

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan koulutusohjelma

Terhi Reponen  
Toni Väistö

CLT:N KÄYTTÖ PIHARAKENNUKSISSA

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2016**  
**Rakennustekniikka**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
013 260 600

Tekijä(t)  
Terhi Reponen  
Toni Väistö

Nimeke  
CLT:n käyttö piharakennuksissa

Toimeksiantaja  
Hirsiveisto Laasonen Ay

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin CLT:n soveltuvuutta pieniin piharakennuksiin ja pihasaunoihin. Opinnäytetyö on tehty Hirsiveisto Laasonen Olotar-mallistoon.

Opinnäytetyö esittelee CLT:tä materiaalina, elementin erilaisia liimavaihtoehtoja ja rakennusfysiikkaa. Työtä varten on tehty eurokoodien mukainen Excel-pohja lujuuslaskelmista ja yhden esimerkkimallin kuvat CLT:tä käyttäen, mitä voidaan soveltaa eri malleihin.

Rakennusfysiikan osassa tutkittiin materiaalin lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä erityisesti saunarakennuksissa. Käyttäytymistä on tarkasteltu WUFI-mallinnusohjelmalla sekä pienimuotoisella sääkaapitestillä.

Vaikka nykyiseltään elementtivalmistajat eivät lupaa CLT:n käyttöä käyttöluokka III:ssa, soveltuu CLT esimerkiksi kantavuutensa ja helpon rakennusvaiheen kannalta hyvin pieniin piharakennuksiin. Saunarakennuksia suunniteltaessa on otettava huomioon, että CLT:n liima soveltuu kyseisiin olosuhteisiin.

Kieli  
suomi

Sivuja 63  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 31

Asiasanat

CLT, ristiin liimattu puu, piharakennukset



**THESIS**  
**May 2016**  
**Degree Programme in Construction Engineering**  
Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
013 260 600

Author (s)  
Terhi Reponen  
Toni Väistö

Title  
Using CLT in Outbuildings

Commissioned by  
Hirsiveisto Laasonen Partnership

Abstract

The aim of this thesis was to study if CLT could be used in cold outbuildings or saunas. The thesis was made for Hirsiveisto Laasonen's Olotar collection.

The thesis introduces CLT as a material, different possibilities for glues in it, and building physics. An Excel file was made for this thesis work that can be used for calculating the strength of these kinds of buildings. The calculations are based on Eurocodes. At the end, there are also construction drawings of one example building.

In the building physics section CLT's temperature and humidity behavior was studied. The behavior was studied with WUFI-program and with small experimental test in a climatic test chamber.

Language

Finnish

Pages 63

Appendices 2

Pages of Appendices 31

Keywords

CLT, cross laminated timber, outbuilding

## Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	CLT .....	5
2.1	Rakenne .....	7
2.2	Lujuus .....	7
2.3	Palonkestävyys .....	8
2.4	Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet .....	9
2.5	Ekologisuus ja terveellisyys .....	10
3	Liimat .....	11
4	Rakennusfysikaaliset tulokset .....	13
4.1	WUFI .....	13
4.2	Sääkaappitesti .....	20
4.3	Testin vaikutus koekappaleeseen .....	24
5	Rakenneratkaisut .....	26
6	Pohdinta .....	29
	Lähteet: .....	31

### Liitteet

Liite 1 Esimerkkirakennuksen kuvat

Liite 2 Mitoituslaskuraportti Excelin pohjalta

(Liitteitä ei julkaistu julkisesti)

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen opinnäytetyö. Toimeksiantajana oli Olotar-tuotteita valmistava Hirsiveisto Laasonen Ay, joka rakentaa muun muassa pihakeittiöitä ja muita pienrakennuksia ympäri Suomea. Työ lähti toimeksiantajan toiveesta selvittää erilaisia rakennusmateriaaleja ja rakennustapoja rakentamilleen piharakennuksille. Varsinkin CLT kiinnosti heitä ja tässä työssä pohdimme-kin sen mahdollista käyttöä kylmissä pienrakennuksissa. Lähtökohtana pidimme heidän valmiita rankarunkoisia rakennusmalleja, joita lähdimme muuttamaan CLT-rakenteisiksi. Selvitimme myös CLT:n toimivuutta kylmissä oloiloissa, koska se on pääsääntöisesti tarkoitettu lämpimiin sisätiloihin.

Itse tuotteena toimeksiantajalle toimitimme Excel-laskentapohjan sekä rakenne- ja detaljikuvat esimerkkirakennuksesta. Molemmat työt löytyvät tämän opinnäytetyön liitteistä. Excel-taulukolla pystyy laskemaan rakennuksen lujuudet määrättyyn kokoluokkaan asti automaattisesti syöttämällä taulukkoon rakennuksen lähtöarvot. Detaljikuvista näkee, miten rakennuksen eri liitokset ja kiinnitykset toteutetaan, että ne vastaavat lujuuslaskennan ohjeita.

Teimme muutamalle koekappaleelle myös sääkaappitestin, jossa tutkimme CLT:n rakenteellisia muutoksia, kun ilman lämpötila ja kosteus muuttuvat nopeasti radikaalisti. Tutkimme tuloksia mittaamalla koekappaleiden ulkoiset mitat ennen ja jälkeen ja silmämääräisesti mahdollisten rakojen syntyä tai muutosta. Tutkimme myös rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa WUFI:lla Lopuksi arvioimme materiaalin käyttöä kyseisessä kohteessa ja vertasimme sen etuja ja haittoja alkuperäiseen rankarakentamiseen.

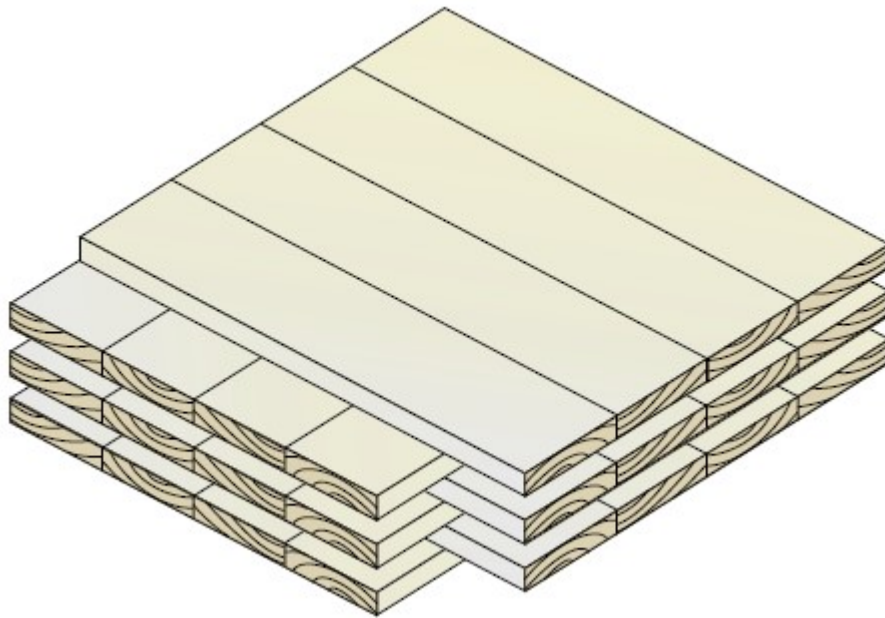
## 2 CLT

CLT on uudenlainen massiivipuinen rakennusmateriaali, jota on kehitelty 1990-luvulta lähtien Itävallassa. Sen käyttö rakentamisessa leviää nopeasti muun

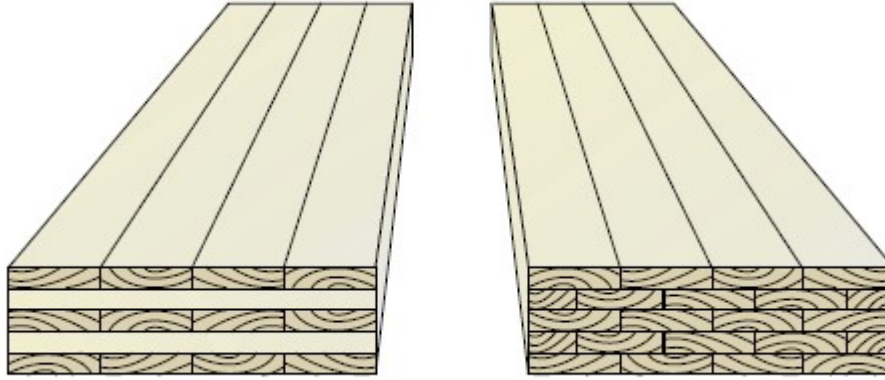
muassa Euroopassa ja Kanadassa. CLT on kilpailukykyinen rakennusmateriaali kohteisiin, joissa nykyisin käytetään betonia ja terästä. (CLT handbook 2013, 17.)

Suomen ja koko Pohjoismaiden ensimmäinen CLT-tehdas Cross Lam Kuhmo aloitti toimintansa kesällä 2014 Kuhmossa. Tuotannossa käytetään kotimaista kainuulaista puuta ja paikallista osaamista. Aiemmin Suomessa rakentamisessa käytetty CLT on tuotettu Stora Enson Itävallan kahdella tehtaalla keskieuropalaisesta puusta. Esimerkiksi Espoon Nuuksiossa sijaitseva Luontokeskus Haltian rakentamisessa on käytetty Stora Enson elementtejä. (Maaseudun Tulevaisuus 2014.)

CLT-levyt ovat massiivipuulevyjä, jotka koostuvat toisiinsa nähden ristikkäin liimatuista lamelleista, mikä näkyy kuvassa 1. Kuva 2 havainnollistaa CLT:n eron tavalliseen liimapuuhun, jossa puun syyt kulkevat samansuuntaisesti. Ristiinliimauksen tuomia etuja ovat muun muassa parantuneet lujuusominaisuudet. (CLT handbook 2013, 22.)



Kuva 1. Ristiinliimattu puulevy (CLT handbook 2013, 20)



Kuva 2. CLT vasemmalla, liimapuu oikealla (CLT handbook 2013, 22)

CLT:n etuja verrattuna muihin perinteisiin rakennusmenetelmiin ovat muun muassa rakenteen keveys, lyhyt pystytysaika, helppo tiiviiden liittymien toteutus ja erinomainen työstettävyys työmaalla (Puuinfo 2016a).

## 2.1 Rakenne

CLT-elementti koostuu vähintään kolmesta ristikkäin liimatusta puulevykerroksesta, jotka liimataan tavallisesti leveämmältä sivulta, joskus myös kapealta sivulta. Liimana käytetään formaldehydittömiä liimoja ja puuna tavallisesti lujuusluokaltaan C24 kuusta, mutta myös muiden puulajien käyttö on mahdollista. (CLT-handbook 2013,19.)

Kerospaksuuksiksi voidaan valita 20–80 mm ja rakenteellisista vaatimuksista riippuen eripaksuisia kerroksia voi olla 3, 5, 7 tai 8, tavallisesti kerroksia on 3 tai 5. CLT-elementtien maksimitat ovat 10 m x 2,95 m Stora Ensolla ja 12 m x 3,2 m Cross Lamilla. Kokoon vaikuttavia tekijöitä ovat kuljetus ja elementtitehtaan työstökoneet. (Puuinfo 2016a.)

## 2.2 Lujuus

Puun lujuuteen vaikuttaa erityisesti se, missä suunnassa syitä vastaan puuta kuormitetaan. Puun syiden suuntainen vetolujuus on tavallisesti noin 10–20-

kertainen verrattuna lujuuteen kohtisuoraan syitä vasten. Puun leikkauslujuus on noin 10–15 % sen vetolujuudesta. (Puuinfo 2016b.)

CLT-levyt sopivat hyvin kantaviksi ja jäykistäviksi rakenteiksi seiniin sekä ylä-, ala- ja välipohjiin sen lujuusominaisuuksien ansiosta (Kiintopuu 2016). Välipohjarakenteissa CLT:n ristiin liimauksen ansiosta rakenteen kuormat jakautuvat kahteen suuntaan lisäten rakenteen lujuutta. (Stora Enso 2013a.)

Lamellien pienet yksittäiset virheet eivät juurikaan huononna rakennetta kokonaisuutena, sillä muut kerrokset häivyttävät virheitä, näin myös elementteihin käytettävien materiaalien hukkaprosentti pienenee. Myös CLT:n pituus- ja leveysuuntainen laajeneminen ja kutistuminen katoavat ristiin liimauksen ja tiiviin yhteen puristamisen ansiosta, mikä tekee CLT:stä käyttövarman ja luotettavan rakennusmateriaalin. (Cross Lam 2014.)

### **2.3 Palonkestävyys**

Massiivipuu on paloturvallinen rakennusmateriaali verrattuna esimerkiksi betoniin. Tullelle altistuneena puu hiiltyy ja kerroksellisuutensa ansiosta CLT:n uloimmat kerrokset suojelevat sisempiä kerroksia romahtamiselta. CLT:n hiiltymisnopeudeksi on määritelty 0,65 mm/min, kun esimerkiksi tavallisen puutavaran hiiltymisnopeus on 0,80 mm/min ja liimapuun 0,70 mm/min. (Puuinfo 2016c.) Hiiltymisnopeuden ennustettavuus helpottaa CLT:n palonkeston mitoitusta.

Jotta palaminen voi alkaa, puun on ensin luovutettava kosteutta. Kosteus alkaa haihtua noin 100 °C:ssa ja 200–300 °C:ssa muodostuu kaasua, mikä reagoiessaan hapen kanssa syttyy palamaan (Stora Enso 2016b.) Syttymisnopeuteen vaikuttaa myös se, kuinka kauan puu on altistunut kuumuudelle (Puuinfo 2016c).

Rakennuksissa kantavat ja osastoivat rakennusosat jaetaan eri paloluokkiin sen mukaan miten hyvin ne kestävät paloa. Esimerkiksi merkintä REI tarkoittaa ra-



kennusosan kantavuuden, tiiviyyden ja eristävyysajan kestoja. Palonkestävyysaika ilmoitetaan merkinnän perässä minuutteina. (Ympäristöministeriö 2016.) Stora Enson paloturvallisuusraporteista käy ilmi, että 100 mm:n paksuinen CLT-levy riittää paloluokan REI 60 saavuttamiseksi seinärakenteissa. REI 120 saavuttamiseksi 100 mm:n CLT levy vaatii vielä 40 mm mineraalivillaa sekä 12,5 mm palonsuojalevyn. (Stora Enso 2013b.)

## **2.4 Lämpö-ja kosteustekniset ominaisuudet**

Puu on hygroskooppinen materiaali eli sillä on kyky sitoa itseensä ja luovuttaa kosteutta. Puuhun pääsee vettä nesteinä kapillaarisesti ja höyrynä soluonteloiden kautta sekä molekylaarisena diffuusiona soluseinämän kautta. Tavallisesti puun kosteus vastasahattuna on 40–200 % ja puutavara kuivataan noin 12 %:iin, mikä ehkäisee muun muassa muodonmuutoksia ja pinnan halkeilua. (Puuinfo 2016d.)

Puun lämpökapasiteetti on riippuvainen puun kosteudesta, tiheydestä ja syiden suunnasta. Keskimääräinen kuusen ja männyn ominaislämpökapasiteetti +0–+100 asteessa on 2300 J/kgC ja kosteuden lisääntyessä kapasiteetti paranee, sillä vedellä on suurempi ominaislämpökapasiteetti kuin puulla. Massiivipuu toimii hyvän lämpökapasiteettinsa vuoksi suhteellisen hyvänä ulkoseinärakenteena jo sellaisenaan. (Puuinfo 2016e) CLT:llä lämpökapasiteetti on 2100 J/kgC (Binderholz 2016).

Puuaineksen huokoisuuden vuoksi puun lämmönjohtavuus jää suhteellisen vähäiseksi. Puun kosteuden lisääntyessä lämmönjohtavuus paranee. Lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen puun syiden suunnassa verrattuna syitä vastaan kohtisuorassa. Esimerkiksi männyllä lämmönjohtavuus syiden suunnassa on 0,22 W/mC ja syitä vastaan 0,14 W/mC. CLT:llä lämmönjohtavuus on 0,13 W/mC. (Puuinfo 2016e.)

## 2.5 Ekologisuus ja terveellisyys

Suomessa metsämaata vuosina 2004–2008 oli kansallisen määritelmän mukaan 20,1 ja Yhdistyneiden kansakuntien elintarvike- ja maatalousjärjestö FAO:n mukaan 22,1 miljoonaa hehtaaria. Voidaankin sanoa, että Suomi on Euroopan metsäisin maa, sillä jokaista suomalaista kohden metsää on noin 4 hehtaaria, kun Euroopan keskiarvo on noin 1,3 hehtaaria. Metsä on paitsi metsäteollisuuden kautta yksi Suomen teollisuuden peruspilareita myös monelle ihmiselle rauhoittumisen ja rentoutumisen tyssija. (Luke 2013.)

Puu on raaka-aineena uusiutuva ja ekologinen rakennusmateriaali, sitä voidaan kierrättää ja se soveltuu energianlähteeksi. Esimerkiksi verrattuna betonin ja teräksen valmistukseen CLT:n valmistus tuottaa vähemmän kasvihuonepäästöjä. Verrattuna puutuotteiden valmistuksen aiheuttamiin päästöihin puuhun varastoitunut hiilidioksidi on moninkertainen. Puu sitoo itseensä hiilidioksidia ja varastoitunut hiili säilyy puuhun sitoutuneena. Kun puutuotteet hyödynnetään käytön jälkeen energiaksi, vapautuu ilmakehään vain se määrä hiilidioksidia kuin puu on kasvun yhteydessä sitonut itseensä. Puuta käyttämällä uusiutumattomien rakennusmateriaalien käyttöä voidaan pienentää. (Metsäteollisuus 2016.)

Myös puun käytöllä rakentamisessa on havaittu olevan myönteisiä vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin. Puu, jo materiaalina itsessään, koetaan miellyttävänä ja lämpimänä materiaalina ja sen on todettu vaikuttavan positiivisesti muun muassa sisäilman laatuun, viihtyvyyteen ja akustiikkaan. (Cross Lam 2014.)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että hygroskooppisilla materiaaleilla on vaikutusta sisäilman suhteelliseen kosteuteen ja tätä kautta sisäilman laatuun. On myös havaittu, että terveyden kannalta sisäilman kosteus pysyy optimialueella eli 30–55 %:ssa, mitä enemmän näkyvissä rakenteissa on käytetty puuta. Vaikka puu sitookin itseensä kosteutta, ei lämpötila nouse tarpeeksi korkealle, jotta puupinta tarjoaisi kasvualustaa homeille ja bakteereille. Puun antibakteeriset ominaisuudet ovat yksi iso alentava tekijä bakteerien ja homeiden tuottamien toksisten yhdisteiden kehitykseen. Myös huonepunkkeja, jotka ovat yksi astman ja atoop-

pisen ihottuman aiheuttajista, voidaan rajoittaa, sillä puun öljyt ja puiden haihtuvat yhdisteet hidastavat punkkien lisääntymistä. (Muilu-Mäkelä, Haavisto & Uusitalo 2014.)

Puun vaikutusta ihmisen mieleen ja esimerkiksi stressinsietokykyyn on tutkittu muun muassa koulumaailmassa. Sydämen sykevaihteluiden tutkimisella on päätelty, että stressipiikki alenee nopeammin luokissa, joissa on käytetty sisustuksessa puuta kuin verrokkiluokissa. Puumateriaalien vaikutusta ihmisten fysiologiaan on myös tutkittu muun muassa mittaamalla verenpainetta ja sormien sähkönjohtokykyä henkilöiden koskettaessa puupintoja. Esimerkiksi alumiinin tai muovin koskettaminen koetaan epämiellyttävämmäksi ja sähkönjohtavuus sekä verenpaine ovat korkeampia kuin puusta pintaa koskettaessa. (Muilu-Mäkelä ym. 2014.)

Havupuiden yksi ominaisuus on myös hyvä lämmönvarastointikyky. CLT:llä on myös erittäin alhainen lämmönjohtavuus verrattuna betoniin ja teräkseen. Alhaisempi lämmönjohtavuus mahdollistaa erilaisten rakenneratkaisujen käyttöä, koska mahdollisten kylmäsiltojen vaikutus pienenee. Näiden ekologisuusominaisuuksien myötä CLT soveltuu erinomaisesti energiatehokkaaseen rakentamiseen. (Cross Lam 2014.)

### **3 Liimat**

Yksi-komponentti polyuretaaniliimat perustuvat isosyaniittien ja veden väliseen reaktioon, jossa syntyy karbamaattihappoa. Karbamaattihappo hajoaa hiilidioksidiksi ja amiineiksi ja amiinit reagoivat uudelleen liiman kanssa johtaen liiman vaahtoutumiseen. Reaktion ongelma on se, että se tapahtuu usein vain uretaanin pintakerroksessa, jolloin pintaan muodostuu polymeerikalvo. Tällöin polymerisaatiota käynnistävä aine, esimerkiksi vettä, ei pääse diffusoitumaan pintakerroksen läpi, joten liimakerroksen sisäpuolelle voi jäädä reagoimatonta ainetta. (Pocius & Campbell 2009, 17–18.)

Cross Lam käyttää omissa elementeissään lapeliimauksessa Purbond HB-S-line -liimaa, joka on polyuretaanipohjainen yksikomponenttiliima. Liimanvalmistajan mukaan korkein käyttölämpötila on +50 °C. Sormijatkoksissa käytettävän Purbond HB -liima reagoi jo +40 °C:ssa. Esimerkiksi tätä korkeammissa lämpötiloissa liiman käsittely on riskialtista terveydelle. (Henkel 2016.)

Saunarakennuksissa sisälämpötila nousee helposti 100 °C:een ja esimerkiksi 80 mm:n paksuisessa CLT elementissä lämpötila liimauksen kohdalla voi nousta yli 50 C:een, mitä on käyty läpi enemmän kappaleessa 4. Jos polymerisaatiota ei ole tapahtunut koko liiman läpi, voi olla mahdollista, että reagoimaton aine voi muodostaa terveydelle haitallisia höyryjä ja kaasuja. Liimojen höyryille altistuminen ärsyttää muun muassa hengityselimiä ja silmiä sekä voi laukaista allergisia reaktioita. (Henkel 2009.)

Puuteollisuudessa käytettäviä muita säänkestäviä liimoja ovat muun muassa PRF-liimat (resorsinoli- ja resorsinolifenoli-liimat), polyvinyylipohjaiset PVAc-liimat ja MUF-liimat (melamiiniureaformaldehydi-liima). PVAc-liimat sopivat kosteudenkestoltaan niin ulko- kuin sisäkäyttöönkin, mutta ovat termoplastisia eli pehmenevät lämmitessään, eikä niitä siksi suositella käytettäväksi saunaan. (Maalit 2016.)

PRF-liimoja käytetään muun muassa liimapuupalkeissa, veneenrakennuksessa sekä ovien ja ikkunoiden karmeissa. Liima edustaa täydellistä veden kestoa, sillä liimasauma kestää jopa keittämisen. Sauma on erittäin kestävä, murtumaton ja pitkäikäinen. PRF-liimoja käytetään myös muun muassa hirsilamelleissa. (Maalit 2016.)

MUF-liimat ovat hyvä vaihtoehto PRF-liimoille, sillä niillä saa tiiviin ja vaalean liimaussauaman rakenneliimauksiin. Liima on kehitelty liimapalkkien, sormijatkosten, liimalevyjen ja lamellihirsien tuotantoa varten. Liima on omiaan tuotteissa, jotka vaativat hyvää kosteuden ja sään sietokykyä. (Akzo Nobel 2016.)

MUF-liimojen uusi tuote GripPro Plus on kehitetty erityisesti liimapuupalkkeja ja CLT-tuotteita valmistavaa teollisuutta varten. GripPro Plus koostuu joustavasta

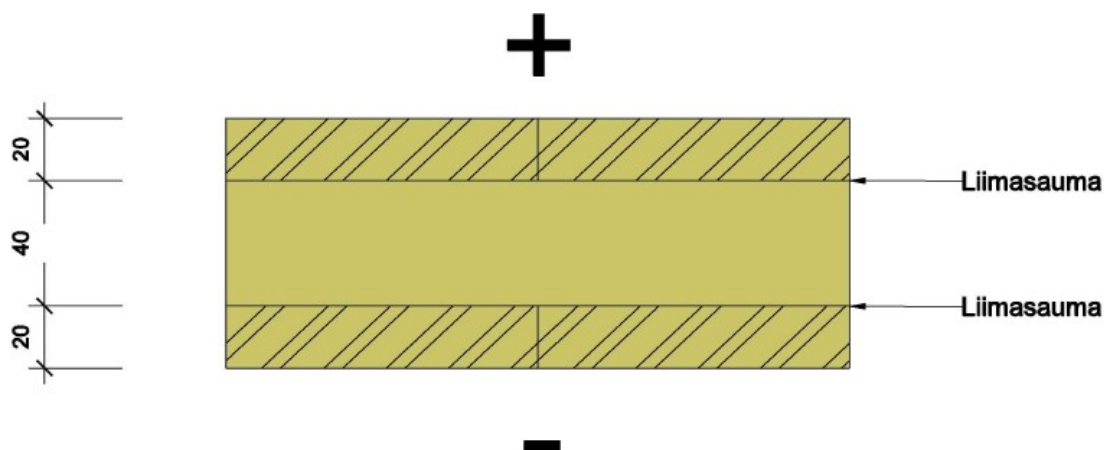
nestemäisestä melamiiniliimasta Plus adhesive A011 sekä nestekovetteesta Plus hardener H011. Kyseessä on vaalea lämpökovettava liima, joka sopii hyvin lapeliimaukseen sekä sormiliitoksiin. Liima on myös ympäristöystävällinen ja liiman vapaan formaldehydin sisältö on niin pieni, jotta se alittaa selvästi standardit. GripPro Plus liimaa ei myöskään tarvitse merkitä Luokitus, etiketöinti ja pakkaus (CLP) direktiivin mukaisella altistumavaaramerkinnällä. (Puuviesti 2016.)

## **4 Rakennusfysikaaliset tulokset**

### **4.1 WUFI**

WUFI (Wärme- und Feuchte Instationär) on eri rakennusosien lämpö- ja kosteustekniseen tutkimiseen kehitelty ohjelmisto. Laskenta on ajasta riippuvaa ja ilmaston olosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten sateen määrä ja aurinko, otetaan huomioon mallinnuksessa. Ohjelman avulla voi helposti tutkia esimerkiksi rakenteiden kuivumista, kondenssiriskiä ja homehtumista. Tässä opinnäytetyössä WUFI Pro 5.1-ohjelman avulla tutkittiin CLT:n lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta kylmään piharakennukseen ja saunarakennukseen sovellettuna.

Käytettävän CLT-materiaalin tiedot ladattiin Stora Enson Internet-sivuilta WUFI-tiedostosta ja rakenteen paksuudeksi määriteltiin 80 mm. Tarkastelupisteet jaettiin noin 20 mm:n välein, jolloin pystyttiin tarkastelemaan olosuhteita liimauksen kohdalla (kuva 3). Rakennuksen seinät ovat suorina, joten kallistuskulmaksi määrytyi 90 astetta, rakennuksen suunnaksi valittiin etelä ja rakennuskorkeudeksi matala rakennus. WUFI:n ja sääkaapin tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia, koska WUFI:n simuloinnissa käytettiin Stora Enson CLT:n tietoja ja sääkaapissa käytettiin Cross Lamin CLT:tä. Puu on molempien toimittajien tuotteissa samaa, mutta suurin ero on lamellien syrjäliimauksessa, jota on vain Stora Enson CLT-levyissä.



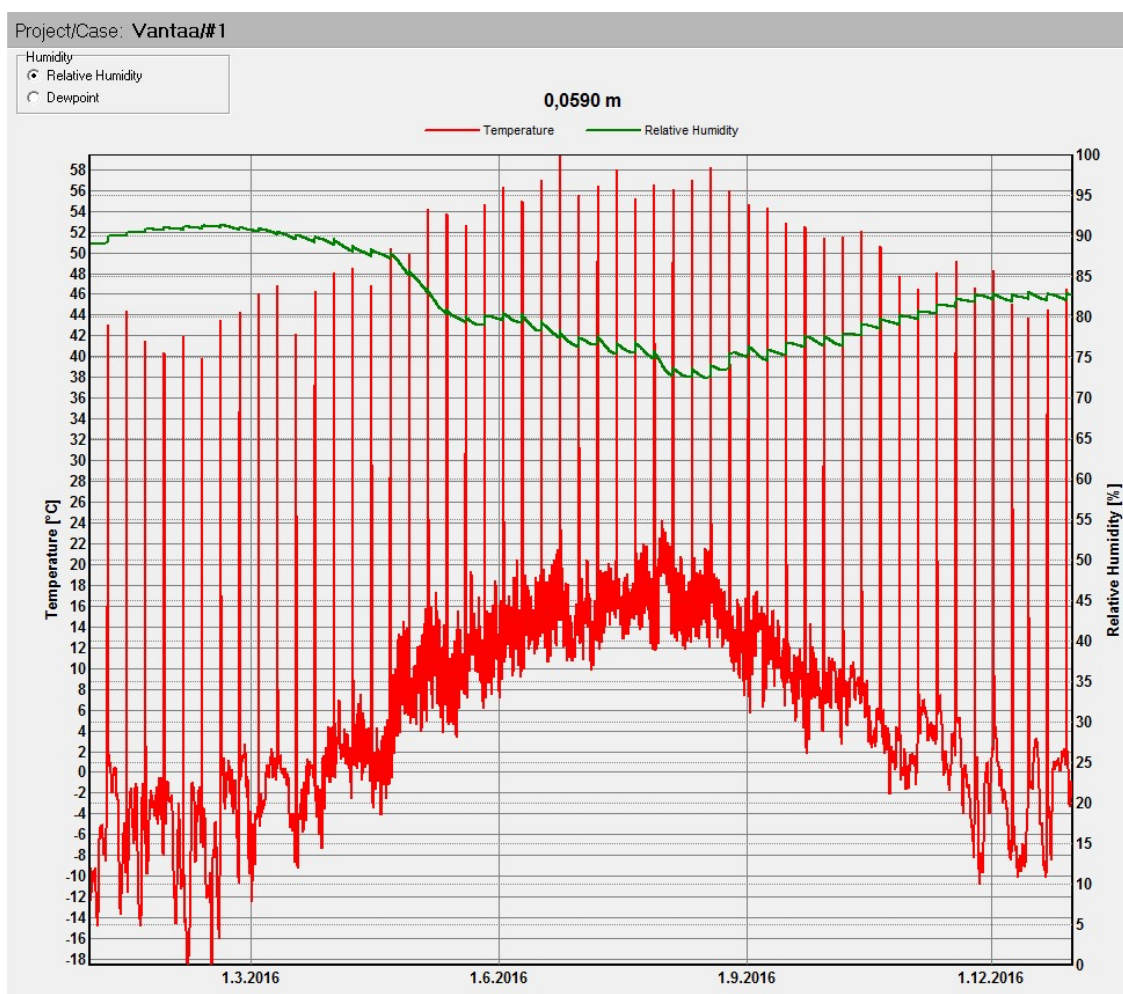
Kuva 3. 80 mm:n CLT:n rakenneleikkaus (Väistö 2016.)

Ulkopinnan lämmönvastuksena käytettiin 0,0588 m<sup>2</sup>K/W ja sisäpinnan 0,125 m<sup>2</sup>K/W. Ulkopinta ajateltiin käsiteltävän esimerkiksi Tikkurilan Valtti Pohjusteella ja kahdella kerroksella Vinha Peittävä Puunsuojalla, jonka diffuusiovastus eli Sd-arvo on 0,17. Sisäpintaa ei käsitelty.

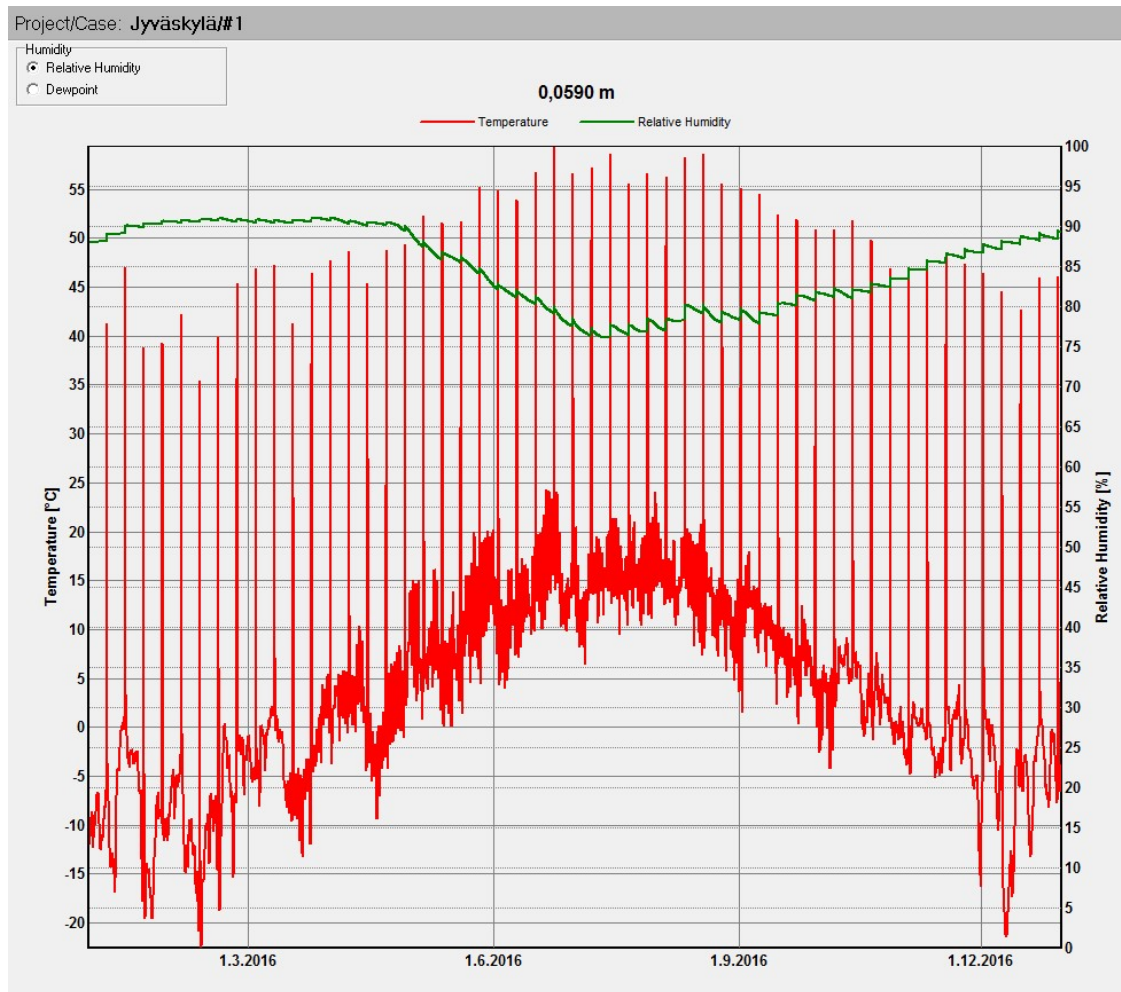
Simuloinnin sisäilmastoon sovellettiin Suomen kolmen eri paikkakunnan säätietoja ja, koska kyseessä on kylmäkennus, mukailee sisäilma ulkoilman lämpötilaa ja kosteutta. Pohjois-Suomen Sodankylän, Keski-Suomen Jyväskylän ja Etelä-Suomen Vantaan säätiedot otettiin ympäristöministeriön sivuilta, mitkä siirrettiin WUFI:n Excel-tiedostoon. Saunarakennuksen lämpötiloja ja kosteusprosentteja muokattiin niin, että kerran viikossa, kolmen tunnin ajan, sauna oli päällä 100 asteessa. Ilman suhteellinen kosteus laskettiin ulkoilman suhteellisesta kosteudesta, johon lisättiin 6 g/m<sup>3</sup>:n kosteuslisä. Kylmän piharakennuksen lämpö- ja kosteusoloja ei muutettu. WUFI simuloi rakennusta näissä olosuhteissa vuoden verran.

Kuvioiden 1,2 ja 3 nähtävillä olevista tuloksista voi todeta, että 20 mm:n päässä sisäpinnasta, eli liimauksen kohdilla, lämpötilapiikit nousevat kevät-, kesä- ja syyskuukausina, saunan ollessa päällä, yli 40 °C:een. Liiman suhteen pahimmat rasitukset tapahtuvat siis kesäkuukausina, jolloin pihasaunoja voidaan lämmittää useasti. Polyuretaaniliiman mahdollisesta lämpökäyttäytymisestä johtuen CLT-rakenteinen saunarakennus ei täytä Terveysturvallisuuslain (763/1994) 7 luvun 26 §:n vaatimuksia, missä määrätään, että asunnon ja muun sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, lämmön, säteilyn ja

muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätiloissa oleville terveyshaittaa.

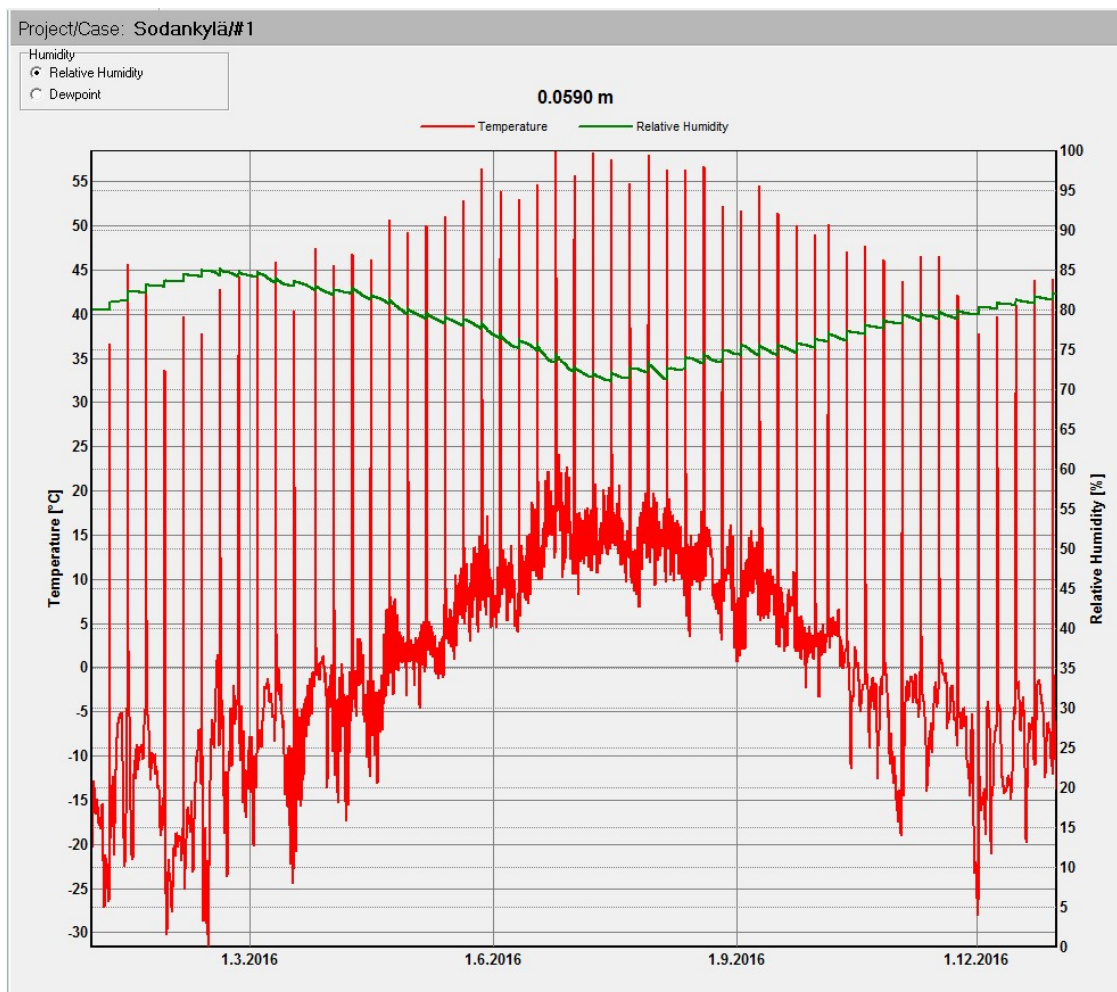


Kuvio 1. Lämpötila ja suhteellinen kosteus saunarakennuksen sisäpuoleisessa liimasaumassa Vantaan ympäristössä.



Kuvio 2. Lämpötila ja suhteellinen kosteus saunarakennuksen sisäpuoleisessa liimasaumassa Jyväskylän ympäristössä.

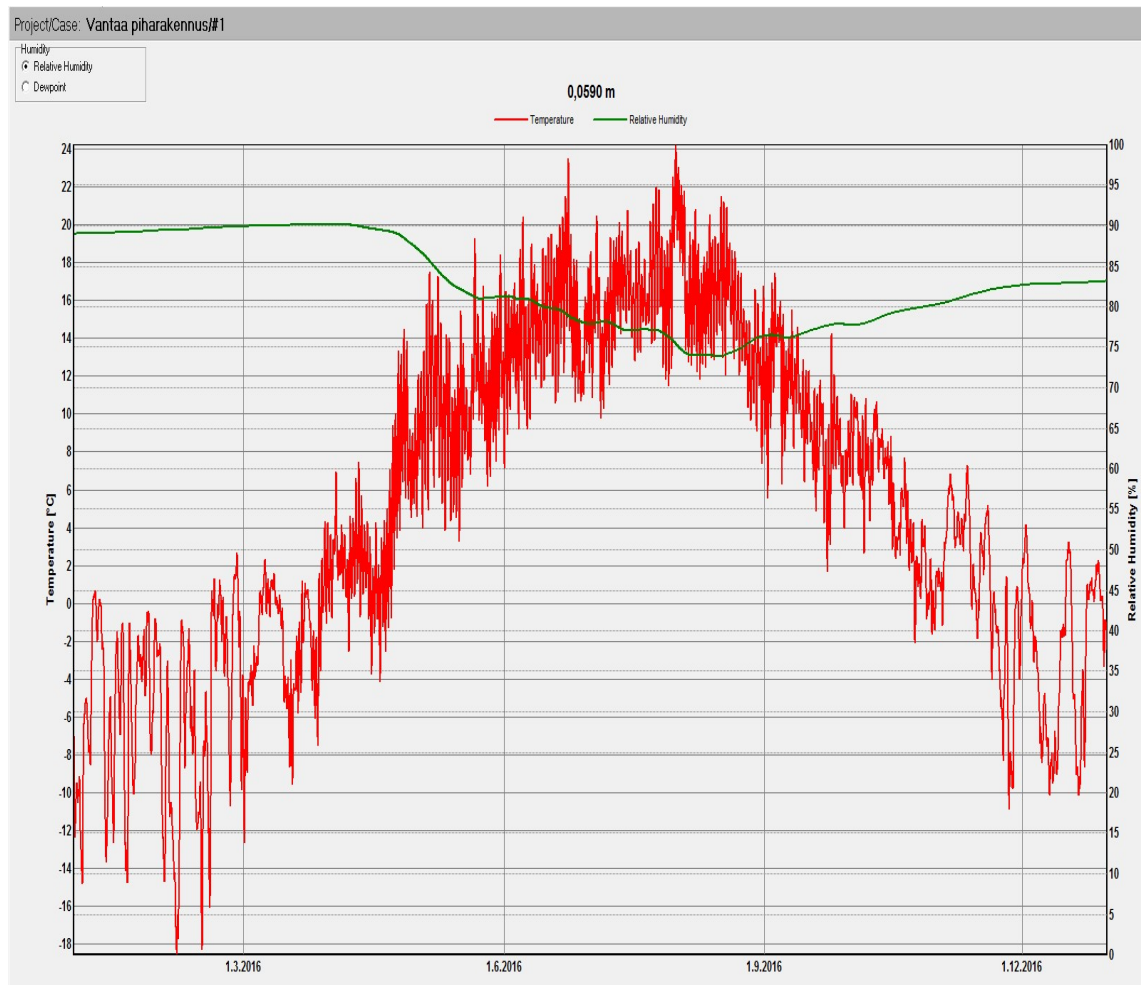




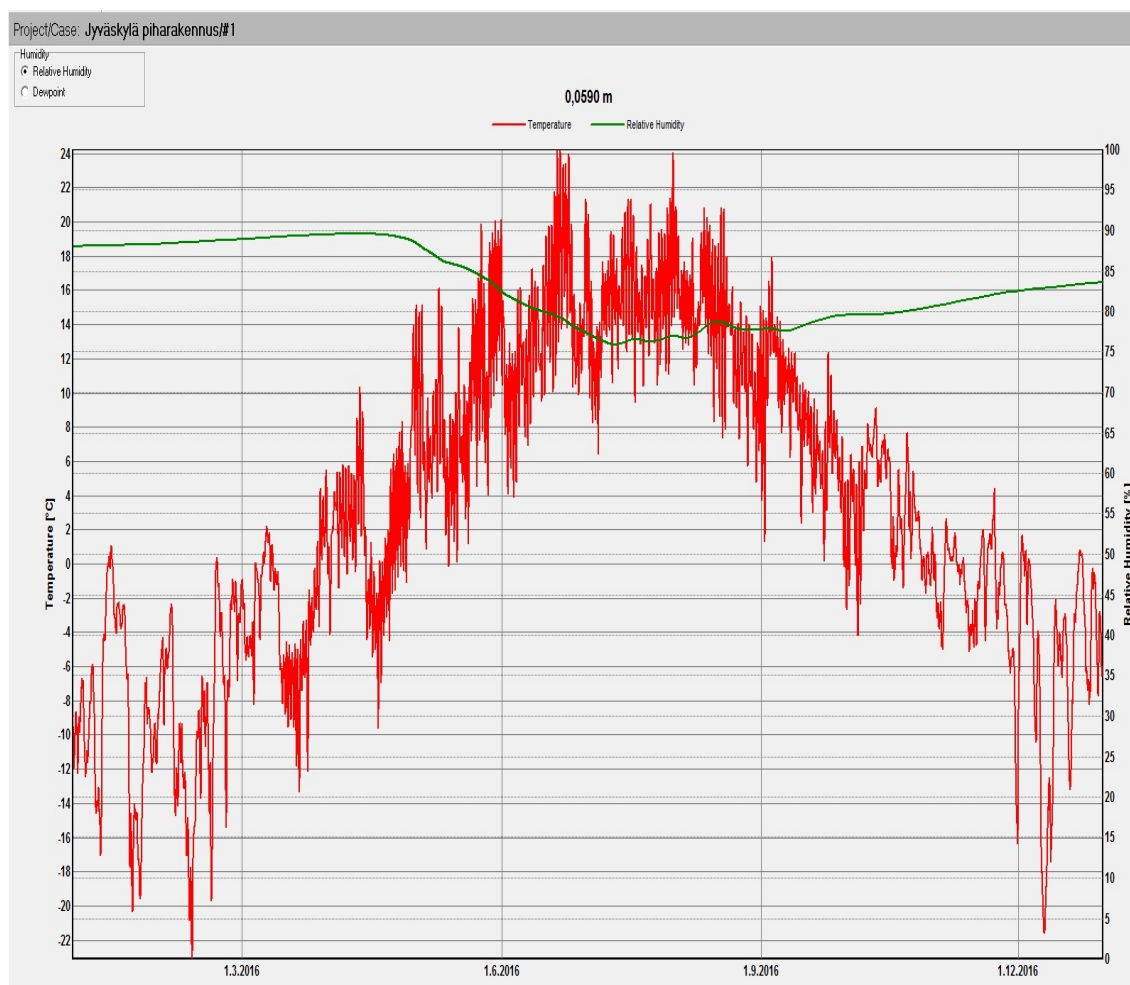
Kuvio 3. Lämpötila ja suhteellinen kosteus saunarakennuksen sisäpuoleisessa liimasaumassa Sodankylän ympäristössä.

Kylmän piharakennuksen kosteuden vaihtelu on tasaisempaa kuin saunarakennuksen, mikä näkyy verratessa kuvioiden 1-3 selvästi sahaavaa kosteuden vaihtelua kuvioiden 4-6 kosteuskäyriin. 20 mm:n päässä sisäpinnasta CLT:n suhteellinen kosteus pysyttelee jatkuvasti yli 75 %:n ja lämpötila myös alle 25 C. Kylmässä piharakennuksessa lämpötila ei rasita liimausta eikä täten estä CLT:n käyttöä kohteissa.

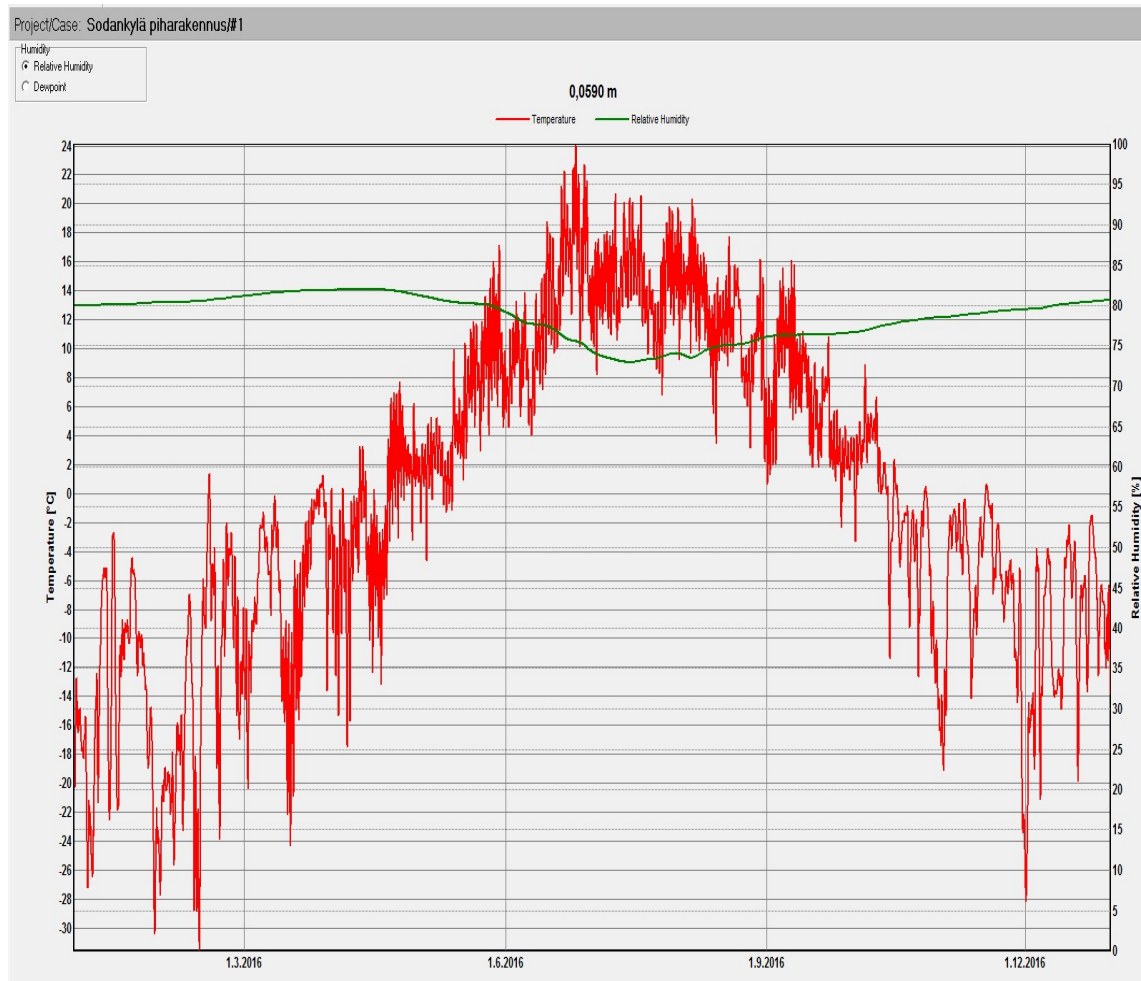
Kosteuden tiivistymistä kuvaava kastepistelämpötila pysyttelee jatkuvasti rakennuksen sisäilman lämpötilan alapuolella, joten kosteuden ei simuloinnin mukaan pitäisi päästä tiivistymään.



Kuvio 4. Lämpötila ja suhteellinen kosteus kylmän ulkorakennuksen sisäpuoleisessa liimasaumassa Vantaan ympäristössä.



Kuvio 5. Lämpötila ja suhteellinen kosteus kylmän ulkorakennuksen sisäpuoleisessa liimasaumassa Jyväskylän ympäristössä.

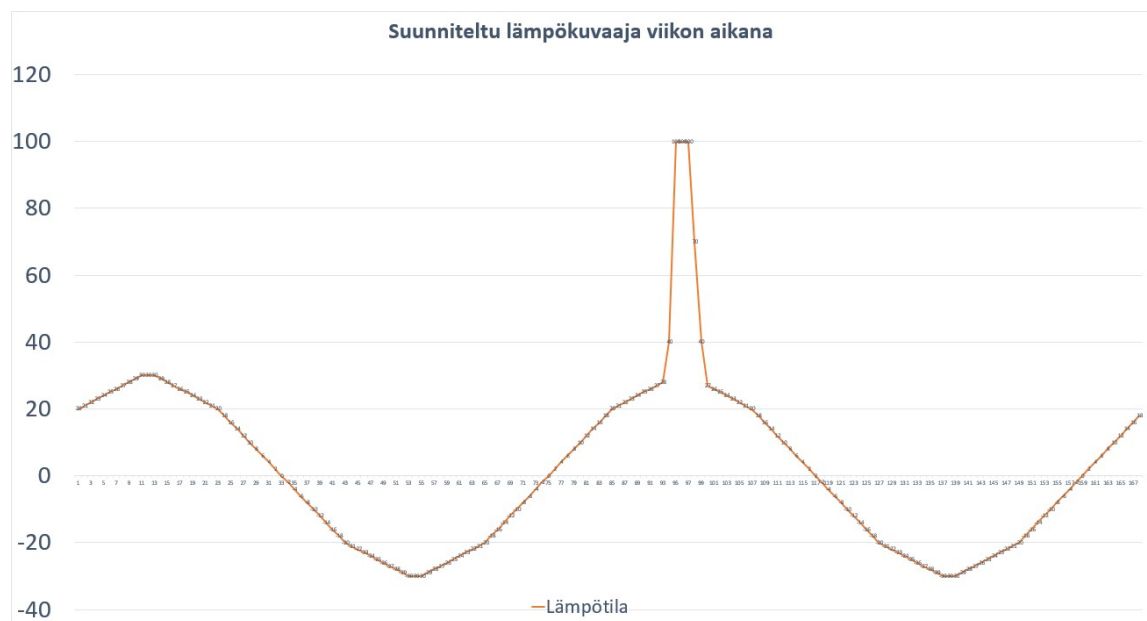


Kuvio 6. Lämpötila ja suhteellinen kosteus kylmän ulkorakennuksen sisäpuoleisessa liimasaumassa Sodankylän ympäristössä.

## 4.2 Sääkaapitesti

Laitoimme yhden CLT koekappaleen viikoksi sääkaappiin tutkiaksemme lämpötilan ja kosteuden käyttäytymistä CLT:n sisällä. Aluksi testi oli tarkoitus tehdä useammalla koekappaleella kuukauden mittaisena jaksona, mutta teknisten ongelmien takia koe supistui. Porasimme koekappaleeseen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mittaavalle anturille paikan toisen liimasauman kohtaan. Pientä vääristystä tulokseen voi antaa se, että sama lämpötila ja kosteus vaikuttavat samalla tavalla kappaleen jokaisella reunalla. Tästä syystä esimerkiksi diffuusiota ei pääse tapahtumaan rakenteen lävitse.

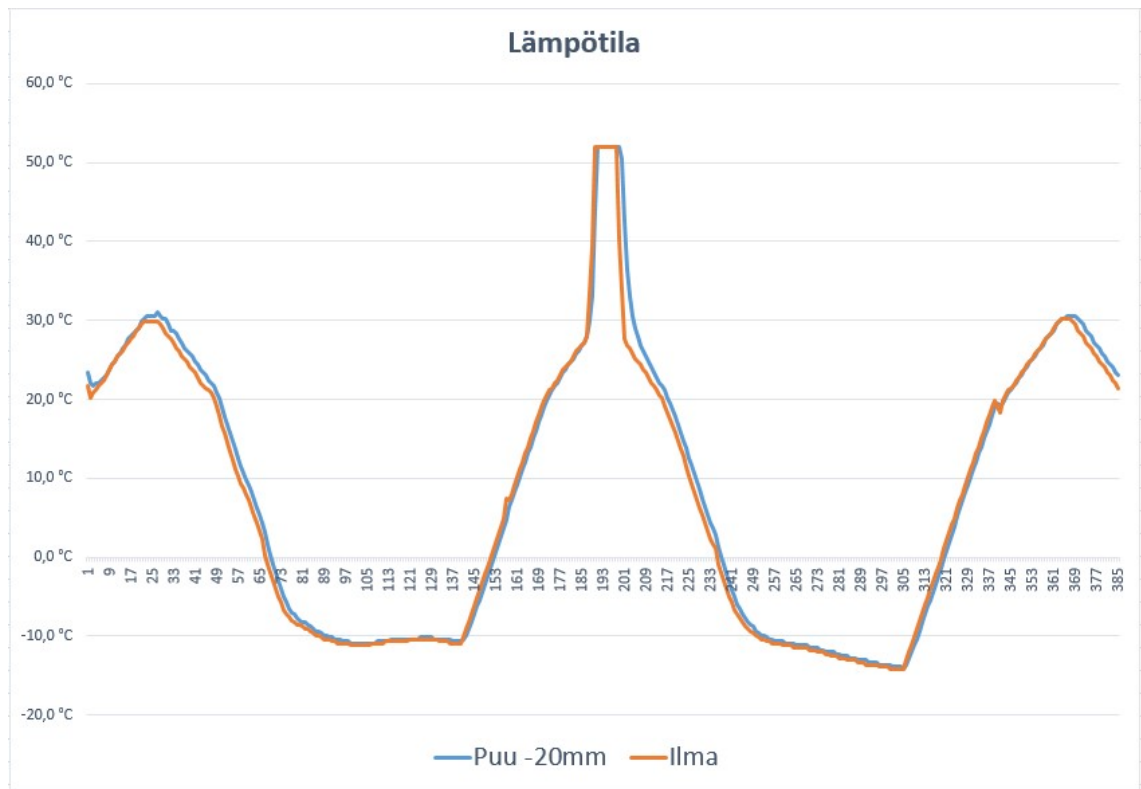
Testin päätarkoitus oli kuitenkin selvittää lämpötilaa saunaolosuhteissa liima-  
sauman kohdalla ja siihen testi antaa vertailtavaa dataa WUFI:n tuloksiin verrat-  
tuna. Samalla tutkimme vaikuttaako raju lämpötilan muutos  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  
een koekappaleeseen visuaalisesti tai sen ulkomittoihin. Yhtenä päivänä vii-  
kossa testin aikana sääkaappiin tuotettiin  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  muutamaksi tunniksi simu-  
loimaan saunan olosuhteita. Koko viikon suunniteltu lämpötilan muutos näkyy  
kuviossa 7 ja kosteuden muutos kuviossa 8.



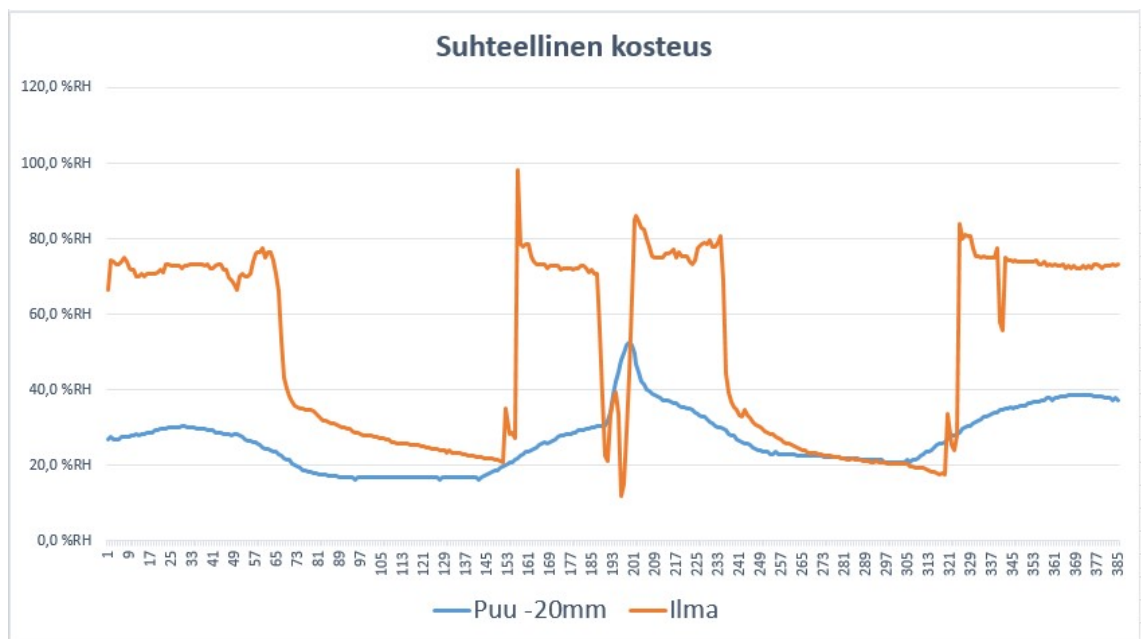
Kuvio 7. Suunniteltu lämpötilakuvaaja sääkaapissa viikon aikana



Kuvio 8. Suunniteltu suhteellisen kosteuden kuvaaja viikon aikana



Kuvio 9. Toteutunut lämpötilamittaus sääkaapissa viikon aikana



Kuvio 10. Toteutunut suhteellisen kosteuden mittaus sääkaapissa viikon aikana

Kuviosta 9:ssä näkyy sääkaapissa toteutunut lämpötila ilmassa ja CLT:n sisällä toisessa liimapinnassa. Dataloggereista (kuva 4) saatujen tulosten mukaan lämpötila ei olisi noussut yli 52 °C:een, mutta itse sääkaapin mittausten mukaan

lämpötila kävi jopa yli 100 °C:ssa (kuva 5). Tieto siitä, että käyttämämme data-loggerit eivät pysty mittaamaan yli 50 °C tuli yllätyksenä. Pakkasjaksossa lämpötila ei tippunut tavoiteltuun -30 °C:een, vaan jäi minimillään -14,2 °C:een. Taulukosta näkee, että lämpötila puun sisällä seuraa hyvin tarkasti ilman lämpötilaa. Nopeimmissa muutoksissa puun sisäinen lämpötila tulee noin tunnin viiveellä ilman lämpötilaan nähden.



Kuva 4. Mittauksessa käytetty dataloggeri



Kuva 5. Sääkaapin mittaama lämpötila ja suhteellinen kosteus viikon jaksolla

Suhteellinen kosteus ei myöskään ollut suunnitelman mukainen. Jostain syystä lämpötilan mennessä pakkaselle tippuu suhteellinen kosteus hyvin alhaiseksi,

vaikka tavoiteltu suhteellinen kosteus oli juuri päinvastoin. Tulosten perusteella sääkaapissa on ollut todella kuiva ilma useamman päivän ajan, kun vesihöyrypitoisuus on käynyt jopa alle  $0,5 \text{ g/m}^3$ . Suurimmat tuloksista lasketut vesihöyrypitoisuudet olivat ilmassa  $35 \text{ g/m}^3$  ja CLT:n sisällä  $47,9 \text{ g/m}^3$ . Molemmat tulokset on saavutettu maksimilämpötiloissa. Tulosten ääriarvot näkyvät taulukossa 5.

#### Sääkaappitulosten ääriarvot

	Ilma		Puu	
	maksimi	minimi	maksimi	minimi
Lämpötila, °C	51,9	-14,2	51,9	-14,2
Suhteellinen kosteus, RH%	98,1	12,0	52,7	16,2
Vesihöyrypitoisuus $\text{g/m}^3$	35,9	0,3	47,9	0,3

Taulukko 1.

### 4.3 Testin vaikutus koekappaleeseen

Testin toinen tarkoitus oli katsoa, vaikuttavatko nopeat lämpötilan ja kosteuden muutokset koekappaleen ulkoisiin mittoihin tai aiheutuuko testistä visuaalisia muutoksia ulkopinnoissa. Vaikka testi jäi lyhemmäksi mitä alun perin oli tarkoitus, huomasimme koekappaleessa pieniä muutoksia. Ulkoisiin mittoihin testi ei juuri vaikuttanut, mikä vahvistaa CLT:n kehuttuja ristiin liimauksesta johtuvia ominaisuuksia. Pituus ja leveys eivät muuttuneet ollenkaan testin aikana, joka käy ilmi taulukosta 2. Paksuudessa sen sijaan on tapahtunut pientä muutosta, joka johtuu luultavasti puun kuivumisesta. Koekappale oli ennen testiä tasaisessa  $22 \text{ °C}$  lämpötilassa ja suhteellinen kosteus oli piikkimittarilla mitattuna 12 % (kuva 6).

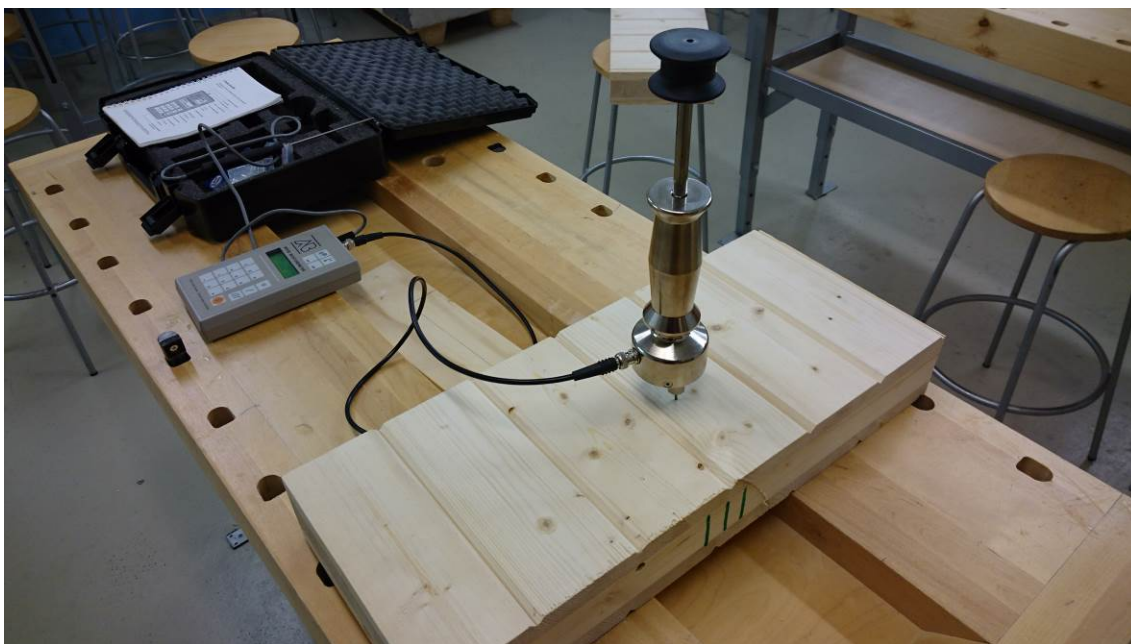
#### Koekappaleen ulkoisten mitat ennen ja jälkeen testin

Ulkoiset mitat [mm]		
	ennen	jälkeen
pituus	565	565
leveys	225	225
paksuus	80,8	80,2

Taulukko 2.



Visuaalisia muutoksia näkyi lähinnä pintalamellien rakojen aukeamisena (kuva 7). Toisesta päädyistä reunalamelli oli irronnut liimasauman vierestä koko kappaleen leveydeltä (kuva 8). Myös pihkavalumia ilmestyi oksien kohdalta jonkin verran (kuva 9). Suuri lämpötila ja kova kuivuus ovat olleet luultavasti suurin muutosten aiheuttaja, vaikka mitään radikaaleja muutoksia ei ole tapahtunutkaan.



Kuva 6. Testikappaleen kosteuden mittaus ennen koetta



Kuva 7. Testikappaleen ulkolamellien välissä rakoilua



Kuva 8. Päädyn matkalla halkeama liimasauman vieressä



Kuva 9. Pihkavaluma oksasta

## 5 Rakenneratkaisut

Rakennukset ovat kylmiä rakennuksia, joten puuhun kertyy luonnollisestikin kosteutta ulkoilmasta. Pinnoitteena tulisikin rakenteen toimivuuden ja pinnoit-

teen kestävyuden kannalta käyttää vesihöyryä läpäisevää ainetta. Tällöin rakenteeseen pääsevä kosteus pääsee myös kuivumaan pois irrottamatta pintakäsittelyä. Rakenteet tulisi myös suojata sateelta ja muulta suuremmalta kosteudelta kunnollisilla räystäillä ja nostamalla rakenne tarpeeksi ylös maasta, kuten Rakentamismääräyskokoelma C2:ssa on kerrottu. CLT-levyt ovat tarkoitettu ainoastaan käyttöluokkaan I ja II, mutta kylmät ulkorakennukset kuuluvat käyttöluokkaan III. Esimerkiksi Stora Enso kertoo teknisissä tiedoissa, että materiaalin käyttäminen säältä suojaamattomissa paikoissa tai altistaminen erittäin suurille kosteuksille on kiellettyä tai käyttäjä tekee sen omalla vastuulla. (Stora Enso 2015)

CLT:n käyttöluokat johtuvat siinä käytetystä liimasta, joka ei täytä Eurokoodin mukaista EN 301 tyyppi I vaatimusta (Henkel 2016) Esimerkiksi Cross Lam käyttää lamelleiden liimaukseen polyuretaanipohjaista Purbond HB-S-line liimaa, joka täyttää EN 301 tyyppi II vaatimukset, eli sen käyttö on sallittua kantavissa rakenteissa käyttöluokka I ja II:ssa. (Crosslam 2015)

Seinät koostuvat 2,5 x 0,54 m:n kokoisista CLT-paloista, joissa uloimmat puut ovat pidemmän sivun suuntaisesti. Suurin osa elementeistä on vaakasuuntaisesti, mutta niitä voi myös asentaa pystyyn. Esimerkkirakennuksessa on molemmilla lyhyemmällä sivulla yksi pystysuuntainen elementti tuomassa tarvittavaa syvyyttä rakennukseen. Kyseiset elementit painavat noin 50 kg kappale, joten asentaminen ja liikuttelu onnistuvat kahdelta työmieheltä. Elementtien liitos toisiinsa tapahtuu vanerisoivalla, joka liimataan puuliimalla elementtien reunoihin ajettuun uraan. Lopuksi seinä sidotaan vaakasuuntaisesti nippuun koko rakenteen läpi menevällä pystyssä olevalla kierretangolla. Samalla tangolla seinät kiinnitetään lattiaelementtiin, joka toimii osittain kantavana rakenteena.

Lattiaelementti on kyllästepuusta tehty lattiarunko ja sen päällä pintamateriaalina vaneri- tai puulattia. Pohja asennetaan pilariperustusten tai laattojen päälle. Kierre-tanko on syytä sijoittaa aukkojen reunoille esim. kahden ikkunan väliin tai suoralla seinällä metrin välein. Mikäli osa elementeistä käännetään pystyyn, tulee myös pystysaumaan liimata vanerisoiro ja sen lisäksi ruuvata elementit kiinni vanerisoiroon. Ruuvaustiheys riippuu pystysauman sijainnista rakentees-

sa ja rakennuksen koosta. Excel-pohjainen mitoitusohjelma ilmoittaa ruuvaustiheyden tapauskohtaisesti. (Liite 2.)

Nurkat limitetään toisiinsa detaljikuva 1 (Liite 1) mukaan, jossa toisiin elementteihin ajetaan 60x60mm lovi. Lovi asettuu toisen seinän elementteihin ja elementit ruuvataan kahdella 8x160mm ruuvilla toisiinsa. Ruuvin kanta jää nurkklautojen alle, tai vaihtoehtoisesti kannat voi ruuvata vähän syvemmälle puun sisään ja tukkia reiän puutapilla, jolloin esteettisyys säilyy. Vaakasaumoissa oleva vanerisoiro tulee mennä koko nurkan läpi seuraavalle seinälle. Näin varmistetaan tiiviit saumat myös nurkissa.

Ikkuna- ja oivaukoissa elementteihin upotetaan 20 x 50mm vanerisoiro, joka sitoo elementtien päät toisiinsa ja johon karmi ruuvataan. Periaate on sama kuin esimerkiksi hirsirakennuksissa, mutta tässä tapauksessa painumaa ei tarvitse ottaa huomioon. Ovi ja ikkuna-aukkojen yläpuolisena kantavana rakenteena toimivat samaiset CLT-elementit. Aukkojen ylitykset on laskettu Excel-pohjaisessa mitoitusohjelmassa.

Mikäli rakennuksessa on useita suuria ovia ja joudutaan käyttämään pilareita, tulee pilari kiinnittää päällä olevaan CLT-elementtiin kierretangolla. Pilarin päähän porataan reikä, johon kierretanko liimataan oikeaoppisella puuliimalla ja annetaan liiman kuivua. Kuivamisen jälkeen mutteri kiristetään aluslevyn kanssa tiukalle CLT-elementin yläpuolelta. Sopiva tiukkuus on saavutettu silloin, kun aluslevy alkaa juuri ja juuri painautua puuhun. Pilarin alapään voi kiinnittää latiaelementtiin kulmaleveillä tai pitkillä ruuveilla tapauksesta riippuen.

Katto-orret kiinnitetään seiniin kulmaraudoilla ja seiniin ajetaan ura jokaisen orren kohdalle. Vaihtoehtoisesti voi käyttää myös kiilaa orren alla, kunhan tarvittava tukipinnan minimipituus täyttyy.

Rakenteen jäykistys tapahtuu seinien ja kokonaan vanerilla levytetyn katon avulla. Rakennuksen kiinnityksestä perustuksiin emme ottaneet kantaa tässä opinnäytetyössä. Seinien jäykistys on laskettu Excel-pohjaisella mitoitusohjelmalla koko Suomen kattavien lumi ja tuulikuormien mukaan.

Kaikki Excelissä käytetyt laskelmat perustuvat Eurokoodeihin. Osa kaavoista on jouduttu soveltamaan, koska suoria esimerkkejä ei jokaisesta liitoksesta tai kiinnitystyyppistä ole saatavilla. Puurakenteiden mitoituksessa on käytetty apuna eniten Puurakenteiden lyhennettyä suunnitteluohjetta (2011) ja CrossLamin Internetsivuilla löytyviä CLT-elementtien mitoitus-esimerkkejä.

Excel-pohjainen mitoitusohjelma koostuu useista välilehdistä. Alussa on lähtötiedot, jossa ilmoitetaan rakennuksen mitat ja osa rakennetyypeistä. Excel laskee näistä tiedoista kaikki tapaukset automaattisesti yhteenveto välilehdelle, josta näkee heti, jos jokin mitoitusehto ei täyty. Jokaisen laskun menetelmiin pääsee käsiksi sen omalla välilehdellä, jossa voi myös muuttaa joitain arvoja. Arvoja ei kuitenkaan tule muuttaa, jos ei ole tarkkaa tietoa muutetusta arvosta. Excelin mitoitus perustuu Cross Lamin CLT:n rakennusfysikaalisiin ominaisuuksiin. Jos käytetään toisen valmistajan tuotetta, on rakennemateriaalin ominaisarvot muutettava jokaisessa välilehdessä erikseen. Laskelmat perustuvat pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen, joten laskelmat ovat näin aina varmalla puolella tapauksesta riippumatta.

## **6 Pohdinta**

CLT:n käyttö pienrakennuksissa on mielenkiitoinen aihe. Kantavuuden kannalta massiivipuu-elementti ei tule pienissä rakennuksissa lähellekään murtorajaa. Haasteita asettaa tämänhetkinen sertifiointi, koska elementtivalmistajat eivät lupaa CLT:n käyttöä käyttöluokka III:ssa, vaikka nykyiset liimat siihen soveltuisivatkin.

CLT:n vahvuudet tämän tyyppisissä rakennuksissa on sen valmis ulko- ja sisäpinta verrattuna rankarakentamiseen. Kaikki työvaiheet tulee hoidetuksi yhdellä elementtien asennuksella ja viimeistelyyn tarvitaan korkeintaan puun pintakäsittely. Elementtien pienen koon puolesta rakennuksien muokkaaminen on mahdollista ja elementtejä tilatessa tehtaalta ei tarvitse tietää vielä millaiseen rakennukseen ne tulevat. Näin varastoinnin tarve pienenee ja tehostuu.

Massiivipuu on myös kohtalainen lämmöneriste, joten rakennusten väliaikainen lämmittäminen on mahdollista ilman monimutkaisempia rakenneratkaisuja. Kuitenkin mahdollisissa saunarakennuksissa on otettava huomioon, että sisäpuoleisen liimasauman kohdalla lämpötila nousee hetkellisesti yli 50 °C asteeseen. Tämän takia elementtien liima on oltava oikeantyyppistä, että siitä ei haihdu mahdollisia epäpuhtauksia sisäilmaan.

Mikäli saunarakennuksessa halutaan käyttää nykyisiä CLT-elementtejä muuttamatta liimaa, olisi syytä uusaa sääkaappitesti paremmilla mittalaitteilla ja pyrkiä saamaan testattavan rakenteen eri puolille oikeat olosuhteet. Tähän opinnäytetyöhön käytetty testikalusto ei mahdollistanut edellä mainittua testaustapaa. Testikaappiin olisi myös hyvä saada VOC-mittauslaite, jolla voidaan mitata ilman epäpuhtauksia. Tällaisella testillä saisi mitattua haihtuuko CLT:ssä käytettyä liimasta epäpuhtauksia sisäilmaan kovemmissa lämpötiloissa.

Tulevaisuudessa CLT:n käyttö tulee varmasti yleistymään mitä erilaisimmissa rakenteissa, kunhan alan pioneerit saavat tuotteen paremmin kansan tietoon ja ratkaistua mahdolliset lisätutkimusta vaativat osa-alueet. Myös hinta voi olla vaikuttava tekijä, koska CLT materiaalina on kalliimpaa kuin rankarakenne. Täytyy kuitenkin muistaa, että osa työvaiheista häviää kokonaan, kun rakennetaan CLT:stä. Myös rakentaminen itsessään vaatii erilaista kalustoa, jos käytetään suurempia elementtikokoja, koska massiivipuu painaa sen verran, että sen liikkamiseen ja kuljetukseen tarvitaan jo konevoimaa. Tämä tulee ongelmaksi esimerkiksi erilaisilla ranta/mökkitonteilla, joihin ei pääse suurella kalustolla ajamaan.

## Lähteet:

- Akzo Nobel. 2016. Casco adhesives pdf. <http://www.cascoadhesives.com>. 30.3.2016.
- Binderholz. 2016. Binderholz clt bbs -levy. Binderholz. [http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services\\_Kontakt/Videos\\_Download/Prospekte/BBS\\_FIN\\_WEB.pdf](http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/BBS_FIN_WEB.pdf). 20.2.2016.
- FPInnovations & Binational Softwood Lumber Council. 2013. CLT handbook. <https://fpinnovations.ca/Pages/CltForm.aspx>. 6.2.2016.
- Helamo M & Mylly M. 2014. CLT-rakentamisen ominaispiirteitä. <http://docplayer.fi/6062981-Clt-rakentamisen-ominaispiirteita.html>. 24.2.2016.
- Henkel. 2009. Material safety data. Henkel. [http://deweb02.henkel.com/technologies/msds.nsf/0/DFE7EA96AFA280C3C12575FD000BCAE5/\\$file/PURBOND%20HB%20312.pdf](http://deweb02.henkel.com/technologies/msds.nsf/0/DFE7EA96AFA280C3C12575FD000BCAE5/$file/PURBOND%20HB%20312.pdf). 15.2.2016.
- Henkel. 2016. Approvals. <http://www.henkel-adhesives.com/engineered-wood/approvals-40192.htm>. 20.2.2016.
- Kiintopuu. 2016. Mikä on CLT? Perustietoa CLT:stä. <http://www.kiintopuu.fi/etusivu/mika-clt-perustietoa-cltsta.html>. 1.2.2016.
- Luke Luonnonvarakeskus. 2013. Euroopan metsäisin maa. Luke. <http://www.metla.fi/suomen-metsat/>. 18.2.2016.
- Maalit.fi. 2016. Liimaus. <http://www.maalit.fi/liimaus>. 30.2.2016.
- Metsäteollisuus. 2016. Kestävä rakentaminen luo hyvinvointia. <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/478.pdf>. 8.2.2016.
- Muilu-Mäkelä, Haavisto & Uusitalo. 2014. Puumateriaalien terveysvaikutukset sisätiloissa- Kirjallisuuskatsaus. Metla. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp320.htm>. 18.4.2016.
- Niemi, S. 2014. Kainuulaisyrittäjä avaa clt-tehtaan Kuhmoon. Maaseudun tulevaisuus. <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/mets%C3%A4/kainuulaisyritt%C3%A4j%C3%A4-avaa-clt-tehtaan-kuhmoon-1.55530>. 30.2.2016.
- Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2014. Filosofia. <http://www.crosslam.fi/filosofia/paikalliset-juuret-kuhmossa.html>. 1.2.2016.

- Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2015. CrossLam Kuhmo CLT tuoteominaisuudet.  
[http://www.crosslam.fi/media/pdf/osa-1\\_tuoteominaisuudet.pdf](http://www.crosslam.fi/media/pdf/osa-1_tuoteominaisuudet.pdf)  
30.2.2016.
- Pocius, Alphonsus & Campbell, Christopher J. 2009. Adhesives. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. New Jersey.
- Puuinfo. 2011. CLT ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber). Puuinfo. <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>. 1.2.2016.
- Puuinfo. 2016a. Stora Enso CLT-levyt (cross laminated timber). Puuinfo. <http://www.puuinfo.fi/tuote/stora-enson-clt-levyt-cross-laminated-timber>. 15.2.2016.
- Puuinfo. 2016b. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. <http://www.puuinfo.fi/ puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 4.2.2016.
- Puuinfo. 2016c. Paloteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 4.2.2016.
- Puuinfo. 2016d. Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 8.3.2016.
- Puuinfo. 2016e. Lämpötekniisiä ominaisuuksia. Puuinfo. <http://www.puuinfo.fi/node/1499>. 20.2.2016.
- Puuviesti. 2016. Akzo Nobel: uusi tuote GripPro Plus leikkaa liimapuun emissiopäästöjä. <http://www.puuviesti.fi/ajankohtaista/uusi-innovaatio-leikkaa-liimapuun-emissiopaastoja/>. 30.3.2016.
- Stora Enso 2013a. Kaikki mitä sinun tarvitsee tietää lujuuslaskennasta. Stora Enso. <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/statiikka-lujuuslaskenta>. 4.2.2016.
- Stora Enso. 2013b. Paloturvallisuus. Stora Enso. <http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/>. 21.4.2016
- Stora Enso. 2015. Stora Enso Wood Products. <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Technical-folder-CLT-EN.pdf>. 15.2.2016.
- Stora Enso. 2016. CLT- Cross Laminated Timber Fire protection. Stora Enso. <http://www.clt.info/clt-documentation-on-fire-protection/>. 30.2.2016.