



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Milla Marjamäki

---

## **Sisäkäyttöön tarkoitettujen puuliimojen leikkauslujuustarkastelu**

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Milla Marjamäki

Työn nimi alaotsikoineen: Sisäkäyttöön tarkoitettujen puuliimojen leikkauslujuustarkastelu

Ohjaaja: Veli Autio

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 42

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja vertailla kolmen eri polyvinyylisetaatti-pohjaisen puuliiman leikkauskestävyyttä. Liimat kuuluvat standardin SFS-EN 204:2016 mukaan D2 luokkaan ja ne on tarkoitettu käytettäväksi kuivissa sisätiloissa. Tutkittavina liimoina olivat Eri Keeper, Kiilto Pro 66 yleis-/puuliima ja Bilteman puuliima sisäkäyttöön.

Työn teoriaosassa käsitellään liiman ja puun ominaisuuksia sekä niiden välistä yhteistoimintaa. Työssä tarkastellaan liiman tarttumiseen vaikuttavia tekijöitä, joita ovat esimerkiksi puun rakenteesta ja käsittelystä johtuvat tekijät, olosuhdetekijät sekä muut tekijät, jotka vaikuttavat liimasauman kestävyYTEEN ja lopputuloksen laatuun.

Tutkimus tehtiin suorittamalla koekappaleille liimasauman leikkauskestävyytstarkastelu giljotiinitestillä. Testit suoritettiin standardia ASTM D905-03 mukailemalla. Testejä varten puumateriaaliksi valikoitui kuusi, koska se on yleisesti käytössä rakentamisessa. Puusta valmistettiin koekappaleita jokaiselle liimalle höylä- ja sahapintaisena. Koekappaleille suoritettiin testit, joiden avulla saatiin laskettua leikkauslujuus jokaiselle liimasaumalle. Lisäksi analysoitiin liimaliitoksen peittämistä puunmurtoprosentin avulla.

Työn tuloksena saatiin jokaiselle liimalle laskettua keskiarvot leikkauslujuudelle ja puunmurtoprosenteille. Saatuja tuloksia analysoimalla päästiin johtopäätökseen, että Eri Keeper toimii liimoista parhaiten, kun liimataan kappaleita sahapintaan. Höylättyyn puupintaan liimatessa parhaaseen kestävyYTEEN päästiin Bilteman puuliimalla.

<sup>1</sup> Asiasanat: liimaus, puu, adheesio, lujuuskokeet, standardit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Milla Marjamäki

Title of thesis: Shear strength examination of wood adhesives intended for indoor use

Supervisor: Veli Autio

Year: 2025

Number of pages: 42

---

The aim of the thesis was to study and compare the shear strength of three wood adhesives. The adhesives studied were Eri Keeper, Kiilto Pro 66 universal/ wood glue and Biltema wood glue for indoor use and they belonged to the D2 class according to the SFS-EN 204:2016 standard and were intended for dry indoor conditions.

The theoretical part of the thesis examined the properties of adhesives and wood. The theoretical part studied the key elements of gluing wood.

The shear strength of test pieces was tested. The tests were performed by applying the standard ASTM D905-03. Spruce was used as the wood material in the tests because it is commonly used in construction. Individual test pieces with both sawn and planed surfaces were prepared from wood for each adhesive.

The shear strength was calculated for each adhesive. The failure of the adhesive joint was analysed using the percentage of wood failure. As the result of the test, it was discovered that Eri Keeper worked best with sawn surfaces and Biltema wood glue worked best with planed surfaces.

<sup>1</sup> Keywords: gluing, wood, adhesion, strength tests, standards

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne .....	8
2 LIIMA.....	10
2.1 Historia .....	10
2.2 Luokittelu.....	11
2.3 Koostumus .....	11
2.4 Valintaan vaikuttavat tekijät.....	12
2.5 Polyvinyylisetaattiliima.....	12
2.6 Sitoutuminen puuhun .....	13
2.7 Liimaus liitostapana.....	13
2.7.1 Liimausvirheet.....	14
2.7.2 Virheiden ehkäisy.....	14
3 LIIMAUKSEEN VAIKUTTAVAT PUUN OMINAISUUDET .....	16
3.1 Puun osat .....	16
3.2 Rungon rakenne.....	16
3.3 Puun fysikaaliset ominaisuudet .....	17
3.3.1 Kosteuskäyttäytyminen .....	18
3.3.2 Lujuus .....	19
3.3.3 Viat.....	19
3.4 Kuusi – Picea Abies .....	20
3.5 Puutavaran lajittelu.....	20

3.5.1	Laatuluokitus.....	21
3.5.2	Lujuusluokitus .....	21
4	LIIMAUSOLOSUHTEET JA TESTAUSMENETELMÄT .....	22
4.1	Puupinnan vaikutus ja liimauksen edellytykset.....	22
4.2	Liimauksen työvaiheet.....	22
4.2.1	Suhteellinen kosteus.....	23
4.2.2	Puun kosteuspitoisuuden määrittäminen .....	24
4.3	Testauksen periaatteet ja menetelmät .....	24
4.3.1	Standardi SFS-EN 205:2016.....	25
4.3.2	Standardi ASTM D905-08.....	25
4.4	Tarkasteltavat liimat .....	26
4.4.1	Eri Keeper.....	27
4.4.2	Kiilto Pro 66 Yleis-/puuliima .....	28
4.4.3	Biltema puuliima sisäkäyttöön.....	29
5	TUTKIMUS.....	30
5.1	Suunnittelu ja koekappaleiden valmistus.....	30
5.2	Liimaus.....	31
5.3	Leikkauslujuus testin suoritus.....	33
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	35
6.1	Leikkauslujuuskokeella saavutetut tulokset.....	35
6.1.1	Sahapinnan liimaukset.....	36
6.1.2	Höyläpinnan liimaukset .....	37
6.2	Tulosten yhteenveto .....	38
7	POHDINTA JA YHTEENVETO.....	40
	LÄHTEET .....	41

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Eri Keeper yleis- ja puuliima. ....	27
Kuva 2. Kiilto Pro 66 yleis-/puuliima.....	28
Kuva 3. Bilteman puuliima sisäkäyttöön.....	29
Kuva 4. Testeihin valitut kuusilankut. ....	30
Kuva 5. Puukappaleen punnitus. ....	31
Kuva 6. Vialliset koekappaleet. ....	31
Kuva 7. Liiman levitys siveltimellä.....	32
Kuva 8. Koekappaleiden liimauseriaate .....	32
Kuva 9. Koekappaleet kuivumassa.....	33
Kuva 10. Giljotiinitestin toimintaperiaate. ....	34
Kuva 11. Puumurtumat .....	35
Taulukko 1. Eri Keeper -liiman tulokset (sahapinta).....	36
Taulukko 2. Kiilto Pro 66 -yleis-/puuliiman tulokset (sahapinta). ....	36
Taulukko 3. Bilteman puuliiman tulokset (sahapinta). ....	37
Taulukko 4. Eri Keeper -liiman tulokset (höyläpinta). ....	37
Taulukko 5. Kiilto Pro 66 -yleis-/puuliiman tulokset (höyläpinta). ....	38
Taulukko 6. Bilteman puuliiman tulokset (höyläpinta). ....	38
Taulukko 7. Leikkauslujuuden ja puumurtumaprosentin keskiarvot. ....	39

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Adheesio</b>	Liiman kyky tarttua kiinni toiseen materiaaliin ja muodostaa vahva sidos pintojen välille.
<b>Anisotrooppinen</b>	Materiaalin ominaisuudet vaihtelevat eri suuntiin.
<b>Epähomogeeninen</b>	Rakenne tai koostumus vaihtelee puun eri osissa.
<b>Hemiselluloosa</b>	Puun soluseinissä esiintyvä selluloosan tukiaine, joka tekee rakenteesta joustavan.
<b>Hygroσκοoppinen</b>	Puun kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden vaihteluiden mukaan.
<b>Kimmomoduuli</b>	Kiinteän aineen jäykkyyttä kuvaava fysikaalinen suure.
<b>Leikkauslujuus</b>	Liimasauman kyky vastustaa voimia, jotka pyrkivät siirtämään sen pintoja toistensa suhteen vastakkaisiin suuntiin.
<b>Ligniini</b>	Puun soluseinissä oleva aine, joka sitoo selluloosaa- ja hemiselluloosaa yhteen ja tekee puusta kestävä.
<b>Lujuusluokka</b>	Puun lujuusominaisuuksia kuvaava luokitus.
<b>PVAc</b>	Polyvinyyliasettaatti eli synteettinen muovi, jota käytetään liimoissa.
<b>Selluloosa</b>	Puun soluseinien rakennusaine, joka antaa puulle lujuutta.
<b>Termoplastinen</b>	Materiaali pehmenee kuumetessaan ja kovettuu jäähtyessään ilman kemiallisia muutoksia.
<b>Trakeidi</b>	Puun vettä kuljettava solutyyppe.
<b>Viruma</b>	Materiaalille ajan myötä tapahtuva pysyvä muodonmuutos kuorituksen vaikutuksesta.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Puuliimoja käytetään varsin laajasti niin rakentamisessa, puusepännöissä kuin huonekaluteollisuudessa. Saavutetun liimasauman kestävyys on isossa roolissa lopputuotteen käyttömahdollisuuksia ja pitkäikäisyyttä ajatellen. Erityisesti liiman tarttuvuus ja leikkauskestävyys ovat keskeisiä ominaisuuksia arvioitaessa liiman käyttömahdollisuuksia.

Opinnäytetyön idea syntyi tämän työn tekijän kiinnostuksesta puuliimojen käyttömahdollisuuksia kohtaan eikä sillä ole ulkopuolista toimeksiantajaa. Työssä tutkitaan PVAc-pohjaisten puuliimojen leikkauskestävyyttä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää miten puun pintakäsittely vaikuttaa liiman toimintaan höylätyllä ja sahatulla puupinnalla.

## 1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on vertailla kolmen standardin SFS-EN 204:2016 mukaan D2-luokkaan kuuluvan PVAc-pohjaisen puuliiman leikkauskestävyyttä. Aihe rajautuu D2-luokan sisäkäyttöön tarkoitettujen puuliimojen tutkimiseen, joita ei ole tarkoitettu kantavien rakenteiden liimaukseen niiden virumisominaisuuksien vuoksi. Tutkimuksissa vertailtavat liimat ovat Eri Keeper, Kiilto Pro 66 yleis-/puuliima ja Bilteman puuliima sisäkäyttöön.

Työn päätavoitteena on selvittää puuliimojen leikkauslujuuskestävyyttä aineenkoestuskoneella suoritetuissa testeissä. Testit suoritetaan standardia ASTM D905-03 mukailevalla leikkauslujuustestillä. Saatujen tulosten avulla tutkitaan vaikuttaako puupinnan käsittely liiman kestävyteen, ja kuinka samaan luokkaan kuuluvat liimat eroavat toisistaan. Lisäksi arvioidaan erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat liimasauman kehitykseen ja kestävyteen.

## 1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyö koostuu osioista, joissa käydään läpi teoriaa, tutkimuksen taustaa, käytettyjä materiaaleja ja menetelmiä sekä yhteenvetoa saaduista tuloksista. Työn alkuun on kerätty

yleistä tietoa liimauksesta ja sen mahdollisuuksista, sekä muita seikkoja, jotka vaikuttavat puun liimaukseen sisäkäyttöön tarkoitetuilla PVAc-pohjaisilla puuliimoilla.

Puun fysikaalisiin ominaisuuksiin ja niiden vaikutuksiin liimauksen onnistumiseksi perehdytään luvussa kolme. Tämän jälkeen tutkimusosiossa kuvaillaan testimenetelmät ja testausolosuhteet sekä esitetään saadut tulokset. Lopuksi saatuja tuloksia analysoidaan ja tehdään johtopäätöksiä liimauksen ja leikkauskestävyyden välisistä yhteyksistä.

## 2 LIIMA

### 2.1 Historia

Luonnon aineista valmistettujen liimojen hyödyntämistä puun liimaukseen on tunnettu jo tuhansia vuosia (Puuproffa, i.a.-c). Puun liimat valmistettiin ensiksi aineista, joita oli saatavilla luonnosta (Isomäki ym., 2002, s. 120). Puuliimaus sai alkunsa muinaisessa Egyptissä, missä faaraot käyttivät eläinliimaa puuviilupinnoitteiden liimaamiseen koristeellisiin tarkoituksiin (Skeist, 1990, s. 598).

Liimoja käytettiin jo antiikin aikana erittäin taitavasti (Skeist, 1990, s. 4). Thebestä on löytynyt tuhansia vuosia vanhoja kaiverruksia, joissa on esitetty ohuen viulun liimaamista puulevylle. Kaiverruksissa näkyvät myös liimapurkki ja sivellin. Esihistoriallisten heimojen haudoista on löytynyt esimerkiksi ruukkujen jäänteitä, missä on käytetty liimana tahmeaa pihkaa (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 367).

Ensimmäisten vuosisatojen aikana roomalaiset ja kreikkalaiset kehittivät liiman käyttöä (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 367). He oppivat käsittelemään puiden pintoja ja kiinnittämään ohuita puukerroksia mm. kananmunan valkuaisesta, luista ja maidosta valmistetuista liimoista.

Liimana käytettyjen aineiden valikoima laajeni teollisen vallankumouksen myötä, kun opittiin valmistamaan öljystä muoveja (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 367). Vuosisatoihin liimateknologiassa ei tapahtunut merkittäviä edistysaskeleita ennen 1900-lukua, jolloin luonnonliimoja paranneltiin ja synteettisiä liimoja kehitettiin laboratorioissa (Skeist, 1990, s. 4).

Puuliimauksen teknologia on kehittynyt monivaiheiseksi tieteenalaksi, joka yhdistää kemian, insinööritieteen, materiaalitieteen, puutieteet ja puutekniikan (Skeist, 1990, s. 598). Liimattavien puutuotteiden koko ja muoto vaihtelevat mikroskooppisista kuitumateriaaleista suuriin rakenteellisiin osiin. Nykyisin käytetään pääasiassa synteettisiä polymeerihartsiliimoja, jotka valmistetaan kehittyneillä kemiallisilla menetelmillä. Synteettiset muoviliimat ovat syrjäyttäneet lähes täysin luonnonliimat puun liimauksessa (Puuproffa, i.a.-b).

Synteettisiä liimoja ovat esimerkiksi PVAc-, kontakti- ja sulateliimat sekä urea-, resonoli-, fenoli-, epoksi-, ja polyuretaaniliimat.

Tämän päivän liimat ovat lähestulkoon aina öljypohjaisia tuotteita (Isomäki ym., 2002, s. 120). Suurin osa käytössä olevien liimojen teknologiasta on kehitetty viimeisen vuosisadan aikana (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 367). Puuliimat ovat tärkeitä rakenteellisia elementtejä, joita käytetään esimerkiksi huonekaluissa ja rakennuksissa, ja niitä arvostetaan niin käytännöllisyyden kuin esteettisyyden vuoksi (Skeist, 1990, s. 598).

## 2.2 Luokittelu

Liimoja voidaan luokitella monin eri tavoin (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Nykyisin liima-aineet ovat lähes aina öljypohjaisia tuotteita, jotka voidaan jakaa kovettumistapansa mukaan fyysisesti ja kemiallisesti sitoviin liimoihin, sulateliimoihin ja kontaktiliimoihin (Isomäki ym., 2002, s. 120).

Liimoja voidaan luokitella tarkemmin niiden ominaisuuksien, säänkestävyyden tai käyttötarkoituksen mukaan (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Esimerkiksi kosteuden- ja säänkestävyysominaisuuksien mukaan liimat voidaan jakaa kuiviin sisätiloihin, kosteisiin sisätiloihin tai ulkokäyttöön soveltuvaksi. Liimoja voidaan luokitella myös niiden kovettumislämpötilan mukaan kylmä- ja kuumakovettuviin.

## 2.3 Koostumus

Yleensä puuliimat ovat nestemäisiä liuoksia (Isomäki ym., 2002, s. 117). Liima sisältää yleensä sideaineen, liuottimen, täyteaineen ja joitakin lisäaineita (Aven, 1984, s. 407). Tärkein komponentti on sideaine, jonka tehtävänä on antaa tarttuvuus eli adheesio.

Liimassa on lisäksi täyteainetta, joka täyttää liimattavan pinnan huokokset ja epätasaisuudet (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 367). Liuote kostuttaa liimattavat pinnat hyvin ja parantaa aineen levitettävyyttä. Lisäaineilla voidaan parantaa liiman kostutuskykyä ja ehkäistä vanhenemista.

## 2.4 Valintaan vaikuttavat tekijät

Liimoja on olemassa paljon erilaisia, ja niiden ominaisuudet vaihtelevat raaka- ja lisäaineiden mukaan (Puuproffa, i.a.-b). Liiman valintaan vaikuttaa liima-aine, puulaji ja liimausmenetelmä (Isomäki ym., 2002, s. 127). Valintaan vaikuttaa myös olosuhde, jossa liimattava kappale tulee olemaan (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). On tärkeää huomioida riittääkö sisäkäyttöön soveltuva liima vai altistuuko kappale sää- tai kosteusrasituksille.

Yleisesti liiman valinnassa on huomioitava, että se on yhteensopiva niiden materiaalien kanssa, joita sillä on tarkoitus yhdistää (Skeist, 1990, s. 94). Sen on tartuttava riittävän hyvin liimattaviin pintoihin. Liima-aineiden kemialliset ominaisuudet vaikuttavat soveltuvuuteen tiettyyn käyttötarkoitukseen (3M, i.a.-a). Kemialliset ominaisuudet vaikuttavat liiman kykyyn tarttua pintoihin. Liimasaumojen kestävyys vaikuttaa käytetyt materiaalit ja liiman kemiallinen koostumus.

## 2.5 Polyvinyyliasetaatiliima

Polyvinyyliasetaatiliima eli PVAc on fysikaalisesti sitova liima (Isomäki ym., 2002, s. 120). Se on yleisin kestumuviliima, jota käytetään paljon huonekalu- ja puusepänteollisuudessa muun muassa reunalistoituksessa, kokoonpanossa sekä viilujen ja laminaattien liimaukseen puulevyihin (Isomäki ym., 2002, s. 123).

Polyvinyyliasetaatiliiman etuja ovat muun muassa sen edullinen hinta, värittömyys ja kovettuminen huoneenlämmössä (Isomäki ym., 2002, s. 127). Haittoja on huono kosteuden ja lämmönkestävyys. Liiman kosteudensieto-ominaisuuksia voidaan parantaa koveteaineiden avulla (Isomäki ym., 2002, s. 123–124). Pidentämällä puristusaikaa valmiin tuotteen kosteudenkestävyys paranee. PVAc-liimalla ei ole saavutettu täydellisesti vedenkestävää liimasaumaa.

Lyhytaikaista kuormitusta vaativissa kohteissa liimasauman lujuus on yleensä riittävä (Isomäki ym., 2002, s. 123). Liima ei sovellu kantavien rakenteiden liimaukseen sen virumisominaisuuden vuoksi. PVAc-liima soveltuu hyvin korjaus- ja harrasteliimaksi.

## 2.6 Sitoutuminen puuhun

Adheesio tarkoittaa liiman sitoutumista puuhun ja siihen vaikuttaa useat tekijät (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Fysikaalisesti sitovissa PVAc-liimoissa aineen molekyylit sitoutuvat toisiinsa niiden välisten sekundäärinen voimien vaikutuksesta (Isomäki ym., 2002, s. 120). Jotta liima saavuttaisi riittävän lujuuden, sen täytyy kovettua (Skeist, 1990, s. 5). Liima kovettuu, kun vesi haihtuu tai imeytyy viereiseen huokoiseen materiaaliin (Aven, 1984, s. 407).

Mekaanisessa adheesiossa sideaine tunkeutuu huokoiseen puuhun (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Pinnan karheus ja huokoisuus parantaa mekaanista tartuntaa, koska kovettuessaan liima ankkuroituu huokosiin ja pinnan kohoumiin (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 367). Mekaanisen tartunnan lisäksi tapahtumaan vaikuttaa spesifinen adheesio, joka tarkoittaa liiman ja puun molekyylitason vuorovaikutusta. Nykyisen tietämyksen mukaan kumpikin adheesion laji yhdessä aiheuttavat liiman kiinnittymisen (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Muodostuneet sidokset eivät yleensä kestä veden tai liuoteaineiden vaikutusta (Isomäki ym., 2002, s. 120). Tämä koskee esimerkiksi joitakin puuliimoja, joita tulisi siksi käyttää vain sisätiloissa (Aven, 1984, s. 407).

## 2.7 Liimaus liitostapana

Liimasauma on liitostapa, jossa kaksi kappaletta on yhdistetty kiinteästi toisiinsa (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Liimauksella voidaan liittää kappaleita yhteen niiden välillä vaikuttavien kiinnitysvoimien avulla (Isomäki ym., 2002, s. 113). Liimoilla liittämisen perusvaatimus on, että sillä voidaan liittää kaksi eri kappaletta toisiinsa ja liitoksen tulisi kestää siihen kohdistuva rasitus (3M, i.a.-a). Liimat saavuttavat tämän siirtämällä rasituksia osasta toiseen tavalla, joka jakaa jännitykset paljon tasaisemmin kuin mekaaniset kiinnikkeet (Ebnesajjad, 2011, s. 13).

Liimaamalla voidaan liittää pinta-alaltaan suuriakin kappaleita yhteen, ja lähes kaikkia aineita pystytään liimaamaan (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Yksi liimojen ominaisuus on, että niitä tarvitaan suhteellisen pieniä määriä verrattuna lopullisen rakenteen painoon (Ebnesajjad, 2011, s. 15). Yleensä liimaus on kohtalaisen nopea ja kustannustehokas liitostapa (Puutuoteteollisuus, i.a.-a).

### 2.7.1 Liimausvirheet

Liimattavana materiaalina puu on varsin epähomogeenista ja sen liimausominaisuudet riippuvat puulajista, pinnan laadusta ja kosteudesta (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Virheitä esiintyy yleensä syistä, joita ei täysin pystytä valvomaan (Isomäki ym., 2002, s. 125). Niitä voivat olla esimerkiksi puusta johtuvat virheet, jotka johtuvat yleensä puun epähomogeenisesta rakenteesta, kuten tilavuuspainoeroista, oksaisuudesta tai kemiallisen koostumuksen vaihteluista (Puutuoteteollisuus, i.a.-a).

Liimaseoksen virheet ovat yleensä liiman valmistuksessa laadun vaihteluista johtuvia (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Liimauksen epäonnistumiseen saattaa myös vaikuttaa aineiden käsittelystä johtuvat tekijät, kuten esimerkiksi liian pitkä varastointiaika tai talven pakkasjaksot (Isomäki ym., 2002, s. 128). Virheitä voi tapahtua myös liimausprosessin aikana esimerkiksi kappaleiden väärän kosteuspitoisuuden, levitysmäärän, puristusajan tai puristuspaineen takia (Isomäki ym., 2002, s. 125). Puun pinta voi myös ylikuumentua ja palaa, jolloin liima ei tartu kunnolla ja liimaustuloksesta tulee huono (Puuproffa, i.a.-a).

### 2.7.2 Virheiden ehkäisy

Liiman valmistajat antavat yleensä suosituksia ja ohjeita tuotteidensa käyttöön (Isomäki ym., 2002, s. 115). Liimausvirheiden ehkäisemiseksi on ensiarvoisen tärkeää noudattaa käytettävän liiman käyttöohjeita (Puuproffa, i.a.-b). Niistä yleensä selviää suositukset liiman levitysmenetelmistä, määristä, kovettumisolosuhteista ja muista kriittisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat liimasauman kestävyYTEEN ja laatuun.

Liimauksen onnistumisen kannalta pitäisi puun kosteuden olla 5–15 %, että liima pääsee imeytymään riittävästi puuhun (Puuproffa, i.a.-a). Liian kostea puu toisaalta imee itseensä paljon liimaa, eikä sitä jää saumaan tarpeeksi. Korkea kosteuspitoisuus saattaa myös vaatia pidemmän puristusajan (Isomäki ym., 2002, s. 127). Toisaalta liian pieni kosteuspitoisuus puussa lyhentää odotusaikaa ja vaikeuttaa liiman tunkeutumista puuhun (Isomäki ym., 2002, s. 128).

Hyvän liimasauman muodostumisen vaatimuksena on, että liima tunkeutuu sopivasti ja kiinnittyy puuainekseen (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Kappaleiden muotovirheet voivat

aiheuttaa sen, etteivät pinnat paikoittain ole riittävässä kosketuksessa toisiinsa, ja sauma jää heikoksi (Isomäki ym., 2002, s. 127). Puristuspaineen tulee olla tarkoitukseen sopiva (Isomäki ym., 2002, s. 128). Myös lämpötilan ja puristusajan tulee olla toisiinsa nähden oikeassa suhteessa.

Liiman kovettuminen voi jäädä vajaaksi, vaikka noudatettaisiin liiman valmistajan antamia käyttöohjeita (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Syynä tähän voivat olla puusta johtuvat tekijät, kuten öljyinen puu, joka imee saumasta kosteutta hitaammin. Liimausprosessin edessä on tärkeää valvoa liimamääriä, liimauksen avointa aikaa ja puristusaikaa, -painetta, ja -lämpötilaa.

### 3 LIIMAUKSEEN VAIKUTTAVAT PUUN OMINAISUUDET

#### 3.1 Puun osat

Puun osia ovat lehvästö, runko ja juuret (Siikanen, 2016, s. 22). Jokaisella rakenneosalla on oma tehtävänsä. Juurien tehtävä on kiinnittää puu kasvualustaansa ja imeä maaperästä ravinteita (Puutuoteteollisuus, i.a.-b). Runko pitää puuta pystyssä ja siirtää nesteitä juurista lehdille ja neulasille.

Oksien tehtävä on muodostaa riittävä määrä kasvualustaa lehdille ja neulasille (Puutuoteteollisuus, i.a.-b). Puun neulaset ja lehdet käyttävät auringonvaloa voimanlähteenä yhteyttäessään ilman hiilidioksidia ja maasta kulkeutunutta vettä hapeksi ja hiilihydraateiksi (Siikanen, 2016, s. 22).

#### 3.2 Rungon rakenne

Rungon tehtävänä on huolehtia puun aineenvaihdunnasta (Puutuoteteollisuus, i.a.-b). Se hoitaa ravinteiden kuljetuksen lisäksi puun pituus- ja paksuuskasvun. Rungon poikkileikkauksesta voidaan erottaa ydin, sydänpuu, nuorpuu, pintapuu, jälsi ja puun kuoriossa (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 24–25). Leikkauspinoilla puun rakenne näkyy vaihtelevina syykuvioina (Puuinfo, 2020).

Rungossa uloimpana kerroksena on kuori, joka koostuu varsinaisesta kuivasta ja kovasta kuoresta eli kaarnasta sekä kosteasta ja pehmeästä sisäkuoresta eli nilasta (Siikanen, 2016, s. 23). Kovan ulkokuoren solukko toimii suojakerroksena, ja se estää puuta kuivumasta. Nila on elävää solukkoa, joka kuljettaa lehdissä ja neulasilla syntyneitä ravinteita alaspäin. Nila muodostaa uutta kuorta alaspäin ja kovettuu vähitellen.

Puu kasvaa rungon jälsivöhykkeestä, joka muodostaa jakautuessaan sisäänpäin puuainesta ja ulospäin nilaa (Siikanen, 2016, s. 23). Pintapuu eli manto on elävää puuainesta, jossa ravinteet ja vesi kulkevat juurista lehdille ja neulasille (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 25). Nuorpuu on puun 10–15 sisintä vuosirengasta ytimen ympärillä.

Ikääntyessään puun rungon keskelle muodostuu tummaa sydänpuuta, joka sisältää paljon enemmän hartsi- ja väriaineita kuin pintapuu (Siikanen, 2016, s. 24). Sydänpuu on kovempaa, vähemmän hygroskooppista ja lahoa vastaan kestävämpää kuin pintapuu. Kun puu vanhenee, sydänpuun suhteellinen osuus lisääntyy. Puun ydin on huokoista kudosta ja se on selvästi muuta puuta tummempaa (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 25).

### 3.3 Puun fysikaaliset ominaisuudet

Suomessa puun elämä jakaantuu vuodenaikojen perusteella kasvu- ja lepokausiin (Isomäki ym., 2002, s. 10). Puun vuotuinen kasvu tapahtuu noin kymmenessä viikossa touko-kuusta elokuuhun (Siikanen, 2016, s. 23). Puu kasvattaa ympärilleen uuden vuosirenkaan kasvukauden aikana. Vuosirenkaissa puuaineksessa näkyvä vaaleampi osa on kevätpuuta ja se on selvästi harvempaa kuin tummempi kesäpuu (Puuinfo, 2020). Yleensä puu kasvaa nuorena nopeammin kuin vanhempana, ja tämän takia vuosirenkaat ovat keskellä leveämpiä. Vuosirenkaiden leveyteen vaikuttaa myös maaperä, maantieteellinen sijainti ja puun lannoitus (Siikanen, 2016, s. 26). Havupuilla kevät- ja kesäpuiden väriero on suurempi, kun taas lehtipuilla sitä voi olla vaikea huomata (Siikanen, 2016, s. 23).

Puu on biologinen materiaali, joka koostuu puun soluista sekä näissä olevista nesteistä ja hartseista (Aven, 1984, s. 270). Eli puu ei ole varsinaisesti kiinteä materiaali vaan sen ominaisuudet vaihtelevat kosteuspitoisuuden mukaan (Puutuoteteollisuus, i.a.-d). Koska puu on ulottuvuuksiltaan anisotrooppinen ja kemiallisesti monimuotoinen materiaali, sen ominaisuuksiin vaikuttavat merkittävästi ilmasto-olosuhteet, kuten lämpötila ja kosteus (Skeist, 1990, s. 598). Puu elää aina moninkertaisesti enemmän leveyssuunnassa kuin pituussuunnassa (Rakennustieto, 2006, s. 3).

Puun tärkeimpiä ainesosia ovat selluloosa, hemiselluloosa sekä ligniini (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 26). Puun käyttäytymisen ymmärtämiseksi on tarkasteltava pienintä yksikköä, joka on rungon pituussuuntaan sijoittunut solu. Solun tärkeimpiä alkuaineita ovat hiili, vety ja happi.

Suuressa määrin puun käyttömahdollisuudet riippuvat sen tiheydestä (Puutuoteteollisuus, i.a.-b). Eri puulajien välillä tilavuuspainot voivat vaihdella suurestikin. Kevätpuu ja kesäpuu

ovat tiheydeltään erilaisia ja koko puun lujuus riippuu näiden välisestä vuosirengasvälistä (Siikanen, 2016, s. 23). Monet puun ominaisuudet riippuvat siis sen tiheydestä (Puutuote-teollisuus, i.a.-b). Puun tiheyteen vaikuttavat esimerkiksi kasvupaikka, ilmasto, ravinteet ja kasvuolot (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 28). Lisäksi on merkitystä puun iällä ja sillä, mistä osasta runkoa puuta on otettu. Esimerkiksi kotimaisten havupuiden oksien tiheys on noin kaksinkertainen ympäröivään puuhun verrattuna (Kavaja, 2011, s. 7).

### 3.3.1 Kosteuskäyttäytyminen

Kun tuore puu kuivuu, ensimmäisenä siitä haihtuu soluonteloissa oleva vapaa vesi (Puuinfo, 2020). Puun kosteuden ollessa noin 30 % on siitä haihtunut kaikki vapaa vesi (Kavaja, 2011). Seuraavaksi soluihin sitoutunut vesi alkaa haihtua, ja puu alkaa kutistumaan (Puuinfo, 2020). Puun kosteusprosentin ollessa alle 20, se on yleensä suojassa sieniltä, homeilta ja tuholaisilta (Kavaja, 2011).

Puuta ei käytetä yleisimpiin käyttötarkoituksiin kaatotuoreena, vaan se on kuivattava käyttötarkoituksen edellyttämään sopivaan kosteuteen (Isomäki ym., 2002, s. 47). Rakentamisessa käytettävä puu sisältää aina jonkin verran vettä (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 26).

Puun tasapainokosteus tarkoittaa kosteutta, jossa puu on tasapainossa ympäröivän ilman kanssa (Isomäki ym., 2002, s. 48). Tämä on tärkein kosteustekijä puutuotteiden käytössä. Puulla on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden vaihteluiden mukaan eli puu on hygroskooppinen materiaali (Puuinfo, 2020). Tämä ominaisuus säilyy kaikissa vaiheissa, sillä pintakäsittelyilläkin voidaan vain hidastaa kosteuden aiheuttamia muutoksia.

Käyttöolosuhteissa puun kosteus asettuu siis aina ympäröivän ilman mukaiseen tasapainotilaan (Isomäki ym., 2002, s. 48). Tämän takia on tärkeä huolehtia, ettei puutavaran kosteus pääse suuresti muuttumaan käyttökohteen suositelluista arvoista (Puuinfo, 2020). Kostuessaan puu turpoaa ja vastaavasti kuivuessaan kutistuu (Kavaja, 2011). Puun kosteusmuodonmuutokset ovat erilaisia puun eri suunnissa. Puun kosteuspitoisuuden muuttuessa myös puun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet muuttuvat (Puuinfo, 2020).

### 3.3.2 Lujuus

Lujuudella tarkoitetaan kappaleen kykyä vastustaa siihen kohdistuvien kokoa tai muotoa muuttavien voimien vaikutusta (Kärkkäinen, 2007, s. 215). Puulla lujuusominaisuudet poikkeavat monista muista materiaaleista sen epähomogeenisen rakenteen ja ulkoisten olosuhteiden takia (Kavaja, 2011). Esimerkiksi kuivan puun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat parempia kuin märällä puulla. Tämä perustuu kuivumisessa tapahtuvaan soluseinämien liikkeeseen, jossa ne liikkuvat lähemmäksi toisiaan ja kiinnittyvät toisiinsa (Puuinfo, 2020).

Lujuusominaisuuksien tarkka määrittely on vaikeaa, koska niihin vaikuttavat puun tiheys ja kuorman suunta (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 28). Tiheys vaikuttaa puun lujuusominaisuuksiin eri puulajien kesken sekä saman puun eri osien välillä (Kavaja, 2011). Mitä suurempi osa puun vuosikasvusta on kesäpuuta, sitä lujempaa puu on. Puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavat myös puun viat (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 31).

### 3.3.3 Viat

Puu on materiaalina sellainen, jonka ominaisuuksiin voidaan valmistusvaiheessa vaikuttaa vain hyvin vähän (Siikanen, 2016, s. 24). Puun vioilla tarkoitetaan kaikkia sellaisia poikkeamia normaaliudesta, jotka vaikuttavat sen käyttökelpoisuuteen (Kärkkäinen, 2007, s. 257). Puun viat voidaan ryhmitellä lujuusopillisiin ja ulkonäöllisiin niiden luonteen perusteella (Siikanen, 2016, s. 24).

Monia puun kasvusta johtuvia ominaisuuksia pidetään vikoina (Isomäki ym., 2002, s. 13). Vikaisuutena voidaan pitää esimerkiksi oksien esiintymistä (Kärkkäinen, 2007, s. 269). Myös tuhohyönteiset ja lahottajasienet voivat aiheuttaa vikoja (Isomäki ym., 2002, s. 13). Laholla tarkoitetaan kemiallisesti tai fysikaalisesti lahottajasienen muuttamaa puuta (Kärkkäinen, 2007, s. 324).

Oksat aiheuttavat poikkeuksia puun syysuuntiin (Kavaja, 2011, s. 7). Oksan syysuunta on lähes kohtisuorassa puun varsinaista syysuuntaa vastaan. Sen takia oksan kutistuminen ja turpoaminen poikkeaa ympäröivään puuhun nähden. Myös puun käsittely voi aiheuttaa

vikoja, joita ovat esimerkiksi puun kuivauksen aiheuttama kieroutuminen, värimuutokset ja halkeilu (Isomäki ym., 2002, s. 13).

### 3.4 Kuusi – *Picea Abies*

Kotimaisista puulajeista männyn ja koivun ohella kuusien kasvu- ja hakkuumäärät mahdollistavat sen teollisen hyödyntämisen (Rakennustieto, 2005, s. 2). Suomessa kuusta on noin kolmannes koko maan puuston tilavuudesta (Siikanen, 2016, s. 33).

Puuaines on kevyttä, väriltään vaalean kellertävän ruskeaa, eikä siinä ole erityistä kuviointia (Puuinfo, 2020). Vuosirenkaat ovat kaikissa leikkauksissa selkeästi havaittavissa, toisin kuin pienet elävät oksat, joita kuusella esiintyy paljon. Kuusen pintapuu ja sydänpuu ovat tuskin erottuvia.

Kuusen tärkeimpiä soluja ovat trakeidit eli vesisolut, jotka kuljettavat pintakerroksissa vettä ja veteen liuenneita aineita sekä vastaavat puun lujuudesta. (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 25). Kuusen puuaine koostuu 95 prosenttisesti trakeideista, jotka ovat kuolleita putkisoluja (Puuinfo, 2020). Kuusella on trakeidien lisäksi kolmenlaisia tylppysoluja. Ne huolehtivat kuusen kasvutoiminnoista, varastoivat rakennusaineita ja muuttavat niitä eri muotoon.

Materiaalina kuusi on helposti työstettävissä ja sen liimattavuusominaisuudet ovat hyvät (Puuinfo, 2020). Sen kuivatuoretiheys on 380 kg/m<sup>3</sup> ja se kuuluu keveisiin puulajeihin (Rakennustieto, 2005, s. 2). Kuusen leikkauslujuus on C30 lujuusluokassa standardin EN 338 mukaan 4,0 N/mm<sup>2</sup> (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2016, s. 7).

### 3.5 Puutavaran lajittelu

Käyttötarkoitus asettaa puutavaran ominaisuuksille ja laadulle erilaisia vaatimuksia (Kavaja, 2011, s. 13). Lujuusominaisuudet ratkaisevat kantavissa puurakenteissa, kun taas rakenteissa, joissa puun pinta jää näkyviin, on huomioitava myös ulkonäköseikat.

### 3.5.1 Laatuoluokitus

Vähintään neljältä sivulta sahatulle puulle käytetään nimitystä sahatavara (Siikanen, 2016, s. 58). Laatuoluokituksessa ulkonäkö ratkaisee, mihin laatuoluokkaan sahatavara kuuluu (Puuinfo, 2020). Yleisin laatuoluokan määräävä ominaisuus on oksaisuus (Siikanen, 2016, s. 58). Tärkeimpiä laatuoluokituksen kriteerejä on oksien koko, sijainti, lukumäärä, ja laatu. Laatuoluokituksessa muita tarkkailtavia tekijöitä ovat esimerkiksi halkeamat, pihkakolot, vaajasärmäisyys, kaarnakorot, kaarnarosot, vinosyisyys, latvamurtuma, lyly, värin muutokset, muotoviat ja käsittelystä johtuvat viat (Puuinfo, 2020). Laatuominaisuuksien perusteella sahatavara jaetaan luokkiin A, B, C ja D (Siikanen, 2016, s. 58). Laatuoluokalla on vaikutusta puutavaran hintaan (Siikanen, 2016, s. 58).

### 3.5.2 Lujuusluokitus

Lujuusluokiteltua puuta käytetään yleensä kantavissa rakenteissa (Kavaja, 2011, s. 20). Sahatavaran lujuuslajittelu voidaan tehdä visuaalisesti perustuen näköhavaintoon tai koneellisesti (Siikanen, 2016, s. 60). Perinteisessä koneellisessa lujuuslajittelumenetelmässä kappaletta taivutetaan, minkä perusteella saadaan kimmomoduuli ja tämän avulla lujuusluokka. Puun syiden, säteen ja tangentin suuntaan kimmomoduuli on erilainen, mutta vedossa, puristuksessa ja taivutuksessa samaa suuruusluokkaa (Kärkkäinen, 2007, s. 215).

Suurin osa sahatavarasta lajitellaan nykyään koneellisilla lujuuslajittelumenetelmillä, joita ovat ominaistajuuden-, konenäkö-, ultraääni-, ja röntgenmittaus (Siikanen, 2016, s. 60). Lujuuslajittelu voidaan tehdä standardin EN 338 mukaan sahatavaralle luokissa C14-C30 visuaalisesti tai koneellisesti ja suuremmissa luokissa vain koneellisesti (SFS, 2016, s. 10).

## 4 LIIMAUSOLOSUHTEET JA TESTAUSMENETELMÄT

### 4.1 Puupinnan vaikutus ja liimauksen edellytykset

Laatuominaisuuksista tärkeimpiä liimauksessa ovat puupinnan sileys, eheys ja puhtaus (Puuproffa, i.a.-a). Liimattavuuteen vaikuttaa myös puun rakenne, liimattavan pinnan laatu, kosteus ja puun kasvuviat (Rakennustieto, 2006, s. 3). Puulajit poikkeavat hieman toisistaan liimattavuudessa. Puulle ominaista on sen anisotrooppinen rakenne, eli lähes kaikki puun ominaisuudet ovat erilaisia puun syiden ja vuosirenkaan tangentin sekä säteen suunnissa (Isomäki ym., 2002, s. 113). Liimaaminen puun syiden poikkileikkaussuunnassa on vaikeinta, mikä johtuu puun rakenteesta, koska syiden rakenteen takia liimalla on tartunta-pinta-alaa vain vähän ja liima pyrkii imeytymään puun sisälle (Rakennustieto, 2006, s. 3).

Puun soluissa voi olla uuteaineita, joiden määrä vaihtelee puulajeittain (Skeist, 1990, s. 602). Vaikka ne ovat yleensä pieniä (alle 5 %), esimerkiksi sydänpuussa, niitä voi olla jopa 10–30 %. Uuteaineet voivat estää liiman tunkeutumisen tai kovettumisreaktion. Puulajin öljypitoisuus vaikuttaa myös liiman tarttuvuuteen (Rakennustieto, 2006, s. 3). Puuaine on yleensä hieman hapanta, siksi puu kestää hyvin lievästi happamia liimoja

Liimauksen onnistumiseen on puupinnan karkeudella ja muodolla suuri vaikutus (Isomäki ym., 2002, s. 113). Parhaan liimaustuloksen saavuttaa höylätyllä ja sileällä pinnalla (Puuproffa, i.a.-a). Höyläyksen tarkoitus on parantaa puun mittatarkkuutta ja antaa pinnalle haluttu sileysaste ja muoto (Siikanen, 2016, s. 57). Karkeus voi aiheutua myös esimerkiksi puun anatomisesta rakenteesta, työstön aiheuttamasta karkeudesta tai kappaleen muotovirheestä (Isomäki ym., 2002, s. 113). Havupuilla liimausta vaikeuttaa lisäksi pinta- ja sydänpuun ero.

### 4.2 Liimauksen työvaiheet

Liima-aineet valmistetaan liimatehtaissa, joista ne kuljetetaan käyttäjille (Isomäki ym., 2002, s. 117). PVAc-pohjaiset liimat ovat yleensä valmiita tuotteita, joille on tehtävä tarkastus ja tutkittava tärkeimmät liimaukseen vaikuttavat ominaisuudet (Puutuoteteollisuus, i.a.-

a). Työstetyt pinnat tulisi liimata heti työstön jälkeen, ettei liimasaumaa heikentäviä epäpuhtauksia ehdi kertyä puhtaille pinnoille (Rakennustieto, 2006, s. 3).

Liimauksen onnistumisen kannalta liiman levitys on oleellinen työvaihe (Isomäki ym., 2002, s. 118). Tavoitteena on saavuttaa sopivalla liimamäärällä tasainen ja riittävä levitys, jolla liimasauman vaatimukset täyttyvät. Tarvittaessa liimattavan kappaleen pinta puhdistetaan ja sen jälkeen liima levitetään toiselle liimattavalle pinnalle tai molemmille pinnoille (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 369). Yksipuolista liiman levitystä käytetään yleensä, kun liimataan puuta tai muita huokoisia materiaaleja.

Liimoja voidaan levittää esimerkiksi käsin siveltimellä, telalla, tai lastalla (Isomäki ym., 2002, s. 118). Laajemmille pinnoille liimaa voidaan levittää myös telakoneella, valukoneella tai ruiskutuksella (Isomäki ym., 2002, s. 119). Puuainekseen liima tunkeutuu riittävästi vain nesteinä (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Neste työntää pois puuaineksen pinnalle kertyneet epäpuhtaudet, edellyttäen, että liima leviää ja kostuttaa riittävästi liimattavia pintoja. Hyvä kosteus, eli liiman ja puupinnan tiivis molekyyli-tason kosketus, on välttämätöntä, mutta se ei yksin riitä hyvän ja kestävä liitoksen saamiseen (Skeist, 1990, s. 600).

Osat liitetään toisiinsa ja voidaan laittaa puristimeen paremman kiinnityksen saamiseksi (Siikanen & Siikanen, 2023, s. 369). Liimat tunkeutuvat kappaleeseen, täyttävät niiden pinnan epätasaisuudet ja kovettuessaan sitovat kappaleet yhteen (Isomäki ym., 2002, s. 113). Tarvittavan puristuspaineen määrä ja aika riippuu liimatyyppistä, kovettumistavasta ja käytetystä puulajista (Isomäki ym., 2002, s. 119). Yksinkertaisimpia puristimia ovat kitka- ja ruuvipuristimet ja suuremmille paineille on hydraulisesti toimivia laitteita.

#### **4.2.1 Suhteellinen kosteus**

Rakennustekniikassa on yleisimmin ilman kosteudesta käytetty suure suhteellinen kosteus eli RH (Siikanen, 2014, s. 68). Se ilmoittaa prosentteina kuinka paljon vesihöyryä tietynlämpöinen ilma sisältää sen enimmäisvesihöyrymäärästä.

## 4.2.2 Puun kosteuspitoisuuden määrittäminen

Puun kosteuspitoisuus ilmoitetaan prosentteina, ja sillä tarkoitetaan puussa olevan veden määrän suhdetta kuivapainoon (Puinfo, 2020). Nykyisin käytössä on myös sähköisiä mitta-  
tareita, mutta niiden tarkkuus on melko heikko (Isomäki ym., 2002, s. 48). Tarkimmin kosteuspitoisuus saadaan selvitettyä punnitusmenetelmällä. Puukappale punnitaan märkänä, kuivataan uunissa ja punnitaan uudelleen kuvauksen jälkeen. Kosteus saadaan määritettyä Standardin SFS-EN 13183-1 (SFS, 2002, s. 5) mukaan kaavalla

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 \quad (1)$$

missä

- $m_1$  on kappaleen massa ennen kuivausta;
- $m_0$  on kappaleen massa absoluuttisen kuivana;
- $\omega$  on kosteuspitoisuus prosentteina.

## 4.3 Testauksen periaatteet ja menetelmät

Liimaliitoksen lujuuden selvittäminen on tärkeää, jotta voidaan varmistua sen kestäväydestä käyttökohteessa ja siellä ilmenevässä rasituksessa (3M, i.a.-a). Testit auttavat ymmärtämään liiman käyttäytymistä liitoksessa. Onnistuneeseen liimatestiin vaikuttaa oikeanlaiset testipalat, liiman levitys ja oikein suoritettut testit (Skeist, 1990, s. 97). Liiman ominaisuudet ja puun rakenne vaikuttavat merkittävästi liitoksen laatuun (Skeist, 1990, s. 600).

Liimasauman testauksen tavoitteena on selvittää testausolosuhteissa sauman kestävyys ja lujuus (Puutuoteteollisuus, i.a.-a). Pienillä testikappaleilla testataan liimasauman ominaisuuksia, ja testauksia hyödynnetään yleensä valmistajan laadunvalvonnassa.

Liimasauma voi vaurioitua joko adheesioauriona tai koheesioauriona (Ebnesajjad, 2011, s. 10). Adheesioaurio tapahtuu liiman ja liimattavan materiaalin rajapinnassa eli liima irta-  
toaa tartuntapinnasta. Koheesioaurio tapahtuu, kun liima hajoaa ja sitä jää kappaleen molemmille puolille. Koheesioaurio voi tapahtua myös liimattavassa materiaalissa, mikä tarkoittaa, että materiaali hajoaa ennen liimasaumaa.

### 4.3.1 Standardi SFS-EN 205:2016

Standardi käsittää liimoista puuliimat, jotka ovat tarkoitettu ei-rakenteellisiin tarkoituksiin ja sen avulla voidaan liimaliitosten vetoleikkauslujuus kestävyys määrittää (SFS, 2016, s. 1). Standardia voidaan hyödyntää puuliimojen ja puutuotteista johdettujen materiaalien liimojen käytettävyyden ja laadun arviointiin (SFS, 2016, s. 4). Standardissa on määritelty testikappaleiden koot ja olosuhteet. Ennen testien suoritusta testikappaleiden tulisi asettua valitsevaan lämpötilaan ja ilmankosteuteen seitsemän vuorokauden ajan (SFS, 2016, s. 6). Testikappaleita tulisi olla 20 (SFS, 2016, s. 8).

Liimaliitoksen leikkauslujuustestissä saadun leikkausvoiman ja liimauspinta-alan avulla voidaan laskea liiman leikkauslujuus alla olevasta kaavasta (SFS, 2016, s. 9).

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} \quad (2)$$

missä

- $\tau$  on leikkauslujuus (N/mm<sup>2</sup>);
- $F_{max}$  on leikkausvoima (N);
- $A$  on leikkauspinta-ala (mm<sup>2</sup>).

Tuloksissa ilmoitetaan arvioitu puumurtuman osuus prosentteina, luokiteltuna seuraavasti: 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % (SFS, 2016, s. 10).

### 4.3.2 Standardi ASTM D905-08

Standardi käsittää puulle tai samankaltaisille materiaaleille tehtävien liimaliitosten leikkauskestävyyttä (ASTM, 2021, s. 1). Standardin mukaan liimaolosuhteet määritetään liiman valmistajan ohjeiden mukaan. Testin myötä ei voida olettaa, että saadaan selville kappaleiden todellinen leikkauslujuus, koska useat tekijät vaikuttavat mittauksiin ja vääristävät sitä, kuten puun lujuus, näytteen lujuus, leikkaustyökalujen rakenteet ja kuormituksen nopeus (ASTM, 2021, s. 2).

Kuormitusnopeudella on vaikutusta liimasauman lujuuteen (ASTM, 2021, s. 2). Termoplastiset liimat, kuten polyvinyyliasetaattiliimat, ovat hyvin elastisia ja omaavat erilaisia

käyttäytymismalleja. Niiden saumalujuudet vaihtelevat kuormitusnopeuden muuttuessa. Testimenetelmä soveltuu esimerkiksi tuotekehitykseen, liimojen laadunvarmistukseen tai liimausprosessin valvontaan. Menetelmällä saadut tulokset eivät ole suoraan soveltuvia suunnittelun leikkauslujuusarvoksi ilman lisätarkasteluja.

Standardissa on määritelty vaahterasta valmistetuille testikappaleille koot (ASTM, 2021, s. 3). Testikappaleissa ei saa ilmetä puun vikoja ja ne liimataan yhteen siten, että syyt ovat samansuuntaisia. Liima on levitettävä testikappaleille ja puristettava liimanvalmistajan suosittelemalla menetelmällä ja ohjeiden mukaisesti.

Testikappaleiden kosteuspitoisuuden pitäisi olla liiman valmistajan hyväksymissä rajoissa, ja jos tätä ei ole määritetty, pitäisi kosteuspitoisuuden olla 10–12 % (ASTM, 2021, s. 3). Testikappaleet tulee sahata juuri ennen liimausta ja niiden tulee olla puhtaita. Liimauksen jälkeen ne saavat kuivua 7 vuorokautta ennen varsinaista leikkauslujuustestiä. Testikappale asetetaan leikkaustyökaluun ja kuormitetaan nopeudella 5 mm minuutissa murtumiseen asti.

#### **4.4 Tarkasteltavat liimat**

Standardin SFS-EN 204:2016 mukaan liimat jaetaan neljään eri luokkaan niiden kosteuskestävyyden mukaan (SFS, 2016, s. 5). Liimat testataan standardilla SFS-EN 205:2016, jonka mukaan niiden luokka määritellään D1– D4.

D2-luokkaan kuuluvat puuliimat ovat tarkoitettu käytettäväksi sisätiloissa, joissa voi olla satunnaista lyhytaikaista altistumista juoksevalle tai tiivistyneelle vedelle ja/tai satunnaisesti korkealle kosteudelle, kunhan puun kosteuspitoisuus ei ylitä 18 % (SFS, 2016, s. 5).

Tutkimuksissa tarkasteltiin kolmea PVAc-pohjaista D2-luokkaan kuuluvaa puuliimaa, jotka ovat käyttötarkoitukseltaan hyvin samankaltaisia. Vaikka tuotteet ovat keskenään hyvin samantyyppisiä, on niiden käyttöohjeissa eroja esimerkiksi puristusajan, työskentelylämpötilan ja vaadittavan puun kosteusprosentin suhteen. Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi yksityiskohtaisemmin liimojen käyttöohjeita ja niiden erityispiirteitä.

#### 4.4.1 Eri Keeper

Eri Keeper (kuva 1) on lähes kaikkien suomalaisten tuntema yleisliima (Eri Keeper, i.a.-a). Se on D2-luokkaan kuuluva yleis- ja puuliima askartelukäyttöön (Eri Keeper, 2015).



Kuva 1. Eri Keeper yleis- ja puuliima.

##### Tekniset tiedot:

- pH 4–6
- työskentelylämpötila +10°C - +70°C
- avoin aika n. 10 min riippuen lämpötilasta ja kosteudesta
- puun kosteusprosenttia ei ole määritelty
- kuivumisaika 30 min–6 h
- puristusaika 30 min–6 h
- pehmeille puille yksipuolinen levitys
- liimattavien pintojen tulee olla pölyttömiä, kuivia ja puhtaita
- menekki n. 100–200 g/m<sup>3</sup>
- työvälineet: sivellin tai harja

#### 4.4.2 Kiilto Pro 66 Yleis-/puuliima

Kiilto Pro 66 Yleis-/puuliima (kuva 2) on puutöihin ja kalusteasennuksiin soveltuva D2-luokan monikäyttöinen yleisliima (Kiilto, 2024).



Kuva 2. Kiilto Pro 66 yleis-/puuliima.

##### Tekniset tiedot:

- pH n.7
- työskentelylämpötila: normaali huoneenlämpö, materiaali ja liima on lämmentävä samaan lämpötilaan.
- avoin aika 5–10 min
- puun kosteusprosentti 6–15 %
- Kuivumisaikaa ei kerrota, vaihtelee olosuhteiden mukaan.
- puristusaika 10–20 min
- kaikille materiaaleille yksipuolinen levitys
- Menekkiä ei kerrota.
- Työväliisiin ei oteta kantaa.
- Täyttää M1-päästöluokituksen.

#### 4.4.3 Biltema puuliima sisäkäyttöön

Bilteman puuliima (kuva 3) on yksikomponenttinen, termoplastinen ja vesipohjainen PVAc-tyyppinen D2-luokkaan kuuluva puuliima, jota käytetään pääasiassa puun liimaamiseen, saumaliimauksiin, tapituksiin, viilutuksiin, asennusliimauksiin, kehyslistojen valmistukseen (Biltema, i.a.-a).



Kuva 3. Bilteman puuliima sisäkäyttöön.

#### Tekniset tiedot:

- pH n. 4–5
- työskentelylämpötila +18 – +20 °C
- avoin aika 5–10 min
- puun kosteusprosentti 8–12 %
- kuivumisaika: täysi kovettuminen kestää n. vuorokauden
- puristusaika (20 °C, 50 % R.H.): 8–20 min
- pehmeille puille yksipuolinen levitys
- liimattavien pintojen tulee olla pölyttömiä ja puhtaita
- menekki n. 150–200 g/m<sup>3</sup>
- työvälineet: tela, hammastettu lasta tai sivellin

## 5 TUTKIMUS

### 5.1 Suunnittelu ja koekappaleiden valmistus

Testausta suunniteltiin tutustumalla olemassa oleviin standardeihin. Suunnittelussa lähdettiin mukailemaan standardia ASTM D905-03.

Sen mukaan testikappaleet tulisi olla vaahterasta valmistettuja, mutta materiaaliksi testauksiin valikoitui kuusi, koska se on yleisesti käytössä rakentamisessa ja helposti saatavilla. Koekappaleita lähdettiin valmistelemaan lujuusluokitellusta luokan C30 kuusilankusta (kuva 4).



Kuva 4. Testeihin valitut kuusilankut.

Lankuista sahattiin ensin pieni pala, joka punnittiin (kuva 5). Tämän jälkeen se laitettiin uunikuivaukseen, jotta saatiin selville puun paino absoluuttisen kuivana. Kuivauksen jälkeen puun kosteuspuiteisuus saatiin selvitettyä kaavalla (1). Tällä tavoin puun kosteusprosentiksi saatiin laskettua 9,35.



Kuva 5. Puukappaleen punnitus.

Puusta valmistettiin koekappaleita jokaista liimaa varten kymmenen kappaletta sahapintaisena ja kymmenen kappaletta höyläpintaisena. Kappaleiden mitat ovat 55 mm x 45 mm x 20 mm. Tutkimuksissa käytetyt mitat eivät vastaa standardin mittoja.

## 5.2 Liimaus

Ennen liimausta koekappaleiden joukosta karsittiin pois vialliset kappaleet, joissa oli esimerkiksi oksia, halkeamia tai pihkaa (kuva 6). Liimaukset suoritettiin heti puun työstön jälkeen, ja pinnoilta puhdistettiin irtonainen pöly ennen liiman levitystä.



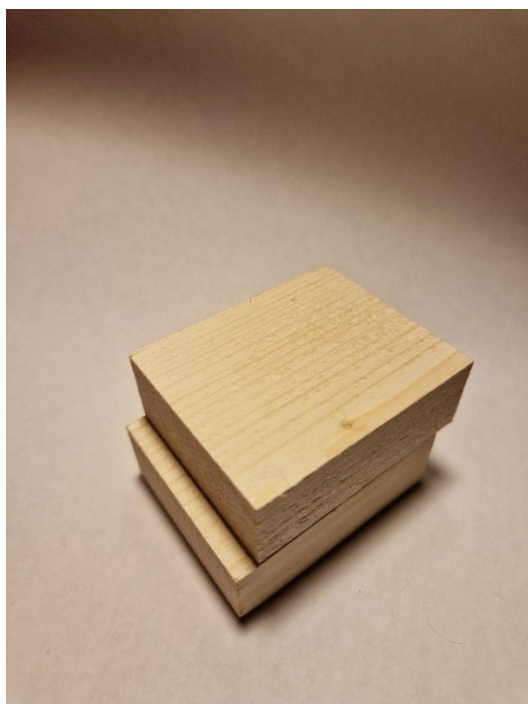
Kuva 6. Vialliset koekappaleet.

Liiman määrä arvioitiin silmämääräisesti ja levitettiin siveltimellä toiselle liimattavalle pinnalle (kuva 7).



Kuva 7. Liiman levitys siveltimellä.

Koekappaleet liimattiin kuvan 8 mukaisesti niin että liimapinta-alaksi tuli  $2250\text{mm}^2$ . Liimat-  
tuja kappaleita puristettiin tunnin ajan ruuvipuristimilla.



Kuva 8. Koekappaleiden liimauseriaate.

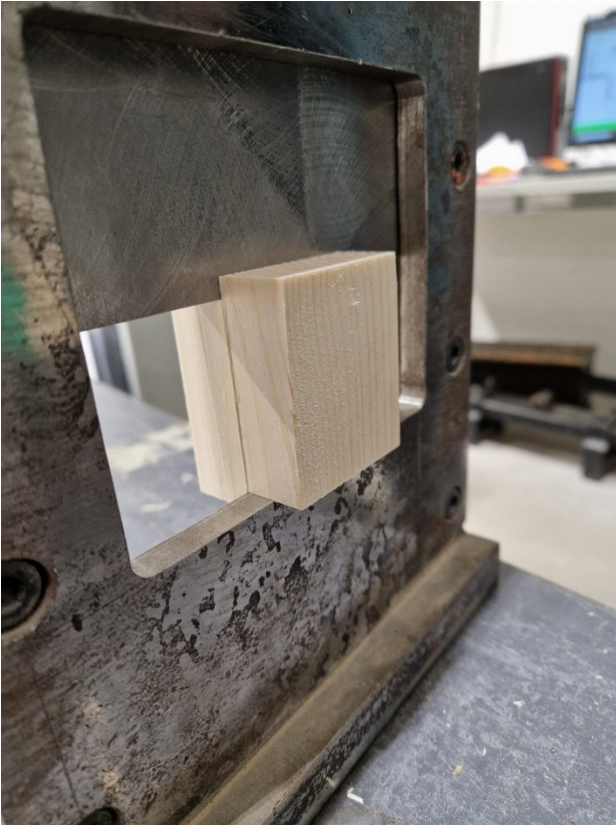
Liimaukset suoritettiin 20,7 °C:n lämpötilassa ja 28,7 %:n suhteellisessa kosteudessa. Testattavien kappaleiden annettiin kuivua samoissa olosuhteissa viikon ajan (kuva 9). Eri liimoilla liimatut kappaleet merkittiin omilla tunnistetiedoilla.



Kuva 9. Koekappaleet kuivumassa.

### 5.3 Leikkauslujuustestin suoritus

Liiman leikkauslujuustestissä mukailtiin standardia ASTM D905-03. Testillä haluttiin määrittää liimaliitoksen leikkauslujuus. Testauksessa hyödynnettiin giljotiin testiä. Giljotiin testillä liimasaumaa rasitetaan syysuuntaisesti kuvan 10 mukaisesti. Koekappaletta kuormittaa giljotiinin keskellä oleva levy, joka kuormittaa liimasaumaa keskeisesti ja rikkoo liimasauman.



Kuva 10. Giljotiinitestin toimintaperiaate.

Kappaleita kuormitettiin Zwick Roell 100 kN -aineenkoestuskoneella standardin mukaisella siirtymänopeudella 5 mm minuutissa. Koe pysäytettiin liitoksen pettäessä. Suurin saavutettu kuormitusvoima ja liimaliitoksen murtumistyyppi kirjattiin ylös.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Leikkauslujuuskokeella saavutetut tulokset

Taulukoissa 1–6 on esitetty jokaiselle liimalle suoritettujen testien tulokset. Taulukoissa ilmoitetaan jokaisen testikappaleen murtumisen aiheuttava voima (F) ja liimauspinta-ala (A), joiden avulla on laskettu kaavalla (2) liimaliitoksen leikkauskestävyys ( $F_v$ ). Tulokset ilmoitetaan muodossa  $N/mm^2$ .

Taulukoissa ilmoitettu puumurtumaprosentti arvioitiin silmämääräisesti standardin SFS-EN 205:2016 mukaisella asteikolla 0 %, 25 %, 50 %, 75 % ja 100 %. Ihanteellisin tulos on 100 prosenttia, joka tarkoittaa, että puu on kokonaan hajonnut ja pettänyt ennen liimasaumaa. Tämä on usein toivottava tilanne ja tarkoittaa, että liima toimii hyvin. 0 % puolestaan tarkoittaa, että liimasauma on pettänyt niin ettei puu ole murtunut. Eli liima on ollut puuta heikompiä. Murtumatyyppi on puumurtumaprosentin avulla silmämääräisesti arvioitu liimaliitoksen pääasiallinen hajoamistapa. Se voi tarkoittaa liiman, puun tai molempien pettämistä. Kuvassa 11 on näkyvillä eriasteisia puumurtumia.



Kuva 11. Puumurtumat

### 6.1.1 Sahapinnan liimaukset

Taulukoissa 1–3 on esitetty sahapinnalle liimattujen koekappaleiden liimaliitosten leikkauslujuustesteissä saavutetut tulokset.

Taulukossa 1 on esitetty Eri Keeperillä liimattujen koekappaleiden tulokset. Liimaliitosten murtumat ovat pääasiassa puun koheesiovaurioita.

Taulukko 1. Eri Keeper -liiman tulokset (sahapinta).

Kpl	F (N)	A (mm <sup>2</sup> )	Fv (N/mm <sup>2</sup> )	Puumurtuma%	Murtumatyyppi
1	7132,068	2250	3,17	50	puu/liima
2	6301,507	2250	2,80	0	liima
3	3132,123	2250	1,39	0	liima
4	14931,78	2250	6,64	50	puu/liima
5	12595,22	2250	5,60	25	liima, osittain puu
6	19481,97	2250	8,66	100	puu
7	12320,73	2250	5,48	100	puu
8	16279,9	2250	7,24	100	puu
9	8382,377	2250	3,73	100	puu
10	9919,287	2250	4,41	50	puu/liima

Taulukossa 2 on esitetty Kiilto Pro 66 yleis-/puuliimalla liimattujen koekappaleiden tulokset. Liimaliitosten murtumistavassa on paljon vaihtelua.

Taulukko 2. Kiilto Pro 66 -yleis-/puuliiman tulokset (sahapinta).

Kpl	F (N)	A (mm <sup>2</sup> )	Fv (N/mm <sup>2</sup> )	Puumurtuma%	Murtumatyyppi
1	19329,4	2250	8,59	100	puu
2	8026,5	2250	3,57	0	liima
3	8368,31	2250	3,72	25	liima, osittain puu
4	13177,1	2250	5,86	50	puu/liima
5	8504,78	2250	3,78	25	liima, osittain puu
6	13078,7	2250	5,81	0	liima
7	9365,46	2250	4,16	50	puu/liima
8	5537,64	2250	2,46	0	liima
9	8840,14	2250	3,93	25	liima, osittain puu
10	10080,7	2250	4,48	50	puu/liima

Taulukossa 3 on esitetty Biltman puuliimalla liimattujen koekappaleiden tulokset. Liimaliitosten murtumat ovat enimmäkseen puun koheesiovaurioita.

Taulukko 3. Bilteman puuliiman tulokset (sahapinta).

Kpl	F (N)	A (mm <sup>2</sup> )	Fv (N/mm <sup>2</sup> )	Puumurtuma%	Murtumatyyppi
1	4102,19	2250	1,82	0	liima
2	8977,34	2250	3,99	25	liima, osittain puu
3	7689,17	2250	3,42	25	liima, osittain puu
4	11441,4	2250	5,09	75	puu, osittain liima
5	11900,5	2250	5,29	75	puu, osittain liima
6	7245,02	2250	3,22	0	liima
7	11009,1	2250	4,89	50	puu/liima
8	13801,8	2250	6,13	100	puu
9	13343,4	2250	5,93	100	puu
10	18200,7	2250	8,09	100	puu

### 6.1.2 Höyläpinnan liimaukset

Taulukoissa 4–6 on esitetty höylätylle pinnalle liimattujen koekappaleiden liimaliitosten testeissä saavutetut tulokset.

Taulukossa 4 on esitetty Eri Keeperillä liimattujen koekappaleiden tulokset. Kaikissa kappaleissa liimaliitoksen murtumat ovat liiman koheesiovaurioita.

Taulukko 4. Eri Keeper -liiman tulokset (höyläpinta).

Kpl	F (N)	A (mm <sup>2</sup> )	Fv (N/mm <sup>2</sup> )	Puumurtuma%	Murtumatyyppi
1	9022,397	2250	4,01	0	liima
2	14607,77	2250	6,49	0	liima
3	10828,05	2250	4,81	0	liima
4	11028,95	2250	4,90	0	liima
5	7456,891	2250	3,31	0	liima
6	11620,78	2250	5,16	0	liima
7	16534,57	2250	7,35	0	liima
8	13511,56	2250	6,01	0	liima
9	7068,307	2250	3,14	0	liima
10	5231,722	2250	2,33	0	liima

Taulukossa 5 on esitetty Kiilto Pro 66 -yleis-/puuliimalla liimattujen koekappaleiden tulokset. Koekappaleet ovat pääasiassa hajonneet liiman koheesiovauriona.

Taulukko 5. Kiilto Pro 66 -yleis-/puuliiman tulokset (höyläpinta).

Kpl	F (N)	A (mm <sup>2</sup> )	Fv (N/mm <sup>2</sup> )	Puumurtuma%	Murtumatyyppi
1	14627,08	2250	6,50	0	liima
2	9950,033	2250	4,42	25	liima, osittain puu
3	7575,658	2250	3,37	50	puu/liima
4	9499,487	2250	4,22	100	puu
5	4589,997	2250	2,04	0	liima
6	11590,82	2250	5,15	0	liima
7	5730,658	2250	2,55	0	liima
8	15024,72	2250	6,68	0	liima
9	17527,4	2250	7,79	50	puu/liima
10	16013,99	2250	7,12	100	puu

Taulukossa 6 on esitetty Biltman puuliimalla liimattujen koekappaleiden tulokset. Liimaliitosten murtumat ovat enimmäkseen puun koheesiovaurioita.

Taulukko 6. Biltman puuliiman tulokset (höyläpinta).

Kpl	F (N)	A (mm <sup>2</sup> )	Fv (N/mm <sup>2</sup> )	Puumurtuma%	Murtumatyyppi
1	12338,95	2250	5,48	25	liima, osittain puu
2	9520,211	2250	4,23	0	liima
3	6275,119	2250	2,79	0	liima
4	10497,65	2250	4,67	100	puu
5	12017,4	2250	5,34	0	liima
6	15348,51	2250	6,82	50	puu/liima
7	17343,61	2250	7,71	100	puu
8	10393,29	2250	4,62	25	liima, osittain puu
9	12637,31	2250	5,62	0	liima
10	7388,077	2250	3,28	0	liima

## 6.2 Tulosten yhteenveto

Taulukkoon 7 on laskettu taulukoiden 1–6 perusteella keskiarvot liimojen leikkauskestävyyksille ja puunmurtumaprosenteille.

Taulukko 7. Leikkauslujuuden ja puumurtumaprosentin keskiarvot.

<b>Sahapinta</b>	<b>Leikkauskestävyys (N/mm<sup>2</sup>) Keskiarvo</b>	<b>Puumurtuma (%) Keskiarvo</b>
Eri Keeper	4,91	57,5
Kiilto	4,64	32,5
Biltema	4,79	55
<b>Höyläpinta</b>	<b>Leikkauskestävyys (N/mm<sup>2</sup>) Keskiarvo</b>	<b>Puumurtuma (%) Keskiarvo</b>
Eri Keeper	4,75	0
Kiilto	4,98	32,5
Biltema	5,06	30

Taulukon 7 avulla huomataan, ettei testauksilla saatu aikaan liimojen kestävyiden suhteen suuria eroavaisuuksia.

Eri Keeperin ja Bilteman puuliiman kohdalla sahapintaisilla testipaloilla pääasiallinen murtumistyyppi oli puun koheesioaurio, mikä tukee teoriaa siitä, että epätasaisella pinnalla liimalla on enemmän pinta-alaa mihin tarttua ja se pääsee paremmin ankkuroitumaan puuhun imeytymällä huokoiseen pintaan. Useimmat testipalat menivät rikki puun pettäessä, joten liiman todellinen leikkauslujuus on saatuja arvoja suurempi.

Höylätylle pinnalle liimattujen testipalojen pääasiallinen murtumistyyppi oli liiman koheesiomurtuma. Varsinkin Eri Keeperin höyläpintaiset testipalat pettivät jokainen liimasta. Puun pinnan käsittely höyläämällä, tai liian kuiva puu saattoi vaikuttaa liiman imeytymiseen puuhun, jolloin liimasauma ei muodostunut riittävän lujaksi.

Kiilto Pro 66 -liiman kohdalla ei ollut eroavaisuuksia puunmurtoprosenteissa sahatun ja höylätyn pinnan välillä, mutta kestävyys oli parempi höylätylle pinnalle liimatessa.

## 7 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Standardin SFS-EN 204:2016 mukaan D2-luokkaan kuuluvien liimojen leikkauskestävyyttä. Tutkimuksissa oli mukana kolme eri PVAc-pohjaista puuliimaa. Puumateriaalina käytettiin kuusta sekä höylätylle että sahatulle puupinnalle. Kokeet suoritettiin standardia ASTM D905-03 mukailleen.

Tulokset osoittivat, että liimasauman laatuun ja kestävyYTEEN vaikuttavat puun anisotrooppinen rakenne ja pinnan käsittelytapa. Suoritettujen leikkauslujuustestien mukaan Kiillon ja Bilteman liima johti parempaan kestävyYTEEN höylätyllä pinnalla, kun taas Eri Keeper toimi paremmin sahapinnalla. Saatujen tulosten pohjalta voidaan siis todeta, että tutkituista liimavaihtoehdoista Eri Keeperiä kannattaa käyttää tilanteessa, jossa tarkoituksena on liimata sahapintaisia kappaleita yhteen ja halutaan saavuttaa suurin kestävyys. Höylätyille pinnoille liimattuna suurin leikkauskestävyys saavutettiin Bilteman puuliimalla.

Työn teoriaosuus tarjosi hyvän pohjan tulosten analysoinnille ja antoi ymmärrystä liimojen toiminnasta sekä puun ominaisuuksien vaikutuksesta liimaukseen. Opinnäytetyön avulla saatiin hyödyllistä tietoa D2-luokkaan kuuluvien puuliimojen suorituskyvystä eri tavoilla käsitellyillä puupinnoilla. Aihe vaatisi kuitenkin lisätutkimuksia, jotta liimojen todelliset kestävyudet saataisiin selville. Tutkimusstandardina voisi hyödyntää SFS-EN 205:2016 standardia, jossa liimasaumojen pinta-ala on pienempi kuin nyt testauksissa hyödynnetyn standardin. Leikkauslujuustesteissä olisi hyvä käyttää puumateriaalina jotain tiheämpää ja kovempaa puulajia, jotta liiman kestävyysrajat tulisivat vastaan ennen puun murtumaa.

## LÄHTEET

3M. (i.a.-a). *Liimat ja teipit*. [https://www.3msuomi.fi/3M/fi\\_FI/bonding-and-assembly-ndc/training-education/adhesion-basics/](https://www.3msuomi.fi/3M/fi_FI/bonding-and-assembly-ndc/training-education/adhesion-basics/)

ASTM (2021). *Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading* (ASTM D905-03)

Aven, S. (1984). *Handboken Bygg. Material, produkter och arbetsteknik*. LiberFörlag.

Biltema. (i.a.-a). *Puuliima sisäkäyttöön*.

[https://www.biltema.fi/rakentaminen/liimat/puuliimat/puuliima-sisakayttoon-750-ml-2000053976?gad\\_source=1&gclid=EAlalQobChMlvJfupaOOiwMVWBiiAx0BahBpEAQYAiABEglywPD\\_BwE](https://www.biltema.fi/rakentaminen/liimat/puuliimat/puuliima-sisakayttoon-750-ml-2000053976?gad_source=1&gclid=EAlalQobChMlvJfupaOOiwMVWBiiAx0BahBpEAQYAiABEglywPD_BwE)

Ebnesajjad, S. (2011). *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. Elsevier/WA

Erikeeper. (i.a.-a). *Historia*. <https://www.erikeeper.fi/fi/historia/>

Erikeeper. (i.a.-b). *Tuoteseloste*. [https://erikeeper.fi/media/erikeeper\\_tuoteseloste.pdf](https://erikeeper.fi/media/erikeeper_tuoteseloste.pdf)

Isomäki, O., Koponen, H., Nummela, A., & Suomi-Lindberg, L. (2002). *Puutuoteteollisuus 2: Raaka-aineet ja aihiot*. Edita Prima.

Kavaja, R. (2011). *Rakennuksen puutyöt*. (14. p.). Rakennustieto.

Kiilto. (18.07.2024). *Kiilto Pro 66 Yleis-/puuliima*. <https://pim.kiilto.com/kiilto-pim-api/api/pdf/download/e272b115-0bd4-43fd-88c6-c7a24ce1ee4a>

Kärkkäinen, M. (2007). *Puun rakenne ja ominaisuudet*. Metsäkustannus

Puuinfo. (18.06.2020). *Kuusi – Picea Abies*. <https://puuinfo.fi/puutieto/puulajit/kuusi-picea-abies/>

Puuinfo. (15.07.2020). *Mänty ja kuusi*. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/manty-ja-kuusi/>

Puuinfo. (01.07.2020). *Puun kosteuskäyttäytyminen*. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>

Puuproffa. (i.a.-a). *Liimattavuus*. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-liimaus/liimattavuus/>

Puuproffa. (i.a.-b). *Liimat (Puun liimaus)*. [https://puuproffa.fi/puutieto/puun-liimaus/liimat/?utm\\_source=chatgpt.com](https://puuproffa.fi/puutieto/puun-liimaus/liimat/?utm_source=chatgpt.com)

Puuproffa. (i.a.-c). *Puun liimaus*. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-liimaus/>

Puutuoteteollisuus. (i.a.-a). *Liimaus*. [http://03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/alkutuotteiden\\_jalostus/liimaus/index.html](http://03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/alkutuotteiden_jalostus/liimaus/index.html)

Puutuoteteollisuus. (i.a.-b). *Puuaineen ominaisuuksia*. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/raaka-aineet/puuaineen\\_ominaisuuksia/index.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/raaka-aineet/puuaineen_ominaisuuksia/index.html)

Rakennustieto. (2005). *Kuusi* (Sit 24-610012)

Rakennustieto. (2006). *Puuliitokset* (Sit 24-610023)

Siikanen, L., & Siikanen, U. (2023). *Rakennusaineoppi* (8. uud. p.). Rakennustieto.

Siikanen, U. (2014). *Rakennusfysiikka*. Rakennustieto.

Siikanen, U. (2016). *Puurakentaminen* (2. p.). Rakennustieto.

Skeist, I. (1990). *Handbook of Adhesives*. (3. p.). Springer

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2016). *Adhesives. Wood adhesives for non-structural applications. Determination of tensile shear strength of lap joints* (SFS-EN 205:2016)

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2016). *Classification of thermoplastic wood adhesives or non-structural applications* (SFS-EN 204:2016).

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2002). *Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1: Determination by oven dry method* (SFS-EN 13183-1).

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2016). *Structural timber. Strength classes* (SFS-EN 338).