovit ja Nano. Nanoteknologia nyt ja tulevaisuudessa, 19.12.2007. TTY Muovi ja elastomeeritekniikka. 18-21 s.

Yen, Ynh-Yue, Wang Hsin-Ta, Guo Wen-Jen. 2012. Synergistic flame retardant effect of metal hydroxide and nanoclay in Eva Composites, Polymer degradation and stability. Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, journal homepage: www.elsevier.com/locate/polydegstab. s. 863-869

INTERNET LÄHTEET

European Chemical Industry Council. 2006. How do flame retardants work [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.7.2013] Saatavissa: http://www.cefic-efra.com/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=217&lang=en

Culminatum Innovation. 2009. Nanoteknologiaa asumiseen ja rakentamiseen. [verkkodokumentti]. [Viitattu 11.8.2013].

Saatavissa: http://www.nanobusiness.fi/uploads/nano_asuminen_web.pdf

Kemian työsuojeluneuvottelukunta, http-arvojen perustelumuiatio. Päivitetty 3.9.2009. Fenoli 7.12.2001. [verkkodokumentti]. [Viitattu 19.9.2013)

Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/upload/perustelumuiiot.pdf>

Työterveyslaitos. 2012. OVA-ohjeet , Fenoli ja Formaldehydi. [verkkodokumentti]. [Viitattu 19.9.2013)

Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/index.html>;

Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/varoitusmerk.html>;

Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/fenoli.html>;

Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/formalde.html>

HAASTATTELUT

Havuaho, Seppo. 2013. Asiantuntijahaastattelu. Dynea Chemicals Oy:n teknisen sovellutuslaboratorion asiantuntija. Useita haastatteluita kesällä 2013. Hamina.

LIITTEET

1. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 15, 19.6.2013
2. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 6, 20.6.2013
3. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 2, 20.6.2013
4. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 9, 20.6.2013
5. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 4, 24.6.2014
6. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 11, 25.6.2013
7. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 5, 25.6.2013
8. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 7, 26.6.2013
9. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 6 / 10.7.2013
10. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 13 / 10.7.2013
11. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 1
12. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 2
13. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 3
14. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 4
15. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 5
16. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 6
17. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 7
18. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 10
19. Koivuvanerin liimaus, liimaseos 11
20. Vanerilevyjen lujuuden testaustuloksia
21. Fenoli
22. Formaldehydi
23. Esipuristustartunnat eri liimaseoksille

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 19.6.2013

Liimaseos 15		
Vaneriharts 16	240	3600
Imp. Harts 19 20 %	60	900
Kovete	51,6	774
Aine 1	8,4	126
Vesi	60	835
Yht.	420	6235

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	22,782	25,841	31,081	34,711	39,594
	23,092	26,847	31,952	35,659	41,344

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa			33,96		
			34,35		

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
29	5	5	
30	5	5	
31	5	5	
32	5	5	
33	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur. Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	29	9 10:12	10:23	10:27	8	20 10:58	iso
	30	9 10:12	10:23	10:27	8	20 11:09	iso
	31	9 10:12	10:23	10:27	8	20 11:18	iso
	32	9 10:27	10:38	10:42	8	20 11:27	iso
	33	9 10:27	10:38	10:42	8	20 11:34	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
29	1,81	0,51	54	57,00	2	0,63	25	28
30	2,25	0,64	33	27,00	2,43	0,99	58	67
31	2,33	0,73	67	59,00	2,32	0,69	64	85

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,19
Vanerihartsin 16	Hajonta	0,70
Aine 1	Tikku märkä k-a	50,17
	Hajonta	24,17
	Tikku kuivattu k-a	53,83

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 20.6.2013

Liimaseos 6

Vaneriharts 17	320	3520
Imp. Harts 19 20 %	80	880
Kovete	68,6	754,6
Aine 1	11,4	125,4
Vesi	80	860
Yht.	560	6140

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	22,903	27,22	33,274	34,832	36,842
	22,656	27,902	32,9	35,475	37,849

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa			26,84		
			27,22		

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
44	5	5	
45			
46			
47	5	5	
48	4 / 3	4 / 3	

Levyjen 45 ja 44 välistä puuttui kuiva viilu

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	44	9 10:47	10:56	11:02		8	20 11:30	iso
	45	9 10:47	10:56	11:02		8	20 11:39	iso
	49	9 10:47	10:56	11:02		8	20 11:50	iso
	47	9 11:00	11:08	11:15		8	20 12:10	iso
	48	9 10:27	10:38	10:42		8	20 11:20	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
44	2,98	0,63	8	12,00	1,85	0,58	22	21
45	2,18	0,59	67	69,00	2,2	0,93	52	48,89

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,30
Vanerihartsin 17	Hajonta	0,455
Aine 1	Tikku märkä k-a	37,25
	Hajonta	24,5
	Tikku kuivattu k-a	37,72

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 20.6.2013

Liimaseos 2

Vaneriharts 17	240	3360
Imp.harts 19 20 %	60	840
Kovete	0	0
Aine 2	150	2100
Vesi	?	0
Yht.	450	6300

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	38,332	39,152	39,71	39,905	41,289
	38,906	39,84	38,335	41,655	42,088
Tasalaatuista				41,961	
Pieniä hippuja seassa, pientä saostumaa pohjalla					

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa			32,96		
			33,53		

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm	Huom. Liimanlevitystä vaikeaa säätää
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus	2 - 8 %	
Viilun lämpö	< 50oC	
Liiman levitys	160 g / m ²	

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
34	5	5	
35	5	5	
36	5	5	
37	5	5	
38	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	34	9 10:58	11:10	11:13		8	20 11:41	iso
	35	9 10:58	11:10	11:13		8	20 11:48	iso
	36	9 10:58	11:10	11:13		8	20 11:57	iso
	37	9 11:10	11:20	11:25		8	20 12:06	iso
	38	9 11:10	11:20	11:25		8	20 12:15	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
34	1,94	0,67	9	14,00	1,67	0,43	10	10
35	2,14	0,77	24	26,00	2,28	0,51	4	4
36	2,16	0,63	40	43,33	2,23	0,75	23	25

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,07
	Hajonta	0,63
Vanerihartsin 17	Tikku märkä k-a	18,33
Aine 2	Hajonta	17,83
	Tikku kuivattu k-a	20,39

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 20.6.2013

Liimaseos 9

Vaneriharts 16	240	3600
Imp.harts 19 20 %	60	900
Kovete	0	0
Aine 2	100	1500
Vesi	?	0
Yht.	400	6000

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	30,033	30,466	29,907	27,724	
	30,845	31,034	31,526		
Tasalaatuista			31,447		
	Pieniä hippuja seassa, pientä saostumaa pohjalla				

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa					

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
39	5	5	
40	5	5	
41	5	5	
42	5	5	
43	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	39	9 12:37	12:51	12:52		8	20 13:20	iso
	40	9 12:37	12:51	12:52		8	20 13:29	iso
	41	9 12:37	12:51	12:52		8	20 13:40	iso
	42	9 12:37	12:51	12:52		8	20 13:49	iso
	43	9 12:37	12:51	12:52		8	20 13:58	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
39	2,40	0,57	47	42,22	1,98	0,72	39	53
40	2,28	0,63	57	58,89	2,44	0,63	44	37
41	2,73	0,95	37	53,00	2,74	0,85	9	11

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,43
	Hajonta	0,73
Vaneriharts 16	Tikku märkä k-a	38,83
Aine 2	Hajonta	25,83
	Tikku kuivattu k-a	42,52

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 24.6.2013

Liimaseos 4

Vaneriharts 17	320	3520
Imp.harts 19 20 %	80	880
Kovete	52,5	577,5
Aine 4	27,5	302,5
Vesi	70	770
Yht.	550	6050

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	29,406	37,583	36,965	35,15	44,467
	29,362	35,963	37,653	36,891	43,712
				36,897	

Kuohua, muutoin tasalaatuista

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa			35,47		
			36,238		

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
49	5	5	
50	5	5	
51	4/1	4/1	
52	5	5	
53	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	49	9 12:44	12:56	12:59		8	20 13:27	iso
	50	9 12:44	12:56	12:59		8	20 13:36	iso
	51	9 12:44	12:56	12:59		8	20 13:35	iso
	52	9 12:58	13:08	13:13		8	20 13:44	iso
	53	9 12:58	13:08	13:13		8	20 13:53	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu			Märkä	Kuivattu
49	2,32	0,50	7	7,00	1,70	0,59	23	30
50	2,26	0,50	6	6,67	2,02	0,71	57	68
51	2,41	0,49	54	58,00	2,09	0,48	42	45

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,13
	Hajonta	0,55
Vanerihartsin 17	Tikku märkä k-a	31,50
Aine 4	Hajonta	24,17
	Tikku kuivattu k-a	35,78

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 25.6.2013

Liimaseos 11		
Vaneriharts 16	240	3600
Imp.harts 19 20 %	60	900
Kovete	39	585
Aine 4	21	315
Vesi	60	900
Yht.	420	6300

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	22,349	28,218	30,023	29,407	28,84
	22,405	29,28	31,082	30,398	29,973

Kuohua pinnassa, muutoin tasalaatuista

2 h jälkeen n. 1 cm kuohua pinnassa

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa			31,96		
			33,21		

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm	Huom. Liimanlevitystä vaikeaa säätää
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus	2 - 8 %	
Viilun lämpö	< 50oC	
Liiman levitys	160 g / m ²	

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
54	5	5	
55	5	5	
56	5	5	
57	5	5	
58	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	54	9 10:32	10:44	10:47		8	20 11:15	iso
	55	9 10:32	10:44	10:47		8	20 11:25	iso
	56	9 10:32	10:44	10:47		8	20 11:29	iso
	57	9 10:46	10:57	11:01		8	20 11:37	iso
	58	9 10:27	10:38	10:42		8	20 11:46	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
54	2,32	0,57	43	43,00	2,22	0,79	45	50
55	2,69	0,61	7	10,00	2,14	0,69	16	18
56	2,18	0,54	31	33,00	2,31	0,67	59	64

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,31
	Hajonta	0,65
Vanerihartsin 16	Tikku märkä k-a	33,50
Aine 4	Hajonta	24,5
	Tikku kuivattu k-a	36,33

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 25.6.2013

Liimaseos 5		
Vaneriharts 17	320	2240
Imp.harts 19 20 %	80	560
Kovete	63,2	442,4
Aine 9	16,8	117,6
Vesi	80	560
Yht.	560	3920

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	36,214	42,461	35,272	47,495	29,652
	36,53	45,4	34,095	49,903	30,777

Viskoa hankala mitata vaahdon takia --> epätasaista
Paljon vaahtoa pinnassa. 2 h jälkeen 1,5 cm.

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa					

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
59	5	5	
60	5	5	
61	5	5	
62	5	5	
63	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	59	9 12:40	12:55	12:55		8	20 13:23	iso
	60	9 12:40	12:55	12:55		8	20 13:32	iso
	61	9 12:40	12:55	12:55		8	20 13:41	iso
	62	9 12:40	12:55	12:55		8	20 13:50	iso
	63	9 12:40	12:55	12:55		8	20 13:59	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku		Keski	Tikku		Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Hajonta	Märkä		
59	2,01	0,37	0	0,00	1,80	0,33	5	9	
60	2,17	0,72	1	2,22	1,99	0,61	13	14	
61	2,25	0,75	5	10,00	2,13	0,82	27	30	

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,06
	Hajonta	0,60
Vanerihartsi 17	Tikku märkä k-a	8,50
Aine 9	Hajonta	12,00
	Tikku kuivattu k-a	10,87

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 26.6.2013

Liimaseos 7		
Vaneriharts 17	320	2880
Imp.harts 19 20 %	80	720
Kovete	60	540
Aine 10	57	513
Vesi	64	576
Yht.	581	5229

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	18,775	21,219	22,522	24,961	
	19,211	21,009	22,409	24,785	

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa					

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
64	5	5	
65	5	4/4	
66	5	5	
67	5	5	
68	5	5	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur. aika	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	64	9 12:13	12:20	12:28	8	20	12:57	iso
	65	9 12:13	12:20	12:28	8	20	13:06	iso
	66	9 12:13	12:20	12:28	8	20	13:16	iso
	67	9 12:24	12:34	12:39	8	20	13:25	iso
	68	9 12:24	12:34	12:39	8	20	13:35	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
64	2,33	0,58	17	21,00	2,36	0,58	75	86
65	3,06	0,93	32	37,00	2,36	0,84	57	71
66	2,74	0,98	76	94,44	2,83	0,74	60	67,5

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,61
	Hajonta	0,78
Vanerihartsi 17	Tikku märkä k-a	52,83
Aine 10	Hajonta	23,17
	Tikku kuivattu k-a	62,82

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 10.7.2013

Liimaseos 6

Vaneriharts 17	320	2880
Imp.harts 19 20 %	80	720
Kovete	55	495
Aine 12	55	495
Vesi	45	405
Yht.	555	4995

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	32,959	30,215	32,656	34,651	41,774
	33,65	31,081	33,277	34,343	42,285

Vähän vaahtoa sekoituksen jälkeen

24 h jälkeen 2 faasia, tasainen seos muuten

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa					

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
69	3/50	2	
70	2	2	
71	2	2	
72	3/30	2	
73	2	2	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur. aika	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	69	9 10:17	10:27	10:32	8	20	11:00	iso
	70	9 10:17	10:27	10:32	8	20	11:10	iso
	71	9 10:17	10:27	10:32	8	20	11:20	iso
	72	9 10:27	10:33	10:42	8	20	11:30	iso
	73	9 10:27	10:33	10:42	8	20	11:40	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
69	2,04	0,36	0	0,00	1,95	0,45	0	1
70	2,26	0,46	5	4,00	2,00	0,52	25	27
71	2,38	0,56	29	30,00	1,83	0,28	2	2

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,08
	Hajonta	0,44
Vanerihartsin 17	Tikku märkä k-a	10,17
Aine 12	Hajonta	9,83
	Tikku kuivattu k-a	10,67

KOIVUVANERIN LIIMAUS

PVM 10.7.2013

Liimaseos 13		
Vaneriharts 16	240	2880
Imp.harts 19 20 %	60	720
Kovete	40	480
Aine 12	43	516
Vesi	44	528
Yht.	427	5124

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Koesekoituksissa	22,96	23,093	24,472	26,963	32,965
	23,091	23,403	24,963	27,093	33,968
			31,447		

24 h jälkeen 2 faasia + pohjalla sakkaa

Viskositeetti	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
liimauksessa					

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus	2 - 8 %
Viilun lämpö	< 50oC
Liiman levitys	160 g / m ²

Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika	20 min
Kuumapuristus	Lämpö 128oC (max. 132oC)
	Paine 1,8 Mpa
Aika:	9 min (3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta

Levy	Heti	Ennen pur.	
74	3/40	2	
75	2	1	
76	2	2	
77	2	1	
78	2	1	

Liimaolosuhteet

Levyt	Viilut	Liimaus Alkoi	Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
	74	9 12:11	12:23	12:26		8	20 12:54	iso
	75	9 12:11	12:23	12:26		8	20 13:03	iso
	76	9 12:11	12:23	12:26		8	20 13:12	iso
	77	9 12:23	12:31	12:38		8	20 13:20	iso
	78	9 12:23	12:31	12:38		8	20 13:29	iso

Levy nro	LUJUUS KA		Tikku	Tikku	Keski	Hajonta	Tikku	Tikku
	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu		Märkä	Kuivattu	
74	2,24	0,39	0	0,00	1,65	0,33	2	2
75	2,01	0,23	4	2,00	2,15	0,56	24	27
76	1,98	0,31	4	2,22	2,22	0,41	1	1

Liiman levitys 160 g / m ²	Lujuus k-a	2,04
	Hajonta	0,37
Vaneriharts 16	Tikku märkä k-a	5,83
Aine 12	Hajonta	6,83
	Tikku kuivattu k-a	5,70

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 1		0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Vanerihartsit 17	300	25,46	23,219	23,831	24,15	50,595
Aine 2	170	25,345	23,654	24,025	25,272	53,213
Aine 10	51					
Vesi	0					

Liimaseos 1	300	3300
Vanerihartsit 17	185	2035
Aine 10	51	561
Vesi	0	0
Yht.	536	5896

Esipuristustartunta		
Levy	Heti	Ennen pur.
150	5	5
151	5	5
152	5	5
153	5	5
154	5	5
155	5	5

visko 2 h
+ 40 g vesi
36,6
38,02
32,77
32,72

LEVY 1

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus 12 mm
 Viilun paksuus 1,5 mm
 Viilun kosteus: 2 - 8 %
 Viilun lämpö: < 50°C
 Liiman levitys: 160 g/m²
 Ladonta-aika: max 10 min
 Avoin aika: 2 - 3 min max 5 min
 Espuristus: 8 min
 Paine 0,8 Mpa
 Rata-aika: 20 min
 Kuumapuristus: Lämpö 128°C (max. 132°C)
 Paine 1,8 MPa
 Aika: 9 min
 (3 min + 12 mm x 30 s)

Liimaolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Espur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
150	9	10,58	11,06	15	8	20	11,41	
151	9	10,58	11,06	15	8	20	11,50	
152	9	10,58	11,06	15	8	20	11,59	
153	9	11,07	11,15	15	8	20	12,08	
154	9	11,07	11,15	15	8	20	12,17	
155	9	11,07	11,15	15	8	20	12,26	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 2	(g)	(g)
Vanerihartsit 16	300	3300
Aine 2	165	1815
Aine 10	45	495
Vesi	0	0

Viskositeetin mittaus

0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
22,278	23,215	23,524	23,586	61,088
23,343	23,348	23,526	23,712	61,778

Levasil määrä 9,1 %

Espuristustartunta		
Levy	Heti	Ennen pur.
174	5	5
175	5	5
176	5	5
177	5	5
178	5	5
179	5	5

LIIMAUSLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus:	2 - 8 %
Viilun lämpö:	< 50°C
Liiman levitys:	160 g/m ²
Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Espuristus:	8 min
	Paine 0,8 Mpa
	20 min
Rata-aika:	Lämpö 128°C (max. 132°C)
Kuumapuristus:	Paine 1,8 MPa
	9 min
Aika:	(3 min + 12 mm x 30 s)

Liimaolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Espur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
174	9	11,05	11,13	15	11,20	20	11,48	
175	9	11,05	11,13	15	11,20	20	11,57	
176	9	11,05	11,13	15	11,20	20	12,06	
177	9	11,15	11,20	15	11,30	20	12,15	
178	9	11,15	11,20	15	11,30	20	12,25	
179	9	11,15	11,20	15	11,30	20	12,34	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

25.syys

Liimaseos 3	300	3900	Liimaseos 3	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h	
Vanerihartsi 18	135	1755	Hartsi 18	300	23,781	21,46	23,904	23,343	46,271
Aine 2	47	611	Aine 2	120	24,157	21,908	23,343	23,654	48,653
Aine 10	0	0	Aine 10	47					
Vesi	482	6266							
Yht.									

Espuristustartunta		
Levy	Heti	Ennen pur.
156	5	5
157	5	5
158	5	5
159	5	5
160	5	5
161	5	5

visko 2h
31,654
33,036

LEVY 1

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

- Levyn paksuus 12 mm
- Viilun paksuus 1,5 mm
- Viilun kosteus: 2 - 8 %
- Viilun lämpö: < 50°C
- Liiman levitys: 160 g/m²
- Ladonta-aika: max 10 min
- Avoin aika: 2 - 3 min max 5 min
- Espuristus: 8 min
- Paine 0,8 Mpa
- Rata-aika: 20 min
- Kuumapuristus: Lämpö 128°C (max. 132°C)
- Paine 1,8 MPa
- Aika: 9 min
- (3 min + 12 mm x 30 s)

Liimaolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Espur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
156	9	12,35	12,43	15	8	20	13,18	
157	9	12,35	12,43	15	8	20	13,18	
158	9	12,35	12,43	15	8	20	13,18	
159	9	12,44	12,55	15	8	20	13,18	
160	9	12,44	12,55	15	8	20	13,18	
161	9	12,44	12,55	15	8	20	13,18	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

	Liimaseos 4	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Hartsit 17	300	23,651	35,968	38,095	35,894	99,468
Kovete	52	24,976	35,153	37,906	35,896	104,27
Aine 10	47					
Aine 1	9,5					
Vesi	60					

Liimaseos 4	3600
Vanerihartsit 17	300
Kovete	52
Aine 10	47
Aine 1	9,5
Vesi	60

Levy	Heti	Ennen pur.
162	5	5
163	5	5
164	5	5
165	5	5
166	5	5
167	5	5

5622

visko 2 h
33,80
34,10

LEVY 1

LIIMAUOSLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus 12 mm
 Viilun paksuus 1,5 mm
 Viilun kosteus: 2 - 8 %
 Viilun lämpö: < 50°C

Liiman levitys: 160 g/m²

Ladonta-aika: max 10 min

Avoin aika: 2 - 3 min max 5 min

Esipuristus: 8 min

Paine 0,8 Mpa

Rata-aika: 20 min

Kuumapuristus: Lämpö 128°C (max. 132°C)

Paine 1,8 Mpa

Aika: 9 min

(3 min + 12 mm x 30 s)

Liimausolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Esipur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
162	9	10,23	10,30	15	8	20	11,06	
163	9	10,23	10,30	15	8	20	11,15	
164	9	10,23	10,30	15	8	20	11,25	
165	9	10,32	10,40	15	8	20	11,34	
166	9	10,32	10,40	15	8	20	11,43	
167	9	10,32	10,40	15	8	20	11,53	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 5	300	3300
Vanerihartsi 18	75	825
Kovete	52	572
Aine 10	10,5	115,5
Vesi	80	880
		5693

Liimaseos 5	300	27,153	34,063	23,276	26,223	61,974
Vanerihartsi 18	75	27,585	34,143	23,963	25,891	61,843
Aine 10	52					
Aine 1	10,5					
Vesi	80					

0 h 1 h 2 h 4 h 24 h

LEVY 1

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus 12 mm
 Viilun paksuus 1,5 mm
 Viilun kosteus: 2 - 8 %
 Viilun lämpö: < 50°C

Liiman levitys: 160 g/m²

Ladonta-aika: max 10 min

Avoin aika: 2 - 3 min max 5 min

Esipuristus: 8 min

Paine 0,8 Mpa

Rata-aika: 20 min

Kuumapuristus: Lämpö 128°C (max. 132°C)

Paine 1,8 MPa

Aika: 9 min

(3 min + 12 mm x 30 s)

Esipuristustartunta		Liimausviskositeetti	
Levy	Heti	Ennen pur.	visko 2 h
168	5	5	45,21
169	5	5	46,1
170	5	5	+ 80 g vesi
171	5	5	
172	5	5	
173	5	5	

Liimausviskositeetti

visko 2 h

45,21

46,1

+ 80 g vesi

34,9

35,22

Liimausolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Esipur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
168	9	12,19	12,27	15	8	20	13,02	
169	9	12,19	12,27	15	8	20	13,11	
170	9	12,19	12,27	15	8	20	13,20	
171	9	12,28	12,38	15	8	20	13,30	
172	9	12,28	12,38	15	8	20	13,39	
173	9	12,28	12,38	15	8	20	13,48	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 6	300	0 h	1 h	2 h	4 h	24 h
Vanerihartsit 16	3600	20,835	28,972	24,529	23,903	39,46
Kovete	624	21,272	27,966	24,479	22,965	40,285
Aine 10	52					
Aine 1	47					
Vesi	114					
	480					

Liimaseos 6	300	3600
Vanerihartsit 16	52	624
Kovete	47	564
Aine 10	9,5	114
Aine 1	60	480
Vesi		5382

Esipuristustartunta		
Levy	Heti	Ennen pur.
180	5	5
181	5	5
182	5	5
183	5	5
184	5	5
185	5	5

Alkuperäiseen reseptiin verrattuna
40 g vähemmän vettä

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus	12 mm	
Viilun paksuus	1,5 mm	
Viilun kosteus:	2 - 8 %	
Viilun lämpö:	< 50°C	
Liiman levitys:	160 g/m ²	
Ladonta-aika:	max 10 min	
Avoin aika:	2 - 3 min	max 5 min
Esipuristus:	8 min	
	Paine 0,8 Mpa	
	20 min	
	Lämpö 128°C (max. 132°C)	
	Paine 1,8 MPa	
	9 min	
	(3 min + 12 mm x 30 s)	

Liimaolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut Alkoi	Viilut Loppui	Ladonta + avoin	Esipur.	Rata- aika	Kuuma puristus	Puristin
180	9	12,37	12,42	15	12,52	20	13,19	
181	9	12,37	12,42	15	12,52	20	13,28	
182	9	12,37	12,42	15	12,52	20	13,37	
183	9	12,46	12,51	15	13,01	20	13,47	
184	9	12,46	12,51	15	13,01	20	13,56	
185	9	12,46	12,51	15	13,01	20	14,06	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 7									
Vaneriharts 18	300	3300	300	22,526	23,52	23,218	23,342	37,53	
Aine 3	140	1540	130	22,404	23,344	23,651	23,652	38,401	
Aine 10	55	605	55						
Aine 1	11	121	11						
Vesi	0	0	0						

Liimaseos 7	300	3300						
Vaneriharts 18	140	1540	300	22,526	23,52	23,218	23,342	37,53
Aine 10	55	605	130	22,404	23,344	23,651	23,652	38,401
Aine 1	11	121	55					
Vesi	0	0	11					

Esipuristustartunta		
Levy	Heti	Ennen pur.
206	5	5
207	5	5
208	5	5
209	5	5
210	5	5
211	5	5

Liimauskositeetti
2 h visko
35,022
35,599

LEVY 1

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

- Levyn paksuus 12 mm
- Viilun paksuus 1,5 mm
- Viilun kosteus: 2 - 8 %
- Viilun lämpö: < 50°C
- Liiman levitys: 160 g/m²
- Ladonta-aika: max 10 min
- Avoin aika: 2 - 3 min max 5 min
- Esipuristus: 8 min
- Paine 0,8 Mpa
- Rata-aika: 20 min
- Kuumapuristus: Lämpö 128°C (max. 132°C)
- Paine 1,8 MPa
- Aika: 9 min
(3 min + 12 mm x 30 s)

Liimausolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut	Loppui		Ladonta + avoin	Esipur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
			Alkoi	Loppui					
206	9	12,29	12,37	12,37	15	12,44	20	12,12	
207	9	12,29	12,37	12,37	15	12,44	20	12,21	
208	9	12,29	12,37	12,37	15	12,44	20	12,30	
209	9	12,39	12,48	12,48	15	12,54	20	13,22	
210	9	12,39	12,48	12,48	15	12,54	20	13,31	
211	9	12,39	12,48	12,48	15	12,54	20	13,41	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 10			
Vanerihartsit 16	300	3300	
Aine 2	165	1815	
Aine 10	45	495	
Vesi	0	0	

2 h Vettä lisätty 110 g

Levy	Esipuristustartunta	
	Heti	Ennen pur.
200	5	5
201	5	5
202	5	5
203	5	5
204	5	5
205	5	5

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus	12 mm
Viilun paksuus	1,5 mm
Viilun kosteus:	2 - 8 %
Viilun lämpö:	< 50°C
Liiman levitys:	160 g/m ²
Ladonta-aika:	max 10 min
Avoin aika:	2 - 3 min max 5 min
Esipuristus:	8 min
	Paine 0,8 Mpa
Rata-aika:	20 min
Kuumapuristus:	Lämpö 128°C (max. 132°C)
	Paine 1,8 MPa
Aika:	9 min
	(3 min + 12 mm x 30 s)

Liimaolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Esipur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
200	9	10,24	10,31	15	8	20	11,07	
201	9	10,24	10,31	15	8	20	11,16	
202	9	10,24	10,31	15	8	20	11,25	
203	9	10,32	10,38	15	8	20	11,35	
204	9	10,32	10,38	15	8	20	11,44	
205	9	10,32	10,38	15	8	20	11,53	

KOIVUVANERIN LIIMAUS

Liimaseos 11
 Vanerihartsit 18
 Kovete
 Vesi

1000
 248
 320

4000
 992
 1280

2 h visko

30,1

Levy	Esipuristustartunta	
	Heti	Ennen pur.
212	5	5
213	5	5
214	5	5
215	5	5
216	5	5
217	5	5

6272

LEVY 1

LIIMAUSOLOSUHTEET SEURAAVAT:

Levyn paksuus 12 mm
 Viilun paksuus 1,5 mm
 Viilun kosteus: 2 - 8 %
 Viilun lämpö: < 50°C
 Liiman levitys: 160 g/m²
 Ladonta-aika: max 10 min

Avoin aika: 2 - 3 min max 5 min
 Esipuristus: 8 min

Paine 0,8 Mpa

20 min

Rata-aika: Lämpö 128°C (max. 132°C)

Paine 1,8 MPa

9 min

(3 min + 12 mm x 30 s)

Liimausolosuhteet levyt

Levyt	Viilut	Viilut		Ladonta + avoin	Esipur.	Rata-aika	Kuuma puristus	Puristin
		Alkoi	Loppui					
212	9	10,35	10,42	15	10,5	20	11,18	
213	9	10,35	10,42	15	10,5	20	11,27	
214	9	10,35	10,42	15	10,5	20	11,37	
215	9	10,44	10,51	15	10,59	20	11,46	
216	9	10,44	10,51	15	10,59	20	11,55	
217	9	10,44	10,51	15	10,59	20	12,04	

Taulukko 3, Vanerilevyjen testaustulokset perusseokset.

	LUJUUS KA		Tikku	Tikku			Tikku	Tikku
Levy nro	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu	Keski	Hajonta	Märkä	Kuivattu
1	2,08	0,68	72	78,5	2,14	0,58	32	37
2	2,54	0,61	46	50	2,31	0,68	47	66
3	2,29	0,68	50	55	2,57	0,97	36	49
4	2,15	0,96	49	55	2,4	0,57	46	49,5
9	2,71	0,77	57	63	2,23	0,68	65	76,67
10	2,72	0,96	74	76	2,63	0,72	46	45
11	2,63	1,00	54	69	1,69	0,48	26	28
12	2,28	0,64	62	72	2,26	0,7	70	85

Taulukko 5, lujuuden testaus perusseos vanerihartsin 16 tulokset levyt 17-22

	LUJUUS KA		Tikku	Tikku			Tikku	Tikku
Levy nro	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu	Keski	Hajonta	Märkä	Kuivattu
17	2,28	0,49	17	17,50	1,7	0,7	2	3
18	2,53	0,80	80	85,71	1,98	0,54	11	14
19	2,40	0,82	42	43,00	2,08	1,06	30	36
20	2,01	0,26	66	66,00	1,94	0,68	51	67
21	2,64	0,91	38	38,00	2,08	0,63	47	50
22	2,70	0,75	40	43,00	2,12	0,62	40	44

Liiman levitysmäärä 175 g/m² Levyt 23 – 25190 g/m² Levyt 26 - 28

Taulukko 7, leikkauslujuuden testaus perusseos vanerihartsin 17

	LUJUUS KA		Tikku	Tikku			Tikku	Tikku
Levy nro	Pinta	Hajonta	Märkä	Kuivattu	Keski	Hajonta	Märkä	Kuivattu
23	2,12	0,53	30	30,00	1,92	0,4	14	22,22
24	2,28	0,80	10	11,00	2,04	0,34	2	3
25	2,54	0,57	11	10,00	2,52	0,55	21	24
26	2,31	0,53	19	20,00	2,16	0,31	3	6
27	2,43	0,37	26	27,78	2,2	0,64	32	35,55
28	1,98	0,49	54	55,56	2,16	0,72	43	50

Liiman levitysmäärä 175 g/m² Levyt 23 – 25

190 g/m² Levyt 26 - 28

FENOLI

Vaaralausekkeet

H341	Epäillään aiheuttavan perimävaurioita
H331	Myrkyllistä hengitettynä
H331	Myrkyllistä joutuessaan iholle
H301	Myrkyllistä nieltynä
H373	Saattaa vahingoittaa elimiä pitkäaikaisessa tai toistuvassa altistumisessa.
H314	Voimakkaasti ihoa syövyttävä ja silmiä vaurioittava

Erityiset pitoisuusrajat

Merkintä	Pitoisuus (C)
Ihosityövyttävyys	$C \geq 3 \%$
Ihoärsytys	$1 \% \leq C < 3 \%$
Silmä-ärsytys	$1 \% \leq C < 3 \%$

(Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Fenoli, 2012, 4)

Direktiivin 67/548/ETY mukainen luokitus ja merkintä:

Varoitusmerkit

Myrkyllinen

Vaaraa osoittavat standardilausekkeet

R23/24/25	Myrkyllistä hengitettynä, joutuessaan iholle ja nieltynä
R34	Syövyttävää
R48/20/21/22	Terveydellä haitallista: pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa vakavaa haittaa terveydelle hengitettynä, joutuessaan iholle ja nieltynä.
R68	Pysyvien vaurioiden vaara

Erityiset pitoisuusrajat

Merkintä	Pitoisuus (C)
Myrkyllinen (Ti); R23/24/25	$C \geq 10 \%$
Haitallinen (Xn); R20/21/22	$3 \% \leq C < 10 \%$
Syövyttävä (C); R34	$C \geq 3 \%$
Ärsyttävä (Xi); R36/38	$1 \% \leq C < 3 \%$

(Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Fenoli, 2012, 6)

Raja-arvot

HTP (2012)	2 ppm (8 mg/m ³) / 8 h (iho)
IDHL-arvo	250 ppm, (980 mg/m ³) / 30 min

(Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Fenoli, 2012, 7)

FORMALDEHYDI

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1272/2008 mukainen luokitus ja merkinnät:

Vaaralausekkeet

H351	Epäillään aiheuttavan syöpää
H331	Myrkyllistä hengitettynä
H331	Myrkyllistä joutuessaan iholle
H301	Myrkyllistä nieltynä
H314	Voimakkaasti ihoa syövyttävä ja silmiä vaurioittava
H317	Voi aiheuttaa allergisen reaktion

Erityiset pitoisuusrajat

Merkintä	Pitoisuus (C)
Ihosityövyttävyys	$C \geq 25\%$
Ihoärsytys	$5\% \leq C < 25\%$
Silmä-ärsytys	$5\% \leq C < 25\%$

Elinkohtainen myrkyllisyys

kerta-altistuminen	$C \geq 5\%$
Ihon herkistyminen	$C \geq 0,2\%$

(allerginen reaktio)

(Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Formaldehydi, 2012, 5)

Direktiivin 67/548/ETY mukainen luokitus ja merkintä:

Varoitusmerkit

Myrkyllinen

Vaaraa osoittavat standardilausekkeet

R23/24/25 Myrkyllistä hengitettynä, joutuessaan iholle ja nieltynä

R34	Syövyttävää
R40	Pysyvien vaurioiden vaara
R43	Ihokosketus voi aiheuttaa herkistymistä

Erityiset pitoisuusrajat

Merkintä	Pitoisuus (C)
Myrkyllinen (Ti); R23/24/25	$C \geq 25 \%$
Haitallinen (Xn); R20/21/22	$5 \% \leq C < 25 \%$
Syövyttävä (C); R34	$C \geq 25 \%$
Ärsyttävä (Xi); R36/37/3	$5 \% \leq C < 25 \%$
R43	$C \geq 0,2 \%$

(Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Formaldehydi, 2012,6)

Raja-arvot

HTP (2012)	0,3 ppm (0,37 mg/m ³) / 8 h (iho)
IDHL-arvo	20 ppm, (24 mg/m ³) / 30 min

(Työterveyslaitos, OVA-Ohje: Formaldehydi, 2012, 7)

ESIPURISTUSTARTUNNAT ERI LIIMASEOKSILLE

Taulukko 1, Esipuristustartunta liimaseos 11

Levy	Heti	Ennen pur.
1.1.A	5	5
1.1.B	5	5
1	5	4 / 1
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	5	5
6	5	4 / 1
7	5	5
8	5	5

Taulukko 2, Esipuristustartunta liimaseos 2

Levy	Heti	Ennen pur.
9 A	5	5
9 B	5	5
9 C	5	4 / 1
10	5	4 / 1
11	5	5
12	5	5
13	5	5
14	4 / 1	3 / 10
15	5	5
16	5	5

Taulukko 4, Esipuristustartunta seos vanerihartsii 16

Levy	Heti	Ennen pur.
17	5	4 / 1
18	5	4 / 3
19	1 / 4	5 / 4
20	5	5
21	5	4 / 1
22	3 / 15	3 / 30

Liiman levitysmäärä 175 g/m² Levyt 17 – 19
 190 g/m² Levyt 20 - 22

Taulukko 6. Esipuristustartunta seos vanerihartsii 17

Levy	Heti	Ennen pur.
23	5	4 / 3
24	5	3 / 30
25	5	2
26	4 / 1	2
27	4 / 1	2
28	5	2

Liiman levitysmäärä 175 g/m² Levyt 23 – 25
 190 g/m² Levyt 26 - 28

Taulukko 7, Esipuristustartunta aine 1 + vanerihartsii 16

Levy	Heti	Ennen pur.
29	5	5
30	5	5
31	5	5
32	5	5
33	5	5

Taulukko 8, Esipuristustartunta vanerihartsin 17 + aine 1

Levy	Heti	Ennen pur.
44	5	5
45		
46		
47	5	5
48	4 / 3	4 / 3

Taulukko 9. Esipuristustartunta vanerihartsin 17 + aine 2

Levy	Heti	Ennen pur.
34	5	5
35	5	5
36	5	5
37	5	5
38	5	5

Taulukko 10. Esipuristustartunta vanerihartsin 16 + aine 2

39	5	5
40	5	5
41	5	5
42	5	5
43	5	5

Taulukko 11. Esipuristustartunta vanerihartsin 17 + aine 4

Levy	Heti	Ennen pur.
49	5	5
50	5	5
51	4/1	4/1
52	5	5
53	5	5

Taulukko 12 esipuristustartunta vanerihartsin 16 + aine 4

Levy	Heti	Ennen pur.
54	5	5
55	5	5
56	5	5
57	5	5
58	5	5

Taulukko 13. Esipuristustartunta vanerihartsin 17 + aine 9

Levy	Heti	Ennen pur.
59	5	5
60	5	5
61	5	5
62	5	5
63	5	5

Taulukko 14. Esipuristustartunta vanerihartsin 17 + aine 10

Levy	Heti	Ennen pur.
64	5	5
65	5	4/4
66	5	5
67	5	5
68	5	5

Taulukko 15. Esipuristustartunta vanerihartsin 17 + aine 12

Levy	Heti	Ennen pur.
69	3/50	2
70	2	2
71	2	2
72	3/30	2
73	2	2

Taulukko 16. Esipuristustartunta vanerihartsin 16 + aine 12.

Levy	Heti	Ennen pur.
74	3/40	2
75	2	1
76	2	2
77	2	1
78	2	1

Taulukko 20. Esipuristustartunta liimaseos vanerihartsin 17 + aine 2 + aine 10

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
150	5	5
151	5	5
152	5	5
153	5	5
154	5	5
155	5	5

Taulukko 21. Esipuristustartunta, liimaseos vanerihartsin 16 + aine 2 + aine 10

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
174	5	5
175	5	5
176	5	5
177	5	5
178	5	5
179	5	5

Taulukko 22. Esipuristustartunta, vanerihartsi 18 + aine 2 + aine 10

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
156	5	5
157	5	5
158	5	5
159	5	5
160	5	5
161	5	5

Taulukko 23. Esipuristustartunta vanerihartsi 17 + aine 10 + aine 1

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
162	5	5
163	5	5
164	5	5
165	5	5
166	5	5
167	5	5

Taulukko 24. Esipuristustartunta, vanerihartsi 18 + aine 10 + aine 1

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
168	5	5
169	5	5
170	5	5
171	5	5
172	5	5
173	5	5

Taulukko 25. Esipuristustartunta vanerihartsin 16 + aine 10 + aine 1

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
180	5	5
181	5	5
182	5	5
183	5	5
184	5	5
185	5	5

Taulukko 26. Esipuristustartunta vanerihartsin 18 + aine 10 + aine 2 + aine 1

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
212	5	5
213	5	5
214	5	5
215	5	5
216	5	5
217	5	5

Taulukko 27. Esipuristustartunta vanerihartsin 16 + aine 10 + aine 2

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
200	5	5
201	5	5
202	5	5
203	5	5
204	5	5
205	5	5

Taulukko 28. Esipuristustartunta perusseos vanerihartsii 18

	Esipuristustartunta	
Levy	Heti	Ennen pur.
212	5	5
213	5	5
214	5	5
215	5	5
216	5	5
217	5	5