



# Ristiinlaminoidun massiivipuulevyn (CLT) kosteustekninen tarkastelu

- Rakentaminen Suomen sääolosuhteissa

Henna Kaunisto

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

KAUNISTO, HENNA:

Ristiinlaminoidun massiivipuulevyn (CLT) kosteustekninen tarkastelu  
Rakentaminen Suomen sääolosuhteissa

Opinnäytetyö 50 sivua  
Kesäkuu 2020

---

Opinnäytetyön lähtökohtana oli hybridirakenteena toteutettavan Multisillan päiväkodin rakennesuunnittelu. Päiväkodin toisen kerroksen kantavat ulkoseinärakenteet haluttiin toteuttaa ristiinlaminoidusta massiivipuulevystä (CLT). CLT oli kohteen suunnittelijoille uusi käytettävä materiaali, joten materiaalista tarvittiin suunnittelun kannalta oleellisia tietoja. CLT-levyjen mitoituksesta löytyi ohjeita, mutta kosteusteknisestä käyttäytymisestä ei ollut saatavilla tietoa tai koosteita. Opinnäytetyön tarkoituksena tarkasteltiin kirjallisuuslähteiden avulla CLT-rakennetta kosteusteknisestä näkökulmasta. Kirjallisuustutkimuksen pohjalta opinnäytetyöhön koostettiin ohjeistus CLT-suunnittelua varten. Ohjeistus on tarkoitettu ensimmäistä kertaa CLT-suunnittelua tekeville rakennesuunnittelijoille. Työn tilaajana oli A-insinöörit Suunnittelu Oy.

Opinnäytetyöhön koostetaan CLT-rakenteen kosteuskäyttäytymisestä aiheutuvia muutoksia, jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa, rakentamisessa sekä käyttöönoton aikana. Lisäksi työssä käsitellään kosteuden näkökulmasta CLT-rakenteen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimusten perusteella vertailtiin suomalaisten CLT-toimittajien tuotteiden kosteusteknisiä eroja. Vertailussa ei ilmennyt merkittäviä eroja. Lopuksi opinnäytetyössä tarkastellaan Multisillan päiväkodin CLT-rakenteiden suunnittelua työn tutkimustulosten pohjalta.

Opinnäytetyössä tutkimuslähteinä käytettiin CLT:n kosteuskäyttäytymiseen liittyviä tutkimustuloksia, alan kirjallisuutta sekä haastateltiin Tampereen teknillisen yliopiston rakennusfysiikan professoria. Opinnäytetyön haasteeksi osoittautui, että CLT:n kosteuskäyttäytymistä ei ollut tutkittu tai seurattu Suomen sääolosuhteissa. Ulkomaalaisen tutkimusaineiston käyttöä rajoitti Suomen CLT-rakenteesta poikkeavat rakenteet sekä kenttätutkimukset, joiden ilmasto-olosuhteet poikkesivat täysin Suomen olosuhteista.

Kosteusteknisen tarkastelun tuloksena on, että CLT-rakenne on vesihöyryä läpäisevä. CLT-rakenteen kastuminen rakennusvaiheessa tai käytön aikana muodostaa isoimman riskin kosteusvaurioiden synnylle. Jatkotutkimukset tulisi tehdä CLT-rakenteiden toimivuudesta Suomen sääolosuhteissa.

---

Asiasanat: CLT, ristiinliimattu massiivipuulevy, kosteus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

KAUNISTO HENNA:

Moisture performance of Cross laminated timber  
Construction under the Finnish climate

Bachelor's thesis 50 pages  
June 2020

---

The purpose for this thesis was to provide information for the structural design of a hybrid structure day-care center built in Multisilta, Tampere. The load-bearing external wall of the second floor was going to be implemented with a cross laminated timber (CLT) frame. CLT was a new material for the structural designers of the center, and they wanted to get more information about the technical aspects of the material that would affect the design and implementation. Information about the structural calculation of CLT material was readily available, but there was very little available about the moisture behavior. The main goal of the thesis work was to create a literature review about CLT, focusing on the moisture performance. The review would act as a guide to CLT design in Finnish climate for the designers. The guide was aimed for designers who have no previous experience about CLT as a building material. The thesis was commissioned by company called by A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

The thesis provides a discussion on the effects of CLT moisture behaviour and how these need to be taken into account in the design, construction and commissioning phases of a building with a CLT frame. The factors affecting the long-term durability of CLT are also considered. The information gathered during the study was used to compare the moisture behaviour of CLT materials of domestic manufacturers. However, the CLT structures were highly similar and no significant differences could be found.

In addition to scientific studies and readily available literature about the subject, a professor of building physics at Tampere University was interviewed about the usage and behaviour of CLT materials in construction. The biggest challenge during the research proved to be the fact that none of the studies so far conducted on the subject dealt with the conditions of the Finnish climate, or similar climates. In this context, the usefulness of studies carried outside Finland is quite limited, since they deal with CLT materials and climates that are not similar than in Finland.

According to the result of the moisture behaviour study, CLT can be considered to be water vapor permeable. The most significant moisture hazard for buildings using CLT materials is that water gets into the material during construction or use. It is also evident that more studies dealing with the effects of the Finnish climate would be needed.

---

Key words: cross laminated timber, moisture, humidity

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty A-insinöörit Suunnittelu Oy:lle Tampereella loppukeväästä 2020.

Kiitän A-insinöörit Suunnittelu Oy:tä mielenkiintoisesta aiheesta ja työn rahoittamisesta. Haluan kiittää opinnäytetyön kommentoinnista ja ohjauksesta lehtori Henri Salosta, Tampereen teknillisen yliopiston rakennusfysiikan professori Juha Vinhaa haastattelusta sekä A-Insinöörien yksikönjohtaja Valtteri Meriläistä ja suunnittelujohtaja Pekka Rauhalaa.

Eryisesti haluan kiittää opinnäytetyön aikaisesta tuesta ja avusta ystävääni Annina Stadiusta sekä aviopuolisoani Tommi Seppää.

Tampereella, 12.6.2020

Henna Kaunisto

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	CLT-LEVY YLEISESTI.....	9
2.1	Mikä CLT-levy on? .....	9
2.1.1	CLT:n rakenne.....	10
2.2	CLT Suomessa .....	12
2.2.1	Oy CrossLam Kuhmo Ltd. ....	12
2.2.2	Hoisko – CLT Finland Oy .....	13
2.2.3	CLT Plant Oy .....	14
2.2.4	Stora Enso.....	14
2.2.5	Valmistajien väliset erot ja mahdolliset vaikutukset .....	15
3	CLT:N KOSTEUSOMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	17
3.1	Puun rakennetekniset ominaisuudet .....	17
3.1.1	Puun kosteustekniset ominaisuudet .....	17
3.1.2	Puun kostuminen ja vaurioituminen.....	19
3.2	CLT-rakenteen kosteustekniset ominaisuudet .....	20
3.2.1	CLT-rakenteen vaikutus kosteuden aiheuttamiin muodonmuutoksiin .....	21
3.2.2	Kosteuden vaikutus CLT-rakenteen kestävyys.....	22
3.2.3	Liiman ja puun kosteuskäyttäytyminen .....	22
3.3	Kosteuden syntyminen rakenteisiin.....	24
3.4	Rakennesuunnittelussa huomioitavat kosteuden vaikutukset .....	24
3.4.1	Kosteuden vaikutus CLT-mitoitukseen .....	25
3.4.2	Kosteus CLT-ulkoseinärakenteessa .....	25
3.4.3	Kosteus CLT-väli- ja yläpohjarakenteissa.....	27
3.4.4	Kosteuden vaikutus ja huomioiminen liitoskohdissa .....	29
3.4.5	Kosteuselämisen huomioon ottaminen.....	30
3.4.6	CLT:n kosteusteknisen laskentatarkastelun toteutus.....	32
3.5	Rakennusaikana huomioitavat kosteustekijät .....	33
3.5.1	Laadunhallinta työmaalla .....	33
3.5.2	Rakennusaikainen kosteus.....	34
3.5.3	CLT:n suojaus ja varastointi työmaalla .....	35
3.6	CLT käyttöönoton jälkeen .....	37
3.7	Pitkäaikaiskestävyys .....	38
4	PÄIVÄKODIN RAKENNESUUNNITTELUN KOSTEUSTEKNINEN TARKASTELU .....	40
4.1	Multisillan päiväkodin esittely .....	40

4.2 Kohteen CLT-rakennratkaisut kosteusteknisestä näkökulmasta	41
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	46
LÄHTEET .....	48

**ERITYISSANASTO**

anisotropia	Puun syiden suunnan, tangentin ja vuosirenkaiden säteen kutistumisen suhde täysin märästä absoluuttisen kuivaksi tai toisinpäin.
delaminointitesti	Liimatun puutuotteen testi, joka pyrkii ennustamaan tuotteen käyttäytymistä koko käyttöiän aikana.
hygroσκοoppinen	Kykyä sitoa ilmasta kosteutta ja luovuttaa kosteutta ilmaan ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa.
kyllästymispiste	Vapaa vesi on poistunut puun soluonteloista soluseinämien ollessa kylläiset vedestä.
painoprosentti, p-%	Puun kosteuspitoisuuden yksikkö.
puun kosteuspitoisuus	Puussa olevan veden massan suhde absoluuttisen kuivan puun massaan.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa A-insinöörit Suunnittelu Oy:n Asuin ja liikehuoneistojen suunnitteluyksikössä suoritetusta harjoittelusta keväällä 2020. Harjoittelu keskittyi Tampereen Multisillan päiväkodin rakennesuunnitteluun. Hybridirakenteisen päiväkodin toisen kerroksen kantavat ulkoseinärakenteet haluttiin toteuttaa CLT-runkoisena. CLT-levy oli suunnittelijoille uusi käytettävä materiaali, joten materiaalista tarvittiin suunnittelun kannalta oleellisia tietoja. CLT-levyjen mitoituksesta löytyi koostetusti ohjeita, mutta kosteusteknisestä käyttäytymisestä ei löytynyt tietoa tai koosteita.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia CLT-rakenteen kosteusteknistä toimintaa kirjallisuuslähteiden avulla ja koostaa tutkimuksista saadusta tiedosta ohjeistus CLT-suunnittelua varten. Tutkimusten perusteella vertaillaan suomalaisten CLT-valmistajien sekä Stora Enson tuotteiden rakennusfysikaalisia eroja kosteuden näkökulmasta. Suomalaisiin CLT-valmistajiin työn tekohetkellä kuuluvat Oy Crosslam Kuhmo Ltd, CLT Finland Oy ja CLT Plant Oy. Kirjallisuuslähteistä saadun tuloksen sekä Tampereen teknillisen yliopiston rakennusfysiikan professori Juha Vinhan haastattelusta saatujen tietojen pohjalta kootaan ohjeistus, miten CLT-rakenteen kosteuskäyttäytyminen tulee huomioida Suomen sääolosuhteisiin rakennettavan rakennuksen suunnittelussa, rakennusvaiheessa ja käyttöönoton jälkeen. Lisäksi työssä pohditaan kosteuden näkökulmasta CLT-rakenteen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavia tekijöitä. Lopuksi työssä tarkastellaan työn tutkimustulosten pohjalta Multisillan päiväkodin CLT-rakenteiden rakennesuunnittelun toteutusta.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä Ympäristöministeriö ilmoitti tavoittelevansa puun käytön markkinaosuuden nostamista kerrostalorakentamisessa. Tavoitteena on, että puun markkinaosuus olisi 45 % vuoteen 2025 mennessä. Lisäksi 1.6.2020 julkaistiin ympäristöministeriön Kasvua ja kehitystä puusta -tukiohjelman neljäs hakukierros, jossa tuetaan teollisen puurakentamisen ratkaisuja kehittäviä hankkeita. Opinnäytetyön aihe osuu ajankohtaiseen tarpeeseen.



## 2 CLT-LEVY YLEISESTI

### 2.1 Mikä CLT-levy on?

Ristiinlaminoitu massiivipuulevy tunnetaan Suomessa parhaiten englanninkielisellä nimellään CLT (Cross laminated timber) (kuva 1). Hyvän kuormakestävyytensä vuoksi CLT:tä voidaan käyttää rakennusten kantavissa pysty- ja vaakarakenteissa. CLT:tä käytetään pääsääntöisesti seinä- ja lattiarakenteissa, mutta sitä voidaan käyttää myös katto- ja parvekerakenteissa sekä portaissa. CLT-levystä on rakennettu muun muassa kerros- ja pientaloja sekä julkisia rakennuksia kuten päiväkotia ja kouluja. (CLT Plant Oy n.d.; Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2019; The CLT Handbook 2019, 8; RIL 255-1 2014, 281.)



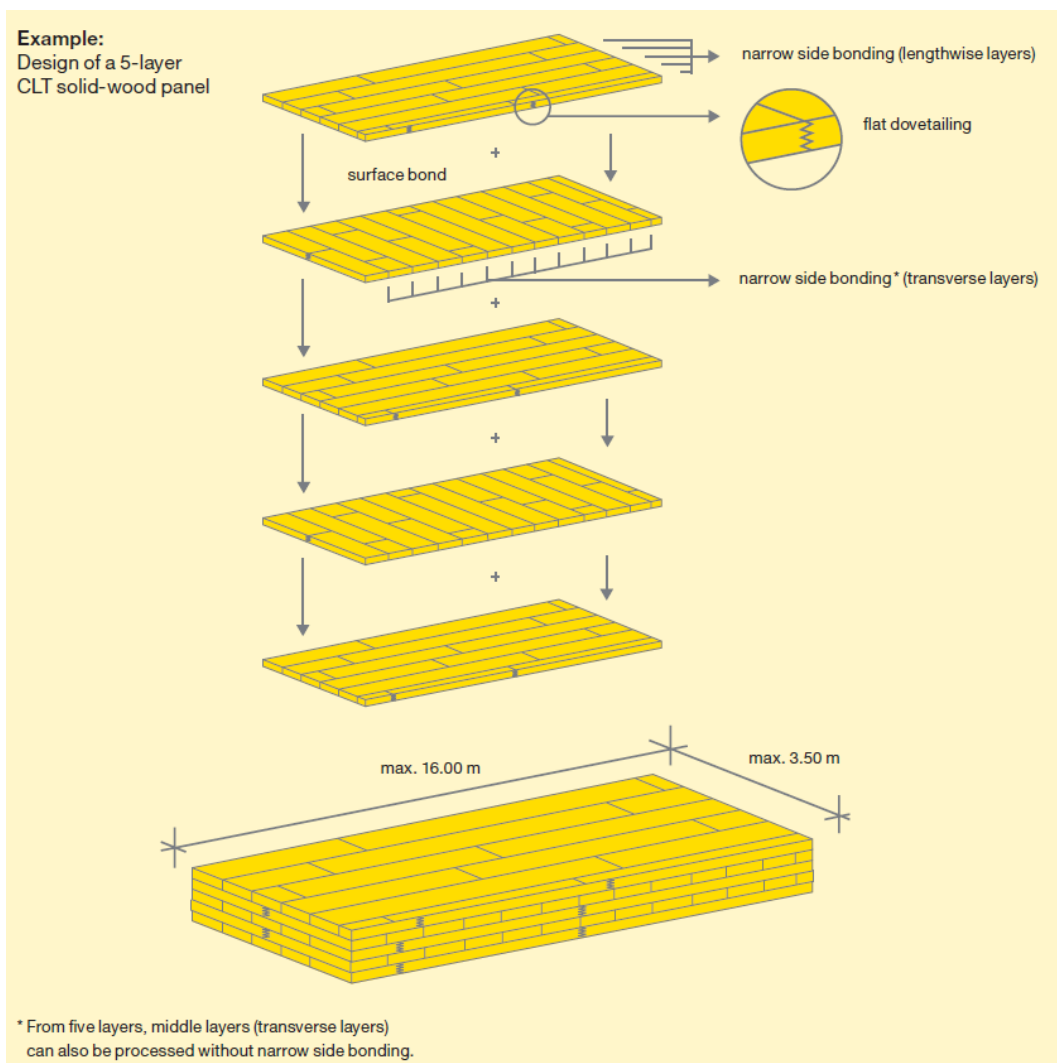
KUVA 1. Ristiinlaminoitu massiivipuulevy eli CLT-levy (Stora Enso 2014).

Ristiinlaminoitu massiivipuulevy kehitettiin Itävallan poliitikkojen halusta käyttää rakentamisessa puuta betonin sijasta. CLT-levyn kehittäneet Itävallan yliopistotutkijat esittelivät sen ensimmäistä kertaa julkisuudessa saksankielisellä nimellä Kreuzlagerholz (KLH) 1990-luvun alkupuolella. Ruotsissa ensimmäisiä pieniä kohteita rakennettiin CLT-levyistä vuosina 2000–2004, minkä jälkeen alkoi myös kerrostalojen rakentaminen. (The CLT Handbook 2019, 9, 11.) Suomessa CLT-rakennuksia alettiin rakentamaan vasta enenevässä määrin 2010-luvulta lähtien. Ensimmäinen CLT-kerrostalo, nimeltään Seinäjoen Lintuviita 2, valmistui vuonna

2014 Lakea OY:n ja Stora Enson Building and Livingin yhteistyönä. Rakennus oli valmistuessaan Euroopan suurin CLT-tilaelementeistä toteutettu asuinkerrostalo. (CLT Plant Oy n.d.; Hoisko 2016; Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2019; Puuinfo 2020; Stora Enso 2014, 14–17.)

### 2.1.1 CLT:n rakenne

CLT-levy koostuu nimensä mukaisesti 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden ristiin liimatuista puulamellilevyistä (kuvio 1), joiden paksuus vaihtelee valmistaja-kohtaisesti 19–42 millimetrin välillä (RIL 255-1 2014, 281). EN 16352-standardin (2015, 20) mukaan lamellin paksuuden tulee olla 6–45 millimetrin välillä. Poikkeuksena on kolmikerroslevy, jossa keskimmäisen levyn paksuus saa olla enintään 60 mm. Pienin sallittu levykerrosten määrä on kolme, joista vähintään kahden kerroksen tulee olla puutavaraa. Välikerroksissa on mahdollista käyttää sahatavaran sijasta puupohjaista levyä, mutta puutavaran kerrospaksuuden tulee olla suurempi kuin 50 % koko levyn paksuudesta. Ylärajaa sallitulle kerrosmäärälle ei ole. Levyn kokonaispaksuus vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan 60–400 mm:n välillä. CLT-levyn suurin leveys, riippuen valmistajan tuotantolinjan leveydestä, on noin 3 metriä. Pituutta levyille saadaan noin 16 metriin saakka jatkamalla 3–4 metriä pitkiä lautoja sormiliitoksien. Poikittaissuunnassa sormijatkoksia ei yleensä sallita, ellei levyn kuormitus ole vain pituussuuntaisten lamellien suuntainen. Levyt tehdään useimmiten Suomessa kuusesta (lat. *Picea abies*), mutta myös mäntyä ja lehtikuusta saatetaan käyttää. (CLT-suunnittelun ohje 2019, 3; Stora Enso n.d., 6–7; Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2015, 1; The CLT Handbook 2019, 16; RIL 255-1 2014, 281; SFS-EN 16351 2015, 20–23.)



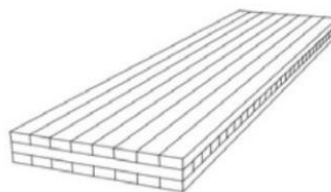
KUVIO 1. Esimerkki 5-kerroksisen CLT-levyn rakenteesta (Stora Enso n.d., 5).

Levyt jaotellaan C- ja L- levyihin pintalamellien suunnan perusteella. Kuvasta 2 nähdään, että C-levyissä päällimmäiset kerrokset ovat tuontantoleveyden suuntaisesti, kun taas L-levyt ovat suorakulmaisesti kohti tuontantoleveyttä. (CLT-suunnittelun ohje 2019, 3; Stora Enso n.d., 6–7; The CLT Handbook 2019, 16.)

C-levyn rakenne



L-levyn rakenne



KUVA 2. C- ja L-levyn rakenteet (CLT-suunnittelun ohje 2019, 3).

CLT:n lamellien liimauksessa suomalaiset CLT-valmistajat sekä Stora Enso käyttävät 1-komponenttisiä polyuretaaniliimoja, jotka täyttävät vähäpäästöisen rakennustuotteen M1-tunnuksen (CLT Plant Oy 2018; Hoisko 2018, 1; Stora Enso n.d., 4; Purbond AG n.d., 1.) Polyuretaaniliimat (PUR-liimat) soveltuvat eurokoodi 1995-1-1 käyttöluokkien 1, 2 ja 3 kohteiden kantaville rakenteille. Liima-aineen levityksen jälkeen lamellit puristetaan yhteen paineella, jolloin liimaussaumasta tulee yhtenäinen kalvo. Kuivuttuaan polyuretaanista muodostuu joustava sauma, joka kestää hyvin olosuhteiden vaihtelua. PUR-liiman etuja ovat mm. fenoli- ja formaldehyditiön koostumus sekä liiman vähäinen annostelutarve. (RIL 255-1 2014, 281–282.)

CLT-levyn lamellien reunat voidaan liimata, kuten kuvassa 2, tai jättää liimamatta. Reunaliimausta tekevät suomalaiset CLT-levyvalmistajat käyttävät reunaliimauksessa PUR-liimaa (CLT Plant Oy 2018; Hoisko 2018, 1). Stora Enso sen sijaan käyttää sivuliimauksessa emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimaa (EPI-liimaa) (Stora Enso n.d., 4), jota käytetään yleisesti ovien ja ikkunoiden liimauksessa sekä vaneri tai lastulevyjen pinnoituksessa. EPI-liima muodostaa kuivuesaan joustavan kalvon, joka on veden- ja lämmönkestävä. (RIL 255-1 2014, 282.)

## **2.2 CLT Suomessa**

Tällä hetkellä CLT-levyjä valmistavia yhtiöitä Suomessa on yhteensä kolme: Oy Crosslam Kuhmo Ltd, CLT Finland Oy ja CLT Plant Oy. Ensimmäinen tehdas avattiin Kuhmoon vuonna 2014. (CLT Plant Oy n.d.; Hoisko 2016; Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2019.) Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan edellä mainittujen yhtiöiden lisäksi myös Stora Enson CLT-levytuotantoa, koska yhtiöllä on suhteellisen iso osa Suomen puurakentamisessa. (Stora Enso: Lehdistöiedotteet n.d.)

### **2.2.1 Oy CrossLam Kuhmo Ltd.**

Oy CrossLam Kuhmo Ltd (lyhyemmin CrossLam) oli ensimmäinen, joka aloitti CLT-levyjen valmistuksen Suomessa. Ensimmäiset CLT-levytoimitukset tehtiin vuoden 2014 lopulla. CrossLamin CLT-levyjä on käytetty muun muassa Suomen

ensimmäisen CLT-rakenteisen koulun, Kuhmon Tuupalan koulun, valmistuksessa. Kohde sai vuoden 2018 Puupalkinnon. (Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2019.)

CrossLamin CLT-levyjä on saatavana maksimissaan 3,2 m leveänä ja 12,0 m pitkänä. Levypaksuudet vaihtelevat 60–300 mm:n välillä, lamellien paksuuksien vaihdellessa välillä 20–60 mm. Levykerroksia on 3, 5 tai 7 riippuen levyn kokonaispaksuudesta. CrossLam käyttää valmistuksessa suomalaista kuusta, jonka lujuusluokka kaikissa kerroksissa on C24. (Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2015, 1–7; Oy CrossLam Kuhmo Ltd: Tuotesertifikaatti 2019, 3).

CrossLam käyttää CLT-levyissä Purbondin 1-komponenttisiä polyuretaaniliimoja. Levyn kerroksien liimauksessa käytettävä liima on Purbond HB S-line ja sormijatkoksissa Purbond HB 530. Muista valmistajista poiketen, CrossLam ei käytä reunaliimausta. (Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2015, 1; Purbond AG n.d, 1.)

## **2.2.2 Hoisko – CLT Finland Oy**

CLT Finland Oy perusti brändinimeä Hoisko kantavan CLT-levytehtaan Alajärven Hoiskoon vuonna 2015. Tehdas oli tällöin Suomen toinen CLT-levyn valmistaja. Hoisko CLT-levyjä on käytetty helmikuussa 2020 valmistuneessa Kuortane Olympic Training Center-voimisteluhallissa. (Hoisko 2016.)

Hoisko CLT-levyn maksimileveys 3,5 m on leveämpi kuin Crosslamin levyn suurin leveys, maksimipituus on molemmilla sama 12,0 m. Hoisko CLT-levyn paksuus vaihtelee 60–400 millimetrin välillä. Lamellikerrosten paksuudet vaihtelevat 20–60 millimetrin välillä. Kerroksia on 3–10 riippuen levypaksuudesta. Käytettävä puulaji on kotimainen kuusi tai mänty, jonka lujuusluokka on C24. Levyjä saa reunaliimattuna tai ilman reunaliimausta. Yritys kuitenkin suosittelee reunaliimattuja levyjä, koska eivät pysty takaamaan reunaliimaamattomien levyjen ilmantiiviyyttä tai kosteuskäyttäytymistä. Liimauksessa käytetään formaldehyditonta PUR-liimaa, jonka valmistajaa ei ilmoiteta Hoiskon kotisivuilla jaetuissa tiedoissa. (Hoisko 2016; Hoisko 2018, 1.)

### 2.2.3 CLT Plant Oy

Kauhajoelle perustettu CLT Plant Oy aloitti CLT-levyjen toimituksen loppuvuodesta 2018. Yritys ilmoittaa painopisteekseen kerrostalot ja julkiset rakennukset. CLT Plant Oy:n CLT-levyjä on käytetty Hippoksen päiväkodin rakentamisessa Tampereella. (CLT Plant Oy n.d.).

CLT Plant Oy pystyy tällä hetkellä tekemään Suomen pisimpiä, 16 metriä pitkiä, CLT-levyjä. Levyjen maksimileveys 3,5 m on sama kuin Hoisko CLT-levyllä. Myös saatavat levyepaksuudet 60–400 mm ovat samat kuin Hoiskolla. Levykerroksia on 3, 5 ja 7 sekä yli 280 mm:n paksuisilla levyillä 9. Lamellien paksuudet vaihtelevat levyissä 20–40 millimetrin välillä levyn kerrosten ja paksuuden mukaan. (CLT Plant Oy n.d.; CLT Plant Oy 2018a, 1, 2, 5.)

CLT Plant Oy:n käyttämät materiaalit CLT-levyissä ovat kotimaisia. Pääraaka-aineena on pääsääntöisesti kuusi. CLT Plant Oy poikkeaa kahdesta muusta kotimaisesta toimittajasta sillä, että CLT-levyjen kerroksissa käytetään kahta eri lujuusluokan puuta, C14 ja C24. Uloimmissa kerroksissa käytetään lujempaa puuta C24, kun taas keskikerroksissa käytetään sekä C14 että C24 lujuusluokan puuta. (CLT Plant Oy 2018b, 1, 2, 5). Levyn kerrosten, sormijatkosten ja lamellien liimauksessa käytetään Kiillon Kestopur G10 -nimistä 1-komponenttista polyuretaaniliimaa. Kuten Hoisko, CLT Plant käyttää levyjen reunaliimausta. (CLT Plant Oy 2018a.)

### 2.2.4 Stora Enso

Stora Ensolla ei ole Suomessa CLT-levyn valmistustehdasta, mutta yrityksellä on ollut kaksi omaa CLT-elementtitehdasta Suomessa, Pälkäneellä ja Hartolassa (Stora Enso 2014, 3). Tällä hetkellä Stora Ensolla on kolme CLT-levyä valmistavaa tehdasta. Stora Enson ensimmäinen CLT-tuotantoyksikkö aloitti toimintansa 2010 Itävällässä Bad St. Leonhard -nimisellä tehtaalla (Stora Enso Wood Products... 2010). Euroopan CLT-markkinoiden kasvettua, Stora Enso avasi toisen CLT-tuotantoyksikkönsä Itävaltaan (Stora Enso continues... 2011). Kolmas tuotantotehdas, Gruvönin sahalla Ruotsissa, avattiin 28.5.2019 (Stora Enson uusi

ristiinliimattua... 2019). Stora Enson CLT:tä on käytetty Suomessa muun muassa Suomen luontokeskus Haltian rakenteissa, joka sai vuoden 2013 Puupalkinnon. (Stora Enso 2014, 3.)

Stora Enso pystyy tarjoamaan suomalaisiin valmistajiin nähden suurimman koon CLT-levylle. Suurin levyn vakioleveys voi olla 3,45 m ja pituus 16,0 m. Pyynnöstä on mahdollista saada levy 3,9 metriä leveänä. Hoisko ja CLT Plant tarjoavat suuremman levypaksuuden, sillä Stora Enson levyjen paksuudet vaihtelevat 60–320 mm:iin. Lamellien paksuudet vaihtelevat 20–80 mm:n välillä levykerrosten määrästä ja paksuudesta riippuen. Levyn vakiokerrokset ovat 3, 5 ja 7, mutta muut kerrosyhdistelmät ovat mahdollisia riippuen rakennesuunnittelun vaatimuksista. Pääsääntöisesti levyjen valmistuksessa käytetään kuusta. Levyjä voidaan tehdä myös männystä, lehtikuusesta, jalokuusesta, pinjasta ja niin halutessa muista puulajeista. Käytettävän puulajin lujuusluokka on pääasiassa C24, kuitenkin 10% puusta saa olla lujuusluokan C16 puuta. Muiden ohella Stora Enso käyttää kerrosten yhteen liimauksessa polyuretaaniliimaa, mutta sivuliimauksessa käytetään formaldehyditöntä emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimaa (EPI-liimaa). Stora Enso käyttää reunaliimausta, mutta yli viisikerroksissa levyissä poikittaiset keski-kerrokset voidaan halutessa jättää ilman reunaliimaa. (Stora Enso n.d., 4–7.)

### **2.2.5 Valmistajien väliset erot ja mahdolliset vaikutukset**

Kosteusteknisesti tarkasteltuna suomalaisten valmistajien tai Stora Enson CLT-levyjen rakenteet eivät paljoa eroa toisistaan.

Sisäilman kosteuden aiheuttamat vauriot ovat yleensä ilmavuotojen aiheuttamia, sillä ilmavirtausten mukana rakenteeseen voi siirtyä kosteutta huomattavasti enemmän kuin diffuusiolla. (RIL 255-1 2014, 41). CrossLam on tämän vertailun ainut valmistaja, joka ei käytä CLT-levyissään reunaliimausta. Tämä tarkoittaa sitä, että pysty- ja vaakalamellien väleihin jää rakoja, joissa periaatteessa on vain kerrosten väliset liimakalvot. CrossLamin internet-sivuilla kerrotaan, että: ”VTT:n testauksessa (testausseloste nro VTT-S-01193-16) todettu, että sekä 60 että 80 mm paksut CLT-levyt ovat käytännöllisesti katsoen täysin ilmatiiviitä.” (Oy Cross-

Lam Kuhmo Ltd 2015.) Koska liimakalvosta ei saada käytännössä tasaista puupintojen epätasaisuuden vuoksi (kts. kappale 3.2.3.), on mahdollista, että liima-aines ei muodosta tasaista kalvoa ristikkäisten kerrosten aukkoihin. Riskinä tällöin on, että rakenteen läpi virtaa ilmaa. Toisaalta ilmavirran mukana kulkee kosteutta. Tämä voi saada lamellit turpoamaan, niin, että raot umpeutuvat eikä ilmavirta pääse rakenteen läpi. Rakennusfysiikan professori Vinha (2020) arvioi rakojen olevan niin pieniä, että ilmavirtauksen tuoman kosteuden mahdollinen kondensoituminen ei aiheuttaisi rakenteelle vauriota. Reunaliimaamattomuuden etuna on, että kuivumisen aiheuttama pintahalkeilu on vähäisempää (kts. kappale 3.2.1.). Tähän myös CrossLam perustaa ratkaisunsa olla reunaliimaamatta lamelleja (Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2015).

CLT Plant Oyn ja Hoiskon CLT-levyissä käytetään 1-komponenttista PUR-liimaa, kun taas Stora Enso käyttää EPI-liimaa. Liimojen välillä ei löytynyt juurikaan muuta eroa kuin, että EPI-liima on edullista ja sen komponentit sekoitetaan ennen liimausta (RIL 255-1 2014, 282).

CLT Plant Oy on ainoa, joka käyttää keskikerrosten lamelleissa eri lujuusluokan puuta mitä ulkokerrosten lamelleissa (CLT Plant Oy 2018b, 1, 2, 5). Jos kerrosten jäykkyysero ja ulkokerrosten suhteellinen paksuus olisi liian iso, saattaisi kosteus aiheuttaa levyyn muodonmuutoksia (kts. 3.2.1). Ulkokerrosten suhteellinen paksuus näyttäisi otetun huomioon CLT Plantin levypaksuuksissa, joten edellä esitettyä riskiä ei todennäköisesti ole.



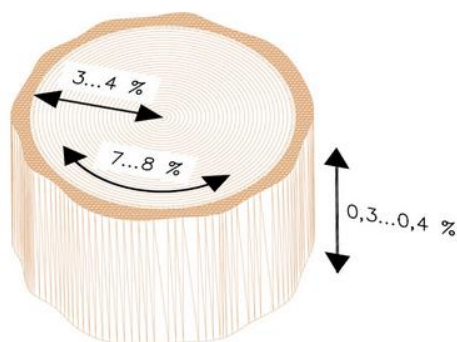
### 3 CLT:N KOSTEUSOMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

#### 3.1 Puun rakennetekniset ominaisuudet

##### 3.1.1 Puun kosteustekniset ominaisuudet

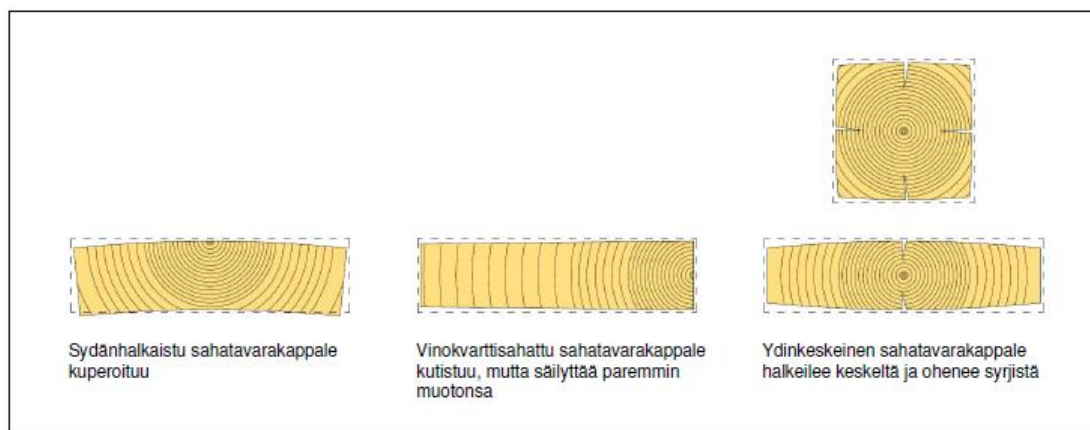
Tuoreen puun soluontelot ja soluseinämät sisältävät vettä. Puun kosteuspitoisuus kertoo puussa olevan veden painon ja absoluuttisen kuivan puun painon välisen suhteen. Tulos ilmoitetaan painoprosentteina (p-%). Vastakaadettuna puun kosteuspitoisuus on 40–200 painoprosenttia puulajista ja kaatoajankohdasta riippuen. Puun kuivuessa vesi haihtuu ensin soluonteloista. Kun soluontelot ovat tyhjät ja soluseinämät ovat vielä kylläiset vedestä, puu on saavuttanut kyllästymispisteensä. Suomen valtapuulajien kosteuspitoisuus kyllästymispisteessä on noin 30 %. Puun muodonmuutos alkaa, kun puu kuivuessaan alittaa kyllästymispisteen. Tällöin vesi alkaa poistua soluseinämistä ja puu kutistuu, jolloin puun lujuusominaisuudet parantuvat. Kyllästymispisteen alittavan puun lujuusominaisuudet ovatkin huomattavasti paremmat kuin kosteamman puun. Esimerkiksi puun kuivuessa tuoreesta puusta 12–15 %:iin puun puristus- ja taivutuslujuus lisääntyvät noin kaksinkertaisesti. (Puuinfo Oy 2011, 1–3; Puuinfo Oy n.d.)

Puu kutistuu ja laajenee eri tavoin syyn sekä vuosirenkaiden säteen ja tangentin suunnassa. Ilmiötä kutsutaan nimellä anisotropia. Syiden suunnassa puun eläminen kosteuspitoisuuden mukaan vaihtelee 0,2–0,4 %:n välillä (kuvio 2). Säteen suunnassa puun elää noin 4 % ja tangentin suunnassa 8 %. (Puuinfo Oy n.d.)



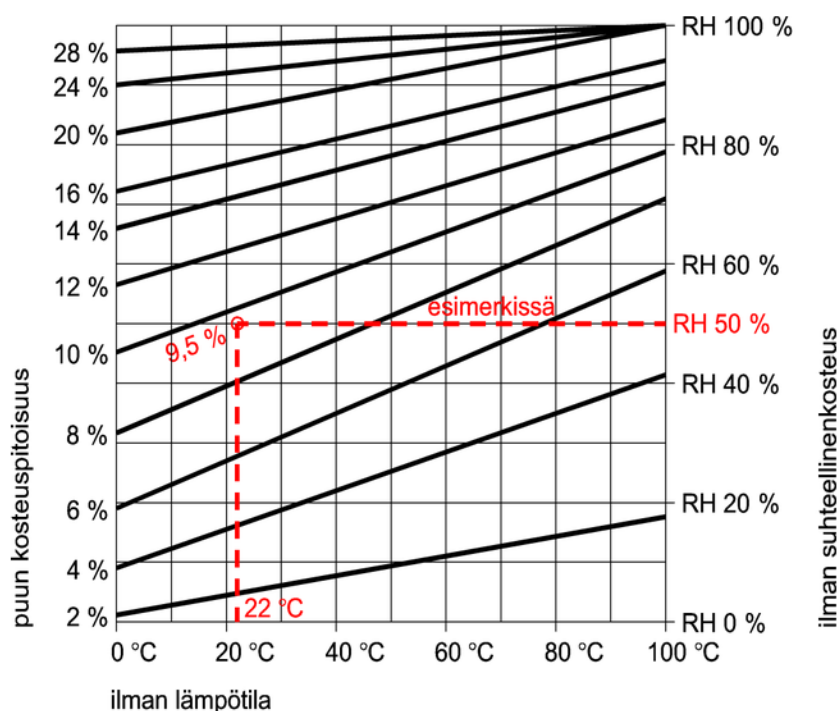
KUVIO 2. Puun eri suuntien kutistumisen suhde täysin märästä absoluuttisen kuivaksi tai toisinpäin. (Puuinfo Oy n.d.)

Puun ydin eli sydänpuu on aina pintapuuta kuivempaa. Puun anisotrooppisuudesta ja sisäisistä jännityksistä johtuen puu kieroutuu kuivuessaan (kuva 3). Voimakas kutistuminen tangentin suunnassa aiheuttaa halkeilua suurikokoisessa puutavarassa. Kosteuseläminen aiheuttaa myös rakennuksen puurungon painumisen. Puun kosteuseläminen tulee siis ottaa aina rakentamisessa huomioon. (Puuinfo Oy 2011, 1–4; Puuinfo Oy n.d.)



KUVA 3. Esimerkkejä sahatavaran kuivumisen aiheuttamista poikkileikkauksen muodonmuutoksista (Puuinfo Oy n.d.).

Puulla on kyky sitoa ilmasta tai vapauttaa ilmaan vesihöyryjä ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden (RH) mukaan. Tämän hygroskooppisen ominaisuuden vuoksi asettuu puu aina tasapainoon ympäristönsä kosteuden kanssa. Puun kosteuspitoisuus vaihtelee normaalikäytössä 8–25 % välillä ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Puuinfon (n.d.) kuvioista 3 voidaan nähdä puun kosteuspitoisuuden riippuvuus ympäröivän ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Esim. Kun ilman lämpötilan on +22 °C ja RH 50 %, puun kosteuspitoisuus on tällöin 9,5 %. (Puuinfo Oy 2011, 1–2; Puuinfo Oy n.d.)



KUVIO 3. Puutavaran kosteuspitoisuuden riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. (Puuinfo Oy n.d.)

CLT-levyissä eniten käytetty puumateriaali kuusi on lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiltaan samankaltainen kuin harvemmin käytetty mänty. Kuusen ja männyn kosteuskäyttäytyminen on kuitenkin erilaista, sillä kuusi reagoi kosteuden vaihteluihin hitaammin kuin mänty. Tämä johtuu siitä, että kuusen soluseinämien huokoisten läpät sulkeutuvat kauttaaltaan kuusipuun kuivuessa, kun taas männyn pintapuussa läpät jäävät auki. (Puuinfo Oy n.d.)

### 3.1.2 Puun kostuminen ja vaurioituminen

Puu voi kostua joko imemällä vettä kapillaarisesti tai hygroskooppisesti. Vesi voi kapillaarisesti imeytyä pitkällekin puuhun, vaikka puu olisikin vain pieneltä osaltaan yhteydessä veteen. Puun kostuessa puu alkaa laajeta, mikä johtuu veden imeytymisestä soluseinämiin. Laajentuminen loppuu, kun kyllästymispiste on saavutettu. (Puuinfo Oy 2011, 1–3; Puuinfo Oy n.d.; RIL 250-1 2017, 187.)

Puun vaurioituminen alkaa, kun puun kosteus pysyy pitkiä aikoja yli 20 %. Tällöin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (RH) on yleensä yli 80–90 %. Jos ilman

suhteellinen kosteus pysyy yli 80 %:n, puu alkaa homehtua muutamassa kuukaudessa. Ilman suhteellisen kosteuden 70% voidaan pitää kriittisenä arvona homehtumisen alkamiselle. Puu alkaa lahota, kun ilman suhteellinen kosteus ylittää 90 %. Puun lahoaminen ja homehtuminen edellyttää kuitenkin kosteuden lisäksi +0 – +40 °C lämpötilan. Puu ei vaurioidu pakkasella, vaikka RH voi olla pitkiäkin aikoja yli 85%, lämpötila ei ole riittävä homeen ja lahon synnylle. Lisäksi homeitiöt ja lahottajasienet vaativat happea ja ravinteita, joita yleensä on tarpeeksi puussa sekä ympäröivässä ilmassa. (Puuinfo Oy n.d.)

Puussa, varsinkin varastoidussa havupuussa, saattaa kasvaa sinistäjäsieniä, jotka voivat tunkeutua puun sisään. Sinistäjä sienet kehittyvät vasta yli + 5 °C:n lämmössä. Home ja sinistäjäsieni käyttävät puun vesiliukoisia osia, eivätkä siksi alenna puutavaran lujuutta, mutta niiden levittämät itiöt ovat haitallisia terveydelle. Sinistäjäsieni voi kuitenkin äärimmäisissä olosuhteissa aiheuttaa katkolahoa. Lahottajasienet taas heikentävät puun lujuutta, sillä ne tuhoavat puun lujuuden muodostamiseen tarvittavia aineita. (Puuinfo Oy n.d.; RIL 250-1 2017, 185-186)

### **3.2 CLT-rakenteen kosteustekniset ominaisuudet**

CLT:n ja puun ominaisuuksien katsotaan olevan samankaltaisia, koska CLT-levyssä liima-ainesta on alle 1 % (Stora Enso n.d., 15; 1; RIL 205-1 2017, 33.) Liima-aineella on kuitenkin vaikutusta kosteuden siirtymisessä CLT:n rakenteessa. Myös CLT:n ristiin liimatut paneelit tuottavat puutavaraa enemmän haastetta kosteuskäyttäytymisellään. CLT-levyn kosteuseläminen saattaa johtaa levyn taipumiseen sekä liitoskohtien aukeamiseen tai turpoamiseen. Kuivumisesta aiheutuva jännitys johtaa pintalamellien halkeiluun, jolloin halkeama on alttiina veden kertymiselle. Pinnan estetiikka kärsii. Halkeilu voi myös heikentää levyn kestävyttä. (Gereke ym 2011, 269-285; Gülzow, Richter & Steiger 2011, 193–197.)

### 3.2.1 CLT-rakenteen vaikutus kosteuden aiheuttamiin muodonmuutoksiin

CLT-levyn vääntymisen on todettu olevan suurempaa, kun levy joutuu kosketuksiin veden kanssa. Hygroskooppiin muodonmuutoksiin, vääntymiseen ja sisäisiin jännityksiin, vaikuttavat suurelta osin käytetyn puun jäykkyys sekä kosteuden aiheuttama turpoaminen. CLT-levyn ulkokerrosten paksuudella suhteessa kokonaispaksuuteen on havaittu olevan merkitystä kosteuden aiheuttamissa muutoksissa. Mitä paksummat ulkokerrokset ovat suhteessa levyn paksuuteen, sitä enemmän levy taipuu ulkokerrosten syiden suunnassa kosteuden vaikutuksesta. Ulkokerrokset eivät voi olla kuitenkaan kovin ohuita, sillä paksummat ulkokerrokset tasaavat paremmin puristusjännitystä ilmansuhteellisen kosteuden vaihteluissa. Lisäksi keskikerroksen materiaalin jäykkyydellä on huomattu olevan vaikutusta kosteuskäyttäytymisessä. Tämä korostuu silloin, kun keskikerroksissa käytetään puulamellien sijasta puupohjaista levyä. (Gereke 2019, 9; Gereke ym 2011, 269-285.)

Tässä opinnäytetyössä mainitut valmistajat käyttävät keskikerroksissa puulamelleja, joten kerrosten jäykkyyserot eivät ole ongelma. Ilmiö on kuitenkin hyvä tiedostaa, jos CLT-rakentamisen lisääntyessä markkinoille tulee puupohjaisia levyjä sisältäviä CLT-levyjä. Puupohjaista levyä sisältävät rakenteet aiheuttavat enemmän halkeilua kuivuessaan. Ne voivat myös aiheuttaa CLT-levylle suurtakin vääntymistä laajetessaan ja supistuessaan kosteusolosuhteiden mukaan. Vääntymisen voimakkuuteen vaikuttaa pintalamellien ja puupohjaisen levyn välinen jäykkyysero sekä pintalamellien paksuuden suhde koko CLT-levyn paksuuteen. Puulamelleista kootun CLT-levyn kosteusvaihteluiden muodonmuutoksiin vaikuttaa puun vuorirenkaiden suunta. (Gereke 2019, 9; Gereke ym 2011, 269-285.)

Kuivumisen aiheuttamaa halkeilua on todettu syntyvän pääasiassa lamellien liitoksissa. Tämä johtuu siitä, että uloimman kerroksen lamellit kutistuvat kuivuessaan voimakkaasti tangentin suunnassa, kun taas seuraavan kerroksen lamellien kutistuminen vaakasuunnassa on huomattavasti pienempää (kts. kappale 3.1.1.). Tästä syntynyt jännitys johtaa voimakkaammin kutistumaan pyrkivän ulkopinnan halkeiluun. Tutkimuksen mukaan ulkopinnan halkeilua voidaan vähentää ulkokerrosten esijännityksellä tai keskikerroksen korkeammalla kosteuspitoisuudella. (Gereke 2019, 9; Gereke ym 2011, 269-285.)

### 3.2.2 Kosteuden vaikutus CLT-rakenteen kestävyYTEEN

Swiss Federal Office for the Environment FOEN:n rahoittamassa tutkimuksessa tutkittiin kosteuden vaikutusta CLT-levyn leikkaus- ja taivutus kestävyYTEEN. Tutkijat totesivat koekappaleiden olleen liian pieniä, jotta tilastollisesti voitaisiin vetää johtopäätöksiä mittausten kestävyystuloksista. Kuitenkin tuloksista saatavien yleisten suuntausten ja saaduista mittauskeskiarvoista, tutkijat saattoivat todeta seuraavia asioita:

- Kun CLT:n kosteuspitoisuus kasvaa, leikkaus- ja taivutuslujuus pienenee.
- Kosteuspitoisuuden kasvaessa poikittaisten keskikerrosten lamellien halkeamat turpoavat kiinni. Turvonneiden levyjen välinen kitka voi aiheuttaa väliaikaisesti paremman jäykkyyden pienemmille kuormituksille. Tämä voi johtaa harhaan mitattaessa CLT-levyn kestävyYTEttä.
- Kuivuminen voi aiheuttaa halkeamia CLT-levyn jokaiseen kerrokseen. Tämä voi johtaa lamellien syitä kohtisuorassa olevan suunnan taivutusjäykkyyden pienenemisen. Tämän vuoksi tutkijat totesivat, että poikittaisten kerrosten jättäminen huomiotta CLT-levyn jäykkyytlaskennassa, on oikea toimintamalli.

(Gülzow, Richter & Steiger 2011, 193–197.)

### 3.2.3 Liiman ja puun kosteuskäyttäytyminen

Puun kosteuseläminen aiheuttaa rasitusta liimasaumaan. CLT-levyjen liimauksessa käytettävä puuliima (PUR-liima) testataan eurooppalaisen standardin EN 15425 mukaan. Yksi yleisimmistä standardin mukaisista testeistä on delaminointitesti, jossa liimattu puukappale kyllästetään vedellä yli kyllästymispisteen. Tämän jälkeen kappale kuivataan nopeasti korkeassa lämpötilassa lähes alkuperäiseen painoonsa. Koska käytössä olevien puuliimojen käyttökokemus on lyhyempi kuin rakenteen suunniteltu käyttöikä (50- tai 100-vuotta), testillä pyritään ennustamaan CLT:n koko käyttöiän käyttäytymistä. (Mills 2019, 74-75.)

Kiilto Oy:n puuliimojen tuotekehittäjä Christopher Millsin (2019, 75) mukaan tutkimukset ovat osoittaneet, että puuliima voi vähentää puutuotteen kosteuselämistä verrattuna samankokoisen massiivipuun kosteuselämiseen. Tyypillisesti

kosteuseläminen on suurinta puutuotteen pintakerroksessa, kun taas kosteuseläminen liimasauman syvyydessä on jo vähäisempää. Käytetty liima, liimasauman paksuus ja kosteuserot liimasauman eri puolilla vaikuttavat kosteuden siirtymiseen puutuotteessa. Mikroskooppisella tasolla puun pinta ei ole täysin tasainen, joten liimasaumasta ei muodostu tasapaksua. Epätasainen pinta jättää liimasaumaan myös kaasun ja kuivumisen aiheuttamia aukkoja. Keskimäärin liimasauman paksuus on noin 0,1 mm, mutta se ei puun epätasaisuuden vuoksi muodosta tiivistä kalvoa. Veden isotooppimäärityksien avulla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu kosteuden siirtyvän useamman liimasauman läpi, jolloin liimattu puutuote (CLT-levy) asettuu riittävän ajan kuluessa tasapainoon ympäröivän kosteuden kanssa. (Mills 2019, 75.)

ETH Zürichin Rakennusmateriaali instituutissa tutkittiin kolmikerroksisen CLT-levyn kosteusvirtaa. Tutkittava CLT-levy koostui kuusilamelleista (*Picea abies*). Tutkimuksessa huomattiin, että kahden ensimmäisen kerroksen välille muodostui suurin kosteusero. Tämän perusteella kosteuden diffuusiovastuksen todettiin olevan korkea liima-ainekohdissa (kuvio 4). Kosteuden pääteltiin kulkeutuvan liima-aineen läpi vesihöyryn diffuusiolla. (Gereke 2019, 9; Gereke ym 2011, 269-285.) Tätä tutkimustulosta tukee myös viimeaikaisin pohjoisamerikkalainen tutkimus (Kordziel ym. 2020, 12), jossa todettiin vesihöyryn diffuusiolla olevan suuri merkitys kosteuden kulkeutumisissa rakenteissa. Liimasauman kostumisen todettiin olevan vähäistä puulamellien kosteuden ollessa normaali. Lamellien kostuminen lähemmäksi puun kyllästymispistettä lisäsi myös liimasauman kosteutta. (Gereke 2019, 9; Gereke ym 2011, 269-285.) Tämä alentaa jonkin verran liimasauman mekaanista lujuutta, mutta testien mukaan puuainees hajoaa kuitenkin yleensä ennen liimasaumaa. (Mills 2019, 74-75.)

Glue line	Time (d)			
	14	21	28	170
ML/TL	1.9	2.2	2.3	4.2
BL/ML	7.5	8.5	9.1	9.0

KUVIO 4. Kahden lamellikerroksen (BL= alin kerros, ML = keskikerros, TL = ylin kerros) välinen kosteusero (%) ajan kuluessa (d = päivä) (Gereke 2019, 46).

### 3.3 Kosteuden syntyminen rakenteisiin

Kosteutta voi syntyä rakenteisiin seuraavilla tavoilla:

- Rakenteisiin imeytyy vettä kapillaarisesti, kun huokoinen rakenne joutuu kosketuksiin vapaan veden kanssa. Vesi voi siirtyä kapillaarisesti niin pysty- kuin vaakasuunnassa.
- Hygroskooppisen materiaalin kostuminen suhteellisen kosteuden vaikutuksesta.
- Vesi kulkeutuu painovoimaisesti alaspäin pystysuorissa ja kaltevissa rakenteissa. Vesi voi myös kulkeutua painovoimaisesti rakenteiden sisään, jos vettä ei ole ohjattu pois rakenteiden vierestä.
- Kosteus siirtyy rakenteiden läpi diffuusiolla, kun sisä- ja ulkoilman välinen kosteusero pyrkii tasoittumaan.
- Kosteus siirtyy rakenteisiin ilman paine-eroista johtuvan konvektion avulla. Ylipaineisen rakennuksen rakenteisiin siirtyy kosteutta erilaisten rakojen ja reikien kautta.
- Diffuusiolla tai konvektiolla siirtyvä kosteus voi tiivistyä rakenteeseen, jos rakenteen sisä- ja ulkopuolisen lämpötilan erotus on riittävän suuri.  
(Pitkäranta 2016, 111–115; Vinha 2011, 369)

### 3.4 Rakennesuunnittelussa huomioitavat kosteuden vaikutukset

Rakennusfysikaalisen suunnittelun tulee, rakennuksen käyttäjien turvallisuuden ja terveyden varmistamiseksi, pohjautua varmatoimisiin ja vikasietoisiin ratkaisuihin (RIL 255-1 2014). Rakennusten kosteusteknisessä suunnittelussa tulee

- estää sekä rajoittaa ylimääräisen kosteuden pääsy rakenteisiin
- varmistaa rakenteiden riittävä kuivumiskyky
- estää materiaalien ja rakenteiden vaurioituminen.

(Vinha 2011, 362.)

CLT-runkoisen rakennuksen kosteusteknisessä suunnittelussa tulee hyvin pitkälle ottaa huomioon samoja asioita kuin puurakentamisessa yleensä. Liiallinen kosteus puurakenteissa heikentää rakenteiden lujuus- ja kestävyysominaisuuksia.



sia. Kosteus voi johtaa myös rakenteiden mittapoikkeamiaan sekä fyysisiin, biologisiin ja kemiallisiin vaurioihin. CLT-levyn halkeilu ja lamellien irtoaminen toisistaan ovat fyysisiä vaurioita, joita liiallinen kosteus ja kuivuminen voivat aiheuttaa. Sienet ja home aiheuttavat biologisia vaurioita, joiden synnyn ehkäisemiseksi CLT-levyn kosteuspitoisuuden tulee olla alle 18 %. Metallin korroosion aiheuttamat vauriot ovat kemiallista. Tämän vuoksi CLT-rakenteeseen kiinnitettävien metallisten kiinnikkeiden ja liitososien olisi hyvä olla korroosionkestäviä tai vähintään suojattuja korroosiolta. (Kordziel ym. 2020, 1; RIL 205-1 2017, 65; The CLT Handbook 2019, 160).

### 3.4.1 Kosteuden vaikutus CLT-mitoitukseen

CLT-rakenteen mitoituksessa kosteuden vaikutus on otettu huomioon jättämällä kestävyysmitoituksissa osa lamellikerroksista pois: kantavissa pystyrakenteissa huomioidaan vain pystysuuntaiset lamellit ja vaakarakenteissa jännevälillä suuntaiset lamellit. (Gülzow, Richter & Steiger 2011, 193–197; Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2019.) Tämän lisäksi CLT-rakenteen mitoituksessa otetaan kosteudenvaihtelut huomioon käyttöluokan valinnalla, samalla tavalla kuin puurakenteiden mitoituksessa. Käyttöluokka on tarkoitettu lujusarvojen jaottelua ja määrittelyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten. Käyttöluokat jaotellaan numeroilla 1–3, joista käyttöluokka 3 on kosteusrasitetuin luokka. Käyttöluokka vaikuttaa kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muuntokertoimeen  $k_{mod}$ , jota käytetään kestävyden mitoitusarvon laskennassa (RIL 205-1 2017, 32–33, 49–50). Stora Enson sekä suomalaisten valmistajien CLT-levyjen sallitut käyttöluokat ovat 1 ja 2. (Stora Enso n.d., 15; Hoisko 2018, 1; RIL 205-1 2017, 33).

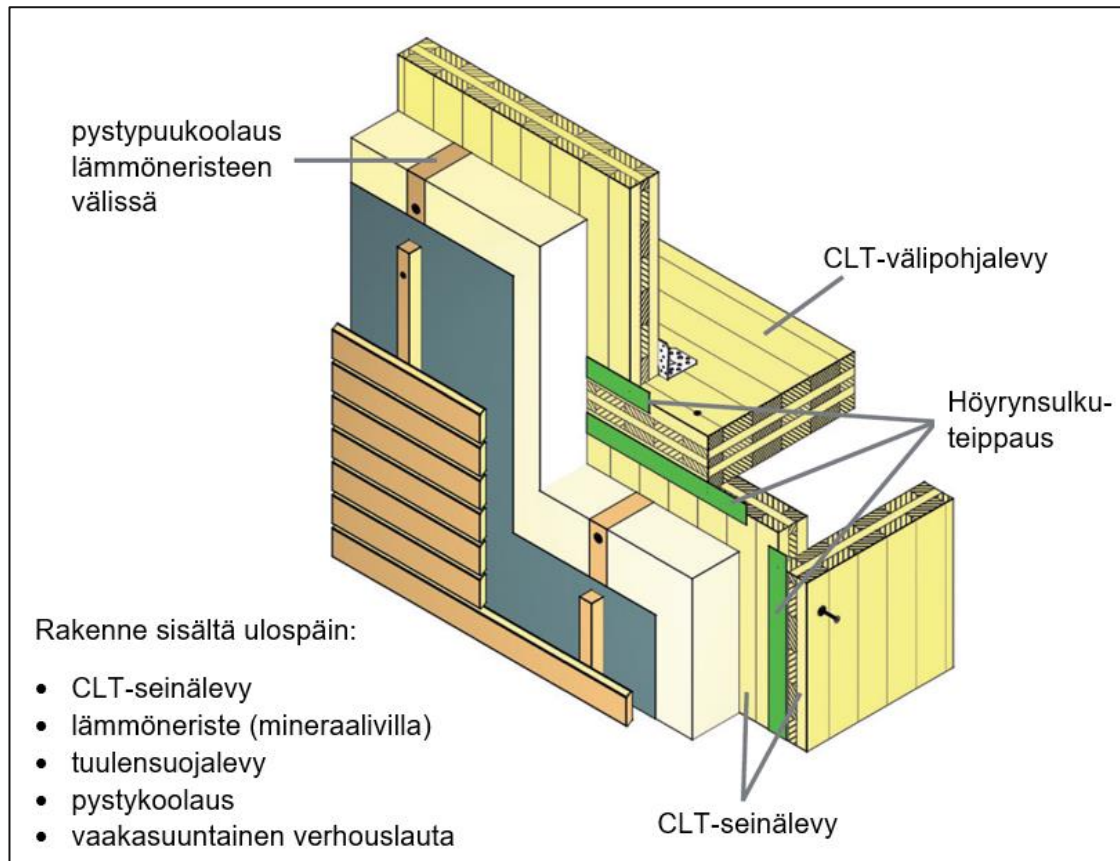
### 3.4.2 Kosteus CLT-ulkoseinärakenteessa

Suurin osa kosteusteknisestä suunnittelusta liittyy ulkovaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamiseen. Massiivirakenne ei välttämättä tarvitse ulkoverhousa, ellei palomääräykset tai muut niin määrittele. Massiivirakenteissa, kuten CLT, joissa ei ole erillistä lämmöneristekerrosta koko rakenne toimii

ilmansulkuna. Tällöin liitos- ja jatkoskohdat on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi. (Vinha 2011, 368–374.) Hygroskooppisuutensa vuoksi CLT-ulkoseinä kestää jonkin verran saderasitusta, sillä se pystyy avohuokoisena materiaalina luovuttamaan kosteutta takaisin ympäröivään ilmaan. Liimapintansa ansiosta CLT saattaa kestää enemmän saderasitusta kuin massiivihirsirakenne, sillä liimapinta hidastaa kosteuden imeytymistä syvemmälle rakenteeseen. Ilmastonmuutoksen myötä viistosade tulee lisääntymään ja ilman suhteellinen kosteus pysyy pidempiä aikoja korkeammalla. Riskinä tällöin on, ettei CLT-rakenteinen ulkoseinäpinta pääse kuivumaan. (Vinha 2020.)

Jos massiiviseinän ulkopinta halutaan pinnoittaa, tulee pinnoitteen olla hyvin vesihöyryä läpäisevä, jotta pinnoite kestää seinärakenteen kosteusvaihtelut. Pinnoitteella tulee olla myös hyvä pintatartunta ja kyky muodonmuutoksiin. Sadevesirasituksen vähentämiseksi pinnoite suositellaan vettä hylkiväksi. (Vinha 2011, 374.) Ulkomaisissa tutkimuksissa on havaittu, että myös sisäpuolinen läpäisemätön kalvo hidastaa rakenteiden kuivumista (Kordziel ym. 2020, 2). RIL 255-1 -teos (2014, 140–141) ohjeistaa valitsemaan hirsiseinän sisäpuoliseksi pinnoitteeksi vesihöyryä läpäisevän pinnoitteen. Sama ohje koskettaa siis myös CLT-seinälevyä.

Ulkopuolelta lämmöneristetty CLT-ulkoseinärunko on kosteusriskin kannalta parempi kuin massiivinen CLT-seinä, jota ei ole julkisivuverhoiltu (Vinha 2020). CLT-seinän lämmöneristeen tulee olla avohuokoinen ja hyvin kosteutta läpäisevä. Tällöin rakenteen kuivuminen ulkoilmaan on tehokkainta. Avohuokoisia lämmöneristeitä ovat kivi- ja lasivilla, muovi- ja puukuituesite sekä pellava. Lämmöneristeen ulkopuolelle tulee laittaa tuulensuojakerros, jonka hyvä lämmöneristyskyky parantaa kosteusteknistä toimivuutta. Ulkoverhouksen ja lämmöneristeen väliin jätetään tuuletusväli. Ulkoseinä rakenne tulee suunnitella niin, että vesihöyrynläpäisevyys kasvaa sisältä ulospäin mentäessä (kuvio 5). (RIL 255-1 2014, 140; Vinha 2011, 367–368, 374.) Puurunkoisen talon halutaan yleensä nykyään näyttävän puurakennukselta, jolloin julkisivuverhouksessa käytetään puuta. Tiilijulkisivuverhouksen tiedetään aiheuttaneen kosteusongelmia puurakenteen kanssa, mutta tiilijulkisivun toimivuudesta CLT-rungon kanssa ei ole tietoa (Vinha 2020).



KUVIO 5. Esimerkki mineraalivillalla eristetystä CLT-ulkoseinärakenteesta. (Stora Enso n.d., 11)

Massiivirakenteisissa ulkoseinissä, kuten käytettäessä CLT:tä, ei tarvita erillistä ilman- ja höyrynsulkukerrosta (Vinha 2011, 374). Ruotsalaisen kerrostalon CLT-ulkoseinärakenteen lämpötila- ja kosteuspitoisuuden mittaustulokset tukevat edeltävää. (Serrano, Enquist & Vessby 2014.) Massiivirakenteiset ulkoseinät voidaan toteuttaa myös ilman tuuletusta. Perusteena tälle on, että massiivirakenteen eli CLT-levyn vesihöyrynvastus on riittävän diffuusiolle, kun taas samaan aikaan ulkopinta on kuitenkin riittävät vesitiivis saderasitusta vastaan. Vettä voi siis imeytyä rakenteisiin vähäisissä määrin, mutta rakenne kuivuu tehokkaasti sadejakson jälkeen. (RIL 255-1 2014, 43)

### 3.4.3 Kosteus CLT-väli- ja yläpohjarakenteissa

Suomessa CLT-levyjä on käytetty tiettävästi vähemmän vesikattorakenteissa. Maailmalla tätä kuitenkin tehdään ja on hyvä olla tietoinen siihen liittyvästä ris-

kistä. Tutkimuksissa on huomattu, että CLT:n peittäminen tiiviillä kalvolla heikentää rakenteiden kuivumista. Tämä tulee ottaa huomioon silloin, jos CLT-levyä käytetään aluslevynä bitumikermille tai muulle vesikalvon muodostavalle vesikatteelle. Tällöin rakennusvaiheessa on oltava erittäin tarkkana, että CLT-levy on tarpeeksi kuiva ennen kuin se peitetään. (Kordziel ym. 2020, 2.) Structural-Safety'n (2019) julkaisemassa raportissa rakennusaikainen kostuminen ja liian aikainen kermikatteen asennus saattoi aiheuttaa aluslevynä toimineen CLT-levyn lahoamisen (kuva 4). Viisikerroksisesta levystä kolme ylintä kerrosta olivat raportojien mukaan läpilahoja. Varmuutta kostumisen syyhyn ei saatu, mutta rakenteen tiedettiin kastuneen rakennusaikana. Raportoijat spekuloivat lisäksi, että kostuminen olisi voinut johtua kondensoitumisesta, vedenpitävän kalvon vuotamisesta tai näiden yhteisvaikutuksesta. (Structural-Safety 2019.)

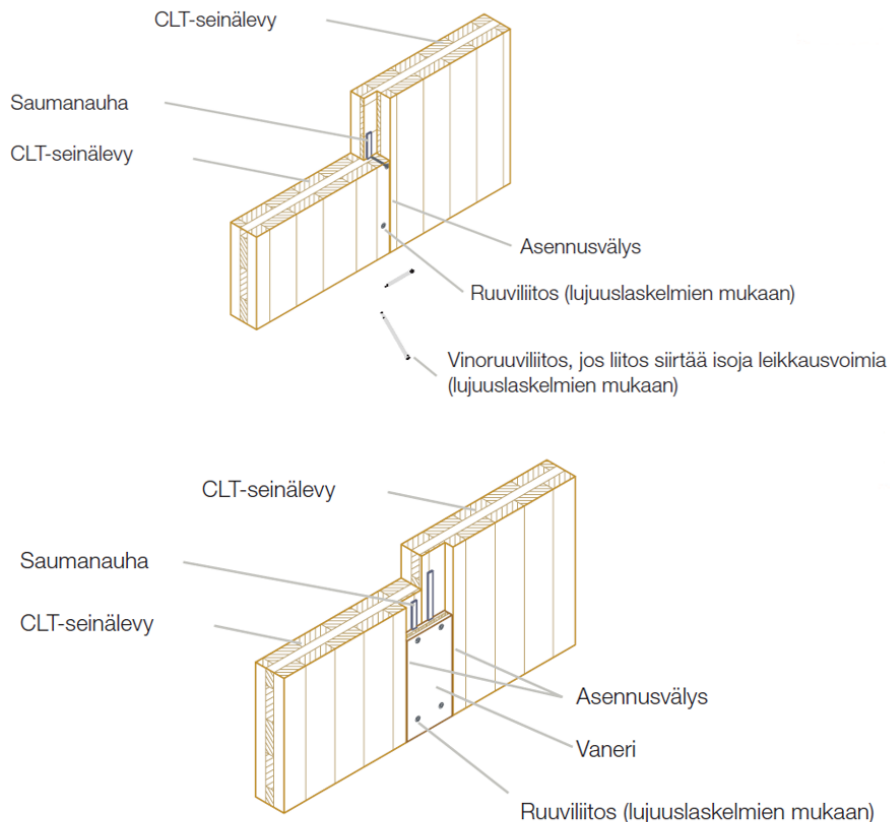


KUVA 4. Kosteuden vaurioittama CLT-levy (Structural-Safety 2019).

Yläpohjarakenteita, kuten myös seinärakenteita, suunnitellessa tulee ottaa huomioon, ettei rakenteille tule paikallisia lämpökuormituksia. Tämä voi aiheuttaa CLT-levyn liiallista kuivumista, joka johtaa halkeiluun. Paikallisia lämpökuormituksia voi aiheutua esimerkiksi lämpöä tuottavista putkista tai tuuletuslaitteista. Kuivumishalkeilua voidaan vähentää käsittelemällä levyn katkaisupinnat solurakenteen sulkevalla aineella tai valitsemalla CLT-levylle optimaalinen pintakerroksen paksuus. (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 14–15.)

### 3.4.4 Kosteuden vaikutus ja huomioiminen liitoskohdissa

Liitoskohtia suunniteltaessa on otettava huomioon liitoksen toteutettavuus työmaalla. Liitoksen toteuttaminen helposti ja nopeasti korostuu etenkin silloin, kun käytössä ei ole kate- tai telttasuojaa. Wood city -nimisessä hankkeessa Helsingissä kokeiltiin rakentaa puutalokortteli ilman sääsuojasta. Hankkeen kosteudenhallinnan kannalta ongelmallisimmaksi osoittautuivat liitoskohdat, jotka oli tehty hankaliksi ja aikaa vieviksi. Liitoskohdissa käytettiin myös koivuvaneria, joka säälle alttiina pääsi kostumaan ja homehtumaan. Liitoksien materiaalien valintaan kannattaa kiinnittää huomiota ja valita sääolosuhteille vähemmän alttiita materiaaleja. Suomessa CLT-levyissä käytettävä kuusi kestää paremmin sääolosuhteille altistumisen, kun taas koivu on herkkä sääolosuhteille. Liitoksien suunnittelussa on myös tärkeää, että liitos suunnitellaan niin, että liitokseen joutunut vesi pääsee pois. (Vinha 2020.) Kuviossa 6 on esitetty 1–2 kerroksisen rakennuksen CLT-seinälevyjien liitos toisiinsa kahdella eri tavalla: uraliitoksella ja vanerilla. Liitosratkaisuissa tulee ottaa huomioon rakennusaikainen suojaustaso.



KUVIO 6. CLT-seinäliitosvaihtoehdot (Stora Enso 2012, 12–13).

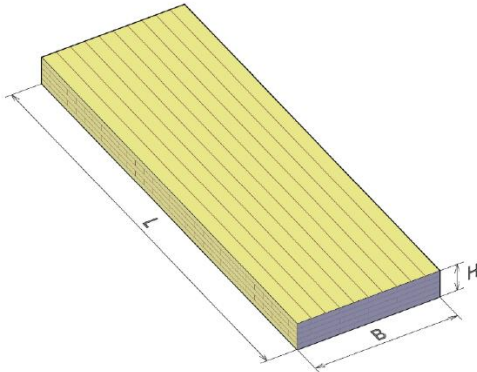
CLT muodostaa rakennukselle ilmatiiviin ulkopinnan. Tällöin rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyden suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota liitoskohtien tiiviuteen. Koska CLT-ulkoseinärakenteessa ei ole erillistä kalvomaista ilmansulkua, tulee yläpohjan kalvomainen ilmansulku viedä vähintään 500 mm CLT-rungon sisäpintaan. Vaihtoehtoisesti liitos voidaan tehdä elastisen kittauksen ja puristusliitoksen avulla. Rungon läpiviennit tiivistetään polyuretaanivaahdolla tai kittamalla. Ikkunoiden ja ovien sekä muiden vastaavien rakennusosien liittymät tehdään polyuretaanivaahdolla, kimmoisalla kittauksella tai riittävän tartuntakyvyn omaavan ja pitkäaikaiskestävän teipin avulla. (Vinha 2011, 368–374.)

CLT-seinän ja maata vasten olevien kivirakenteiden väli tulee aina kosteudeneristää, sillä puu imee vettä syiden suunnassa moninkertaisesti enemmän kuin poikittaisessa suunnassa. Jos kosteudeneristeenä käytetään bitumikermiä, tulee huomioida, että kermin ylä- ja alapuolelta saattaa vuotaa ilmaa. Liitoksen ilmatiiveys tulisi siis varmistaa tiivistenauhalla, polyuretaanivaahdotuksella tai elastisella kittauksella, joista kaksi edellistä toimii myös kosteudeneristeenä. CLT-seinän alapää tulee suunnitella aina maanvastaisen betonilaatan yläpuolella. (RIL 255-1 2014, 140–141; Vinha 2011, 368, 374.)

### **3.4.5 Kosteuselämisen huomioon ottaminen**

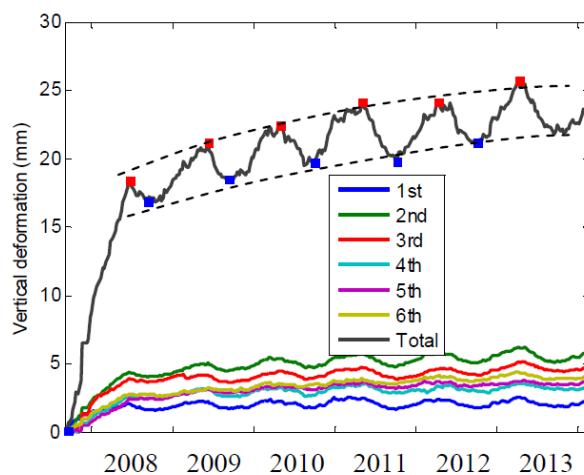
CLT-rakenteen kosteuseläminen tulee ottaa huomioon rakenteiden liitoskohdissa. (RIL 255-1 2014, 44) Liitoksiin tulee jättää tilaa CLT-levyn kosteuselämiselle ja liitokset tulee tiivistää elastisilla materiaaleilla, jotta liitoskohdat pysyvät tiiviinä ja ehjinä. CLT:n kosteusvaihteluista johtuvat mittamuutosten ohjeelliset arvot on esitetty taulukossa 1. (Puun kosteuskäyttäytyminen 2018, 7.) CLT-levyjen toimituskosteudeksi on ilmoitettu 12% +/- 2%. (RIL 205-1 2017, 33).

CLT-levyn kosteuden muutos	Poikkileikkauksen mittamuutokset		
	B	L	H
1 % -yksikkö	0,02 %	0,02 %	0,24 %



TAULUKKO 1. CLT:n kosteusvaihteluista aiheutuvat ohjeelliset mittamuutokset.

Ruotsin Växjössä vuonna 2006 aloitetussa Limnologen -nimisessä projektissa mitattiin CLT-kerrostalon pystysuuntaista elämistä vuodenaikojen mukaan. Kahdeksankerroksisen CLT-kerrostalon seitsemän ylimmän kerroksen kantavat pysty- ja vaakarakenteet oli tehty CLT-levystä. Mittaus tehtiin kuudessa kerroksessa 5,5 vuoden ajan. Mittausaika alkoi seinärakenteiden pystytyksestä. Mittaustulokset on esitetty kuviossa 7. Rakennuskosteuden kuivuessa ja rakenteiden asettuessa tasapainoon ympäröivän kosteuden kanssa, kerroksien yhteenlaskettu painuma oli noin 18 mm. Tämän jälkeen rakenteissa oli havaittavissa pystysuuntaista edestakaista nousua ja laskua noin 5 mm:n verran vuodenaikojen mukaan. Kokonaispainuma 5,5 vuodessa oli noin 23 mm ( $\pm 2$ mm). (Serrano, Enquist & Vessby 2014.)



KUVIO 7. Kerrostalon CLT-seinärakenteiden pystysuuntainen eläminen vuodenaikojen mukaan. (Serrano, Enquist & Vessby 2014, 2.)

### 3.4.6 CLT:n kosteusteknisen laskentatarkastelun toteutus

CLT-levyn vesihöyrynläpäisevyys ilmoitetaan vesihöyrypitoisuuksien osapaine-eron tai vesihöyrypitoisuuksien eron avulla riippuen lähteestä. Puun tavoin CLT:n vesihöyrynläpäisevyys on riippuvainen ympäröivän ilman kosteudesta. RIL 255-1-teoksessa (2014, 281) CLT-levyn vesihöyrynläpäisevyys ilmoitetaan vesihöyrypitoisuuksien osapaine-eron  $\delta_v$  avulla. Vesihöyrynläpäisevyys  $\delta_v$  on

- noin  $0,1-0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , kun RH on 70%
- $0,5-1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , kun RH on yli 70%

(RIL 255-1 2014, 281.)

CrossLam ilmoittaa CLT-levynsä vesihöyrynvastuksen ja -läpäisykertoimen vesihöyryn osapaine-eron avulla. Kolmikerroksisen 80 mm paksun CLT-levyn

- vesihöyrynläpäisykerroin  $W_p$  on  $5,0 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$
- vesihöyrynvastus  $Z_p$  on  $2,0 \cdot 10^{11} (\text{m}^2\text{sPa})/\text{kg}$ .

Crosslam ilmoittaa CLT-levyllensä myös suhteellinen diffuusiovastuksen  $s_d$ , joka on 39 m. (Oy CrossLam Kuhmo Ltd: Tuotesertifikaatti 2019, 3.)

Stora Enso ilmoittaa diffuusiovastuskertoimien keskiarvot puun eri kosteuspitoisuuksille:

- kosteuspitoisuudessa 11,3 %  $s_d$  on  $52 \pm 10$
- kosteuspitoisuudessa 14,7%  $s_d$  on  $33 \pm 7$
- kosteuspitoisuudessa 8 %  $s_d$  on n. 105

Stora Enso toteaa CLT-levyjensä tutkimuksissa huomattun, että diffuusiovastuskerroin kasvaa suunnilleen lineaarisesti lamellikerrosten lisääntyessä. Tästä saatiin laskettua edellä esitetyt keskiarvot diffuusiovastuksille. (Stora Enso n.d., 16.)

CLT-rakenteen kosteusteknistä toimivuutta on tutkittu paljon rakennusfysikaalisilla laskentaohjelmilla. Vertailemalla laskennallisia ja tutkimuksellisia tuloksia, on todettu, että laskentaohjelmat eivät kykene ottamaan tarpeeksi huomioon puun hygroskooppista luonnetta. Kenttätutkimuksien tuloksia vertailemalla on huomattu, että simulaatiot arvioivat kosteuspitoisuuden 5–10 % liian korkeaksi CLT-rakenteen keskellä. (McClung ym. 2014, 95, 110.)



Laskentaohjelmat eivät osaa kuvata oikein kosteuden kondensoitumista kaikissa olosuhteissa, sillä ohjelmat olettavat kosteuden sitoutuvan materiaaleihin (tai ilmaan) myös rajapinnoissa. Tämä tarkoittaisi sitä, että materiaalit olisivat tiiviissä kontaktissa toisiinsa ja lämpötilan pitäisi olla yli 0 °C. Ohjelmat olettavat, ettei rakenteessa tapahdu jäätymisilmiötä, vaan kapillaarinen kosteudensiirto toimii tällöinkin. Todellisuudessa kondensoituva vesi jäätyy, kun lämpötila laskee alle 0 °C tiiviin ja kapillaarisen materiaalin rajapinnassa. Tiiviiseen pintaan tiivistyvä kosteus voi myös valua painovoimaisesti rakenteen alaosiin synnyttäen kosteuskertymiä. Tätä ei voida mallintaa laskentaohjelmalla, sillä niistä puuttuu veden painovoimainen siirtyminen. Käytännössä kondensoitumista voidaan tarkastella CLT-rakenteessa valitsemalla suhteellisen kosteuden arvoksi puun hygroskoopista kyllästymiskosteuspitoisuutta vastaava suhteellinen kosteus. Tämä vastaa todellisia kondensoitumisolosuhteita lämpötilan ollessa alle 0 °C. (RIL 255-1 2014, 59)

### **3.5 Rakennusaikana huomioitavat kosteustekijät**

#### **3.5.1 Laadunhallinta työmaalla**

CLT-rakenteiden kosteudenhallinta työmaalla tehdään Puurakenteiden toteuttamisstandardin SFS 5978 (2014) mukaan. Puurakentamisen laadunhallinnassa otetaan huomioon puun kosteuseläminen, mikä otetaan huomioon liitosten toimivuudessa, suurten rakennusosien muodonmuutoksissa sekä kuivumiseen mahdollisesti liittyvän halkeilun estämisessä. Laadunhallintaa varten laaditaan toteutusasiakirjoja sekä toteutuksen työsuunnitelmia. Rakennustyömaalle tehtäviin laadunhallinta-asiakirjoihin kuuluu kosteudenhallintasuunnitelma, joka sisältää muun muassa:

- Puuelementtien ja -rakennusosien tavoitekosteus työmaalle tuotuna, asennuksen aikana ja valmiissa rakenteessa.
- Rakentamisajan kosteuslähteiden kartoitus.
- Puurakenteiden suojaustason määrittäminen rakentamisen aikana ja suojaustarpeen keston arviointi.
- Rakenteiden hallitun kuivatuksen käyttöolosuhteisiin.

- Kosteusmittaus suunnitelma, joka sisältää mittausmenetelmät, mittausaikataulun, vastuuhenkilön sekä mittauksen dokumentointitavan.  
(SFS 5978 2014, 11, 18)

### 3.5.2 Rakennusaikainen kosteus

Puutavaran varastoinnin ja asennuksen kosteusolosuhteiden tulee vastata aina mahdollisimman hyvin puutavaran käyttökohteen kosteusolosuhteita. Jos CLT on päässyt kastumaan, tulee se kuivata riittävän hitaasti halkeilun välttämiseksi. CLT:n ja kuivumisolosuhteiden tasapainokosteuksien ero saa olla korkeintaan 6 %. CLT-rakenteen kuivatuksessa tulee muistaa, että kuivuminen vie aikaa ja mitä massiivisempi CLT rakenne on, sitä hitaammin se tulee kuivata. Rakenteen saa pinnoittaa tai sulkea vasta, kun haluttu kosteus on saavutettu. Homehtunutta tai lahonnutta puuta ei saa käyttää. Puun sinistymä katsotaan visuaaliseksi haitaksi, mutta ei puun lujuus- ja jäykkyysominaisuuksia heikentäväksi tekijäksi. Sinistäjäsienen levittämät itiöt ovat kuitenkin haitallisia terveydelle ja äärimmäisissä olosuhteissa sinistäjäsieni aiheuttaa katkolahoa. (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 15; Puuinfo Oy 2011, 3–5; SFS 5978 2014, 13, 19; RIL 250-1 2017, 185-186).

Betonivaluissa, kuten lattiavalussa, tulee ottaa huomioon CLT:n puun kosteusherkkyys. Valujen aiheuttama kuivuminen lisää ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. Tällöin on huomioitava, että tilaa ei lämmitetä liian paljon, jottei CLT-rakenne kuivu liian nopeasti ja halkeile. (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 14.) Valujen yhteydessä tulee myös huomioida CLT:n hygroskooppisuus. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila ei saa nousta niin korkeaksi, että CLT-rakenteen pinnalle muodostuu hometta. Riskiä voidaan pienentää esimerkiksi suojaamalla CLT-seinäpinta lattiavalujen yhteydessä suojamuovilla, jolloin kosteuden imeytyminen hidastuu. Tällöin on kuitenkin oltava varma siitä, ettei seinärakenteessa ole kosteutta, joka voisi peitettyinä aiheuttaa rakenteisiin hometta.

### 3.5.3 CLT:n suojaus ja varastointi työmaalla

Säilytettäessä ja varastoidessa CLT:tä tulee aina ottaa huomioon puun herkkä kyky imeä kosteutta, minkä vuoksi CLT:n tulee aina olla irti maasta ja kosteutta omaamista materiaaleista. CLT tulee säilyttää ja varastoida aina kuivalla, tasaisella ja tukevalla alustalla, jottei rakenteeseen synny haitallisia muodonmuutoksia tai ulkonäköä heikentäviä virheitä. Ulkona varastoitaessa CLT tulee suojata sääolosuhteilta niin, että se pääsee tuulettumaan suojauksesta huolimatta. Lisäksi elementtien valmiit pinnat, nurkat, ulokkeet ja ulkonevat osat tulee suojata. (Puuinfo Oy 2011, 3–5; SFS 5978 2014, 15.)

Rakennustyömaalla, varastoinnissa kuin kuljetuksessa kosteuden suojauksen tasossa käytetään standardin SFS 5978 (2014, 20) mukaisesti taulukkoon 2 merkittyjä suojaustasoja. Suojaustaso ST0 ei tavallisesti sovellu puurakentamiseen Suomen ilmasto-olosuhteissa, vaikka sitä käytetään esim. Keski-Euroopassa (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 3).

Suojaus-taso	Suojaus	Kosteus-pitoisuus	Huomioitavaa
ST0	Ei suojausta	Riippuu ilmastosta	Suosittelava vain talvikausina ja lyhyinä jaksoina, ei maakosketusta.
ST1	Muovi- tai pressusuojaus rakenteiden päällä	Alle 20 %	Riittävä tuuletus varmistettava
ST2	Katesuoja	Alle 20 %	Varmempi kuin ST1
ST3	Sisäolosuhteet tai lämmitetty telttasuoja	Alle 15 %	

TAULUKKO 2. CLT:n suojaustasot ja niillä saavutettavat rakenteen kosteuspitoisuudet. (SFS 5978 2014, 20.)

Tukholman teknillisen korkeakoulun (Kungliga Tekniska Högskolan, KTH) Rakennustekniikan osaston kandidaatintutkielmassa mallinnettiin WUFI-laskentaohjelman avulla rakentamisessa tarvittava sääsuojataso pohjoismaisessa ilmastossa. Mallinnus tehtiin Göteborgin, Bergenin ja Lundin sääolosuhteiden vaihteille. Suojaustasot määritettiin seuraavasti:

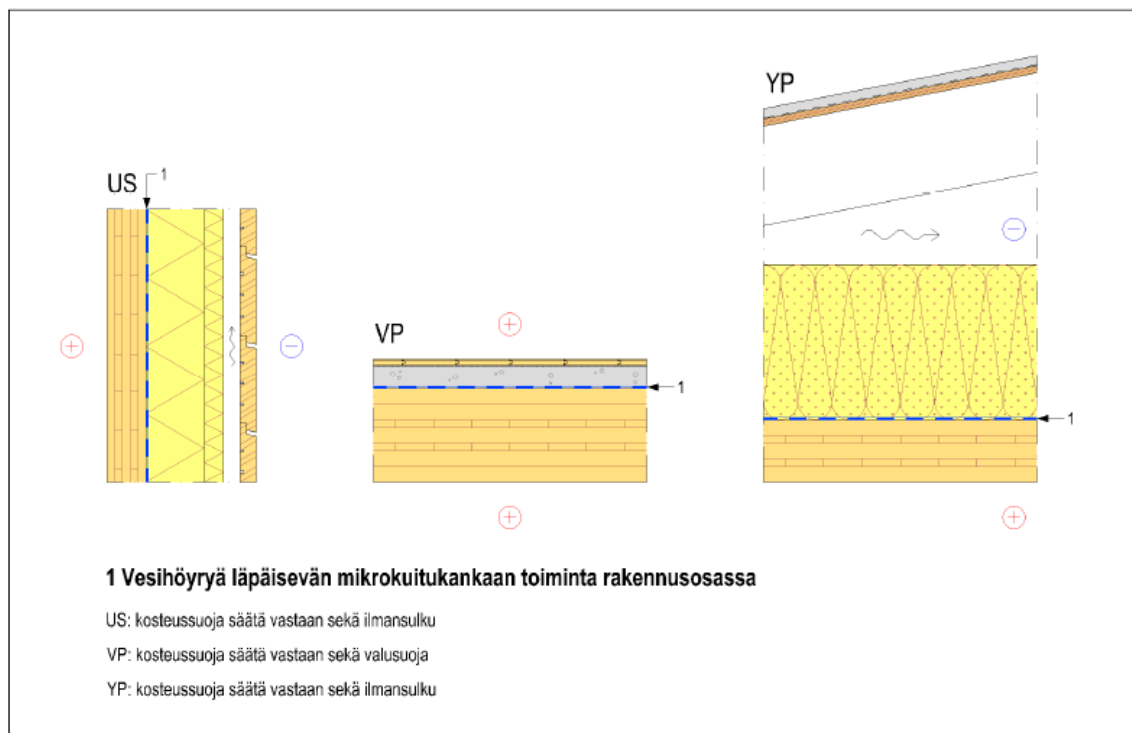
- Hyvällä säällä on mahdollista rakentaa lyhyen aikaa (1–2 viikkoa) ilman sääsuojauksia. Tämä vaatii kuitenkin todella suurta varovaisuutta. Ilmasto-

olojen ollessa suotuisa rakenne kestää pienen määrän sadevettä (alle 10–20 mm). Hyvissä sääolosuhteissa pienen määrän sadevettä on mahdollista kuivua pois rakenteista muutamassa päivässä. (ST0.)

- Lyhytaikaisessa rakentamisessa rakenteiden suojaus muovilla tms. on tarpeen, jos sadekuorma rakennusaikana on 10–40 mm (ST1).
- Jos sadekuorman määrä ylittää 40 mm tai rakennusaika on yli 2 viikkoa, tarvitaan katesuoja (ST2).
- Jos vuotuinen sademäärä ylittää 1200 mm ja keskimääräinen ilman kosteus on 80 %, tarvitaan telttasuoja (ST3).

(Wiege & Öberg 2018, 76–77.)

Suojatason 1 muovi- ja pressusuojaus lisäksi käytettävissä on itseliimautuva mikrokuitukangas, joka voidaan asentaa tehtaalla tai työmaalla. Itseliimautuvan mikrokuitukangas on vedenpitävä ja ilmatiivis, mutta sen etuna on vesihöyrynläpäisevyys, jonka vuoksi kangas voidaan jättää rakenteeseen. Kuviossa 8 on esitetty itseliimautuvan mikrokuitukankaan toiminta eri CLT-rakenteissa. (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 11–13.)



KUVIO 8. Itseliimautuvan mikrokuitukankaan käyttö CLT-rakenteessa (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 13).

Suojatason 3 telttasuojan tiedetään lisäävän rakennuskustannuksia. Toisaalta se tuo myös etuja, koska tällöin ei kulu työaikaa rakenteiden suojaamiseen ja töitä pystytään tekemään sääoloista riippumatta. Lisäksi työmaan vaihteita voidaan lomitaa, kun alempien kerrosten sisätöiden aloittamisen ei tarvitse odottaa tiiviin vesikaton valmistumista. Teltassa voi myös varastoida rakennustarvikkeita ja työkaluja. (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 3). Telttasuoja ei hyödytä pelkästään puurakennetta, sillä suojan avulla myös muut rakennusmateriaalit pysyvät kuivina (Vinha 2020).

### 3.6 CLT käyttöönoton jälkeen

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälän 117i § mukaan rakennuksille tulee laatia käyttö- ja huolto-ohjeet, joissa selitetään rakennuksen kosteudenhallinnan kannalta tärkeät tekijät sekä tarkastuskohteet. Kuivaketju10 – käytön ja ylläpidon risikilistä toimii hyvänä mallina rakennuksen kosteustarkastuksille.

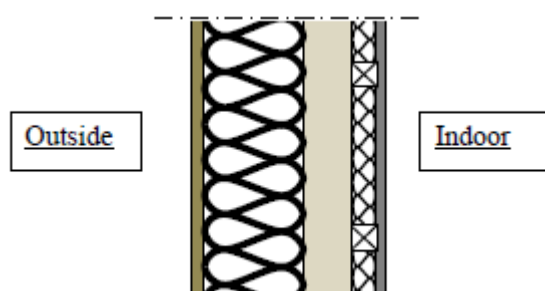
Rakennuksen käytön aikana on pyrittävä pitämään CLT-rakenteen kosteuspitoisuus mahdollisimman tasaisena, jotta kuivumishalkeilu olisi vähäisempää (Kosteudenhallinta puurakentamisessa 2020, 15). Erityisen tärkeää on kiinnittää huomiota rakennuksen lämmitykseen ja ilmavaihtoon käyttöönoton ensimmäisenä vuotena. CLT-rakenne ei saa päästä kuivumaan liian nopeasti tai liikaa. Joensuussa tehdyssä opinnäytetyössä (Pasanen 2019) todettiin päiväkodin käyttöönoton jälkeisen tehostetun ilmanvaihdon kuivattaneen liikaa CLT-seinärakenteita, mikä näkyi seinärakenteissa kasvaneena halkeiluna. Syksyn ja talven seuranta-aikana tehdyissä mittauksissa havaittiin CLT-seinärakenteiden pintakosteuspitoisuuden alittaneen talvella jopa 6 p-%. Sisäilman RH oli tällöin 5–20 %, mikä oli liian alhainen suositeltuun sisäilman suhteelliseen kosteuteen nähden. Syksyllä rakenteen kosteuspitoisuus oli 8–9 p-% sisäilman RH:n pysyessä suositelluissa rajoissa 20–57 %. (Pasanen 2019, 1.)

Käyttönotetulle puurakennukselle suositellaan puurakenneosien kosteusmittausta kerran vuodessa. Rakennuksen käyttöönoton jälkeisenä vuotena olisi

hyvä mitata CLT-rakennetta huomattavasti useammin, jotta lämmitystä ja ilmanvaihdon nopeutta voidaan säätää niin, että CLT-rakenteen kosteus ei muutu liian nopeasti.

### 3.7 Pitkäaikaiskestävyys

CLT:n teollinen tuotanto on suhteellisen nuori verrattuna rakennuksille asetettuihin käyttöikiin nähden. Käytännössä ei ole vielä voitu havaita rakennusten kestävyttä pitkällä aikavälillä. Ruotsin Växjössä tehdyssä kenttätutkimuksessa seurattiin 5,5 vuoden ajan kerrostalon CLT-elementteihin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muutoksia. Tänä aikana seinäelementissä ei huomattu lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhteisvaikutuksia, joilla olisi homeen tai lahon riskiä. Huomioitavaa on, että seinärakenteet poikkesivat Suomen suositellusta seinärakenteesta sillä, että CLT-runko oli eristetty myös sisäpuolelta kuvion 9 mukaisesti. Testiseinien julkisivumateriaali oli joko puu tai rappaus, jonka taakse ei jätetty tuuletusväliä. Tällaisessa julkisivurakenteessa hirsiseinän kanssa on aiemmin havaittu homehtumista ja lahoamista. Tässä tutkimuksessa samanlaisen riskin syntymistä ei havaittu. (Serrano, Enquist & Vessby 2014.)



KUVIO 9. Seinärakenne ulkoa sisäänpäin: pintaverhous ja vuorilaudoitus, mineraalivilla 180 mm, CLT 85 mm, vaakakoolaus 45 x 45 mm ja lämmöneriste, kipsilevy 15 mm. (Serrano, Enquist & Vessby 2014.)

Tutkimuksissa on todettu, että CLT-levyn rakenne vaikuttaa enemmän CLT:n kosteuskestävyyteen kuin CLT:ssä käytetty puulaji (McClung 2014, 110). Ulkoseinän rakenneratkaisulla on myös suurta vaikutusta seinärakenteen käyt-

töikään. Ilmasto-olosuhteiden muutoksen myötä ulkoseinärakenteen pinnan sadevesirasitus tulee todennäköisesti kasvamaan (RIL 255-1 2014, 66), mikä lyhentää rasitetun materiaalin käyttöikä. Näin ollen CLT-levyn käyttöikä pitenee, jos se ei ole alttiina sadevesirasitukselle ja CLT-runkoinen seinä verhoillaan julkisivumateriaalilla, joka pääsee tuulettumaan. Sadevesimäärän kasvu vähentää myös rakenteiden kuivumiskykyä (RIL 255-1 2014, 66). Tämän vuoksi CLT:n ympäröivien rakennusmateriaalien on oltava tarpeeksi höyrynläpäiseviä, jotta CLT pääsee kuivumaan ja elämään kosteusolosuhteiden mukaan. Suomessa rakenteet suunnitellaan niin, että kosteudensiirtymisen suunta on pääsääntöisesti sisältä ulospäin. Ilmastonmuutoksen myötä rakenteiden kosteudensiirtymisen suunnan muutokseen tulee varautua, kun rakennusten lämmitystarve vähenee ja jäähdystarve lisääntyy (RIL 255-1 2014, 66). Rakennuksen käytöstä ei kuitenkaan muodostu niin merkittävästi kosteutta, että kääntyneen kosteudensiirtymisen myötä ulkoseinärakenteen sisäpintaan muodostuisi haitallista kosteuden tiivistymää. Riskiä pienentää CLT-levyn hygroskooppisuus, jolloin rakenne pystyy luovuttamaan kosteutta takaisin sisäilmaan, kun sisäilman suhteellinen kosteus vähenee. (Vinha 2020).

## 4 PÄIVÄKODIN RAKENNESUUNNITTELUN KOSTEUSTEKNINEN TARKASTELU

Lähtökohtana tälle opinnäytetyölle oli tässä kohde-esimerkkinä käytettävä Tampereen Multisillan päiväkodin rakennesuunnittelu. Multisillan päiväkodin rakenteiden suunnittelussa käytettiin Kuivaketju 10-järjestelmää sekä Tampereen Tilapalvelut Oy:n laatiman Kosteudenhallintaselvitystä.

### 4.1 Multisillan päiväkodin esittely

Multisillan päiväkoti on Tampereen kaupungin tilaama hybridirakenteinen rakennus, jonka ensimmäinen kerros on suunniteltu betonirakenteiseksi ja toinen kerros CLT-rakenteiseksi. Kerrosten välipohjan kantaviksi rakenteiksi on suunniteltu ontelolaattaholvit. Yläpohjarakenne toteutetaan puisena ristikkorakenteena. Rakennuksen perustusten ja rungon käyttöiäksi on määritetty 100 vuotta. Rakennuksen ulkovaippa toteutetaan niin, että ilmanvuotoluku  $1,0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  täyttyy. Rakennuksen kosteudenhallinnassa käytetään Kuivaketju 10-järjestelmää sekä Tampereen Tilapalvelut OY:n Kosteudenhallintaselvitystä. (Viljakka 2019, 15–16)

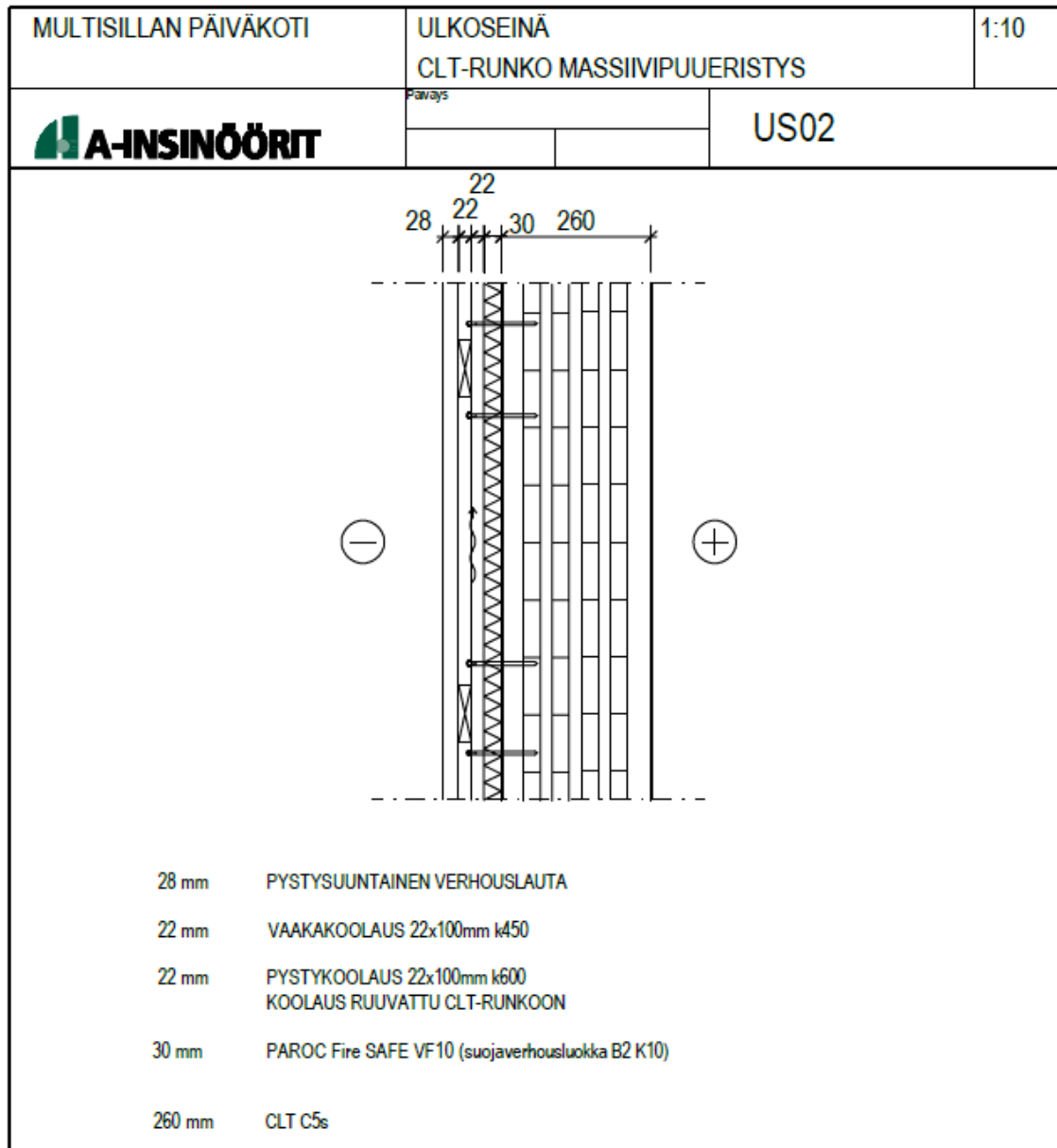
Multisillan päiväkodin toisen kerroksen kantavina pystyrakenteina toimivat CLT-elementtiset ulko- ja väliseinät. Rakennuksen suunnitteluperiaatteena on muuntojoustavuus, minkä vuoksi osa kantavista rakenteista toteutetaan liimapuupilari ja -palkkilinjoilla. Kosteusteknisesti riskialttiit tilat kuten keittiö, iv-konehuone ja märkätilat toteutetaan kivirakenteisina. Koska rakennuksen paloluokka on P2, kantavien rakenteiden luokkavaatimus on R30. (Viljakka 2019, 15–16)

Multisillan päiväkodin käyttöönotto on aikataulutettu tammikuulle 2022. Rakennustyöt alkavat syksyllä 2020 ja rakentamisen valmistelu on tehty kevään 2020 aikana. Rakennussuunnittelusta hankkeessa vastaa Arkkitehtitoimisto Tilatakomo Oy ja rakennesuunnittelusta A-insinöörit Oy. (Viljakka 2019, 25.) Tämän opinnäytetyön teon aikana hankkeelle ei ole vielä valittuna rakennusurakoitsijaa ja elementtitoimittajia.



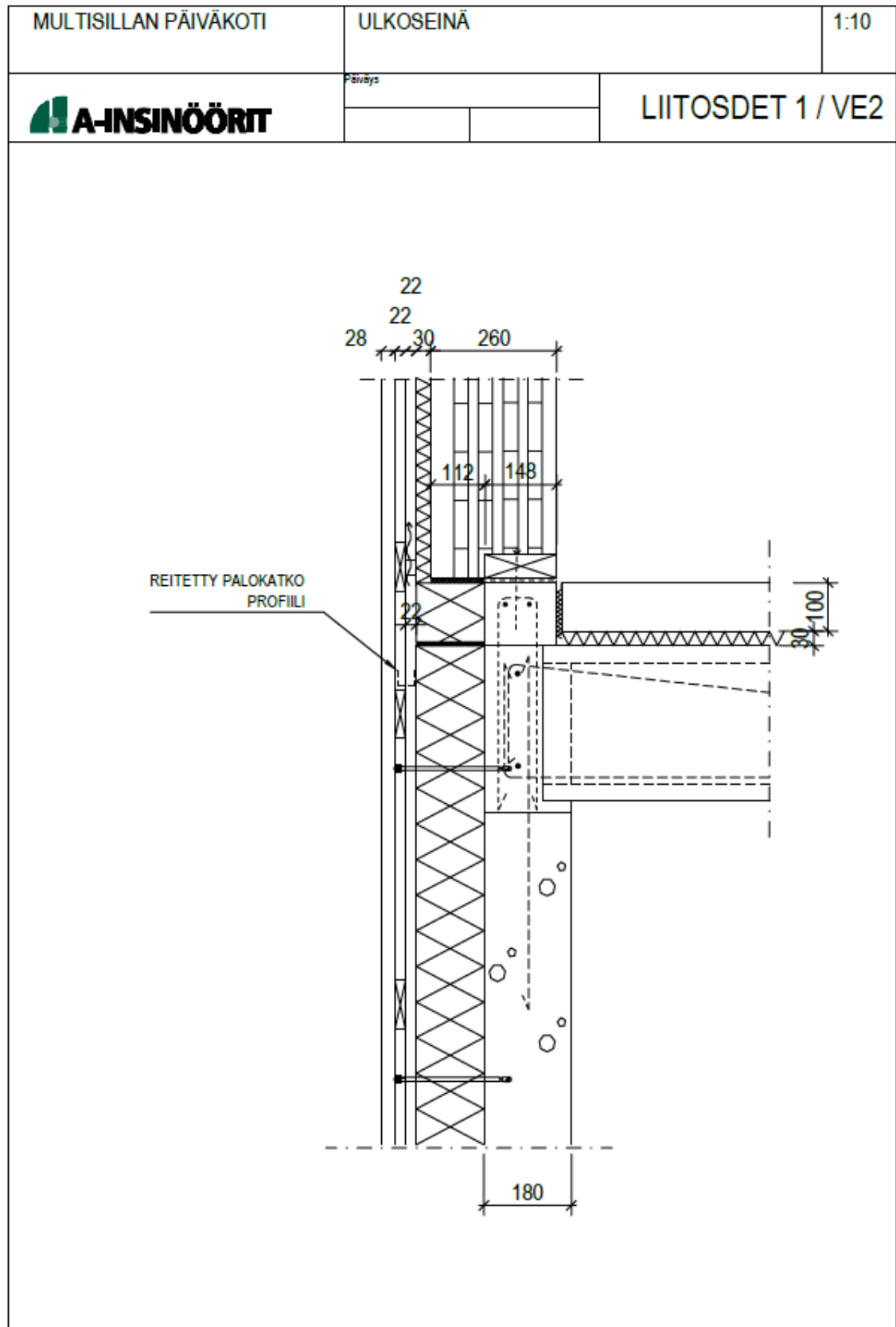
## 4.2 Kohteen CLT-rakennerratkaisut kosteusteknisestä näkökulmasta

Multisillan päiväkodin toisen kerroksen ulkoseinärakenne on esitetty kuviossa 10. Seinärakenne on muodostettu kappaleen 3.4.2. kosteusteknisten ohjeiden mukaan eli rakenteen tiiveys ja vesihöyrynvastus pienenee sisältä ulospäin. Ulkoseinän julkisivuverhouksena on pystypuupaneeli, mikä kiinnitetään seinärakenteen vaakakoolaukseen. Julkisivuverhous on pitkälti palomääräysten seurausta, mutta julkisivuverhous suojaa myös kantavaa massiivirunkoa suoralta sadevesirasitukselta pidentäen rungon käyttöikä. Julkisivuverhouksen taakse on suunniteltu pystykoolauksilla toteutettava tuuletusväli, joka varmistaa julkisivuverhouksen kuivumisen eikä kosteus pääse siirtymään sisäpuolisiin rakenteisiin. Tuuletusvälin ja CLT-rungon välissä on 30 mm paksu kivivillalevy, mikä täyttää palomääräysten mukaisen suojaverhousluokan. Ulkoseinän kantava runko on 260 mm paksu CLT-levy. Kerroksien määrää ei tätä opinnäytetyötä laadittaessa ollut vielä määritelty CLT-levylle. Eri valmistajien kesken kerrosvaihtoehtoja 260 mm paksulle levylle on 5, 7 ja 9.



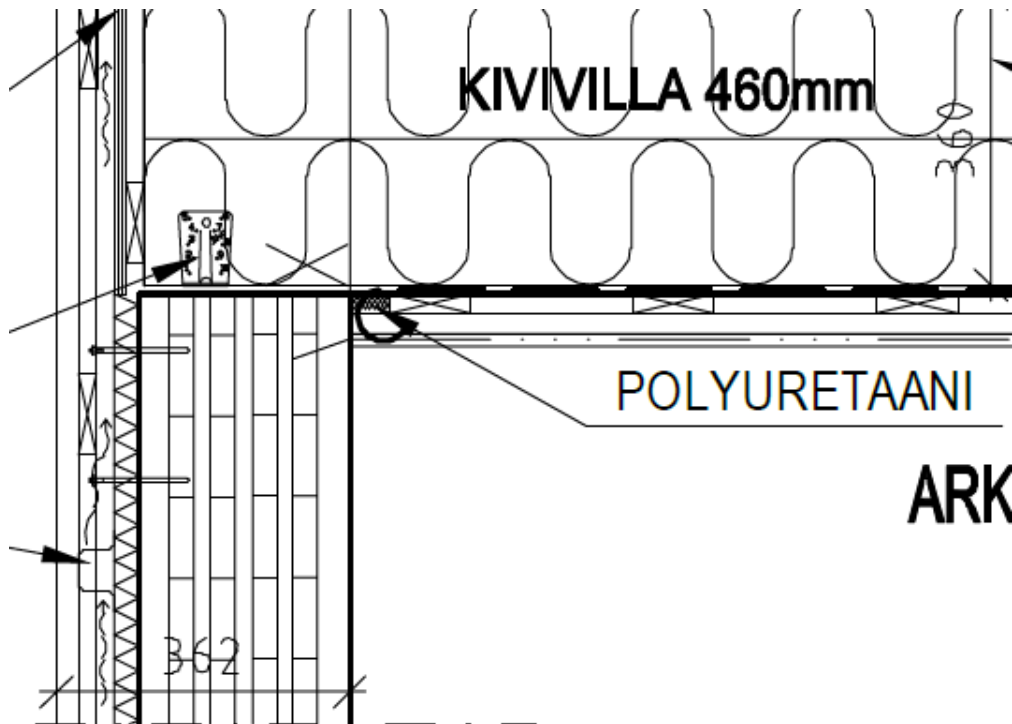
KUVIO 10. Multisillan päiväkodin toisen kerroksen CLT-ulkoseinärakenne (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2020).

CLT-seinärakenne liittyy alareunasta ontelolaattarunkoiseen välipohjaan kuvion 11 mukaisesti. Liitoksen suunnittelussa on otettu huomioon betonivalun aiheuttama kosteusriski CLT-seinärakenteelle. Seinärakenteen alle on suunniteltu nosto, jotta seinärakenne tulee lattiavalun yläpuolelle. Runkopystytyksen ajoittuminen syksyille lisää kosteusriskiä. Lattiavalusta haihtuva kosteus saattaa nostaa ilman suhteellisen kosteuden liian korkeaksi. Yhdessä syksyn ilmanolosuhteiden kanssa on mahdollista, että CLT-seinän pinnalle muodostuu hometta hyvinkin pienessä ajassa. Tämä ongelma ratkaistiin sillä, että lattiavalut tehdään ennen CLT-seinän asennuksia.



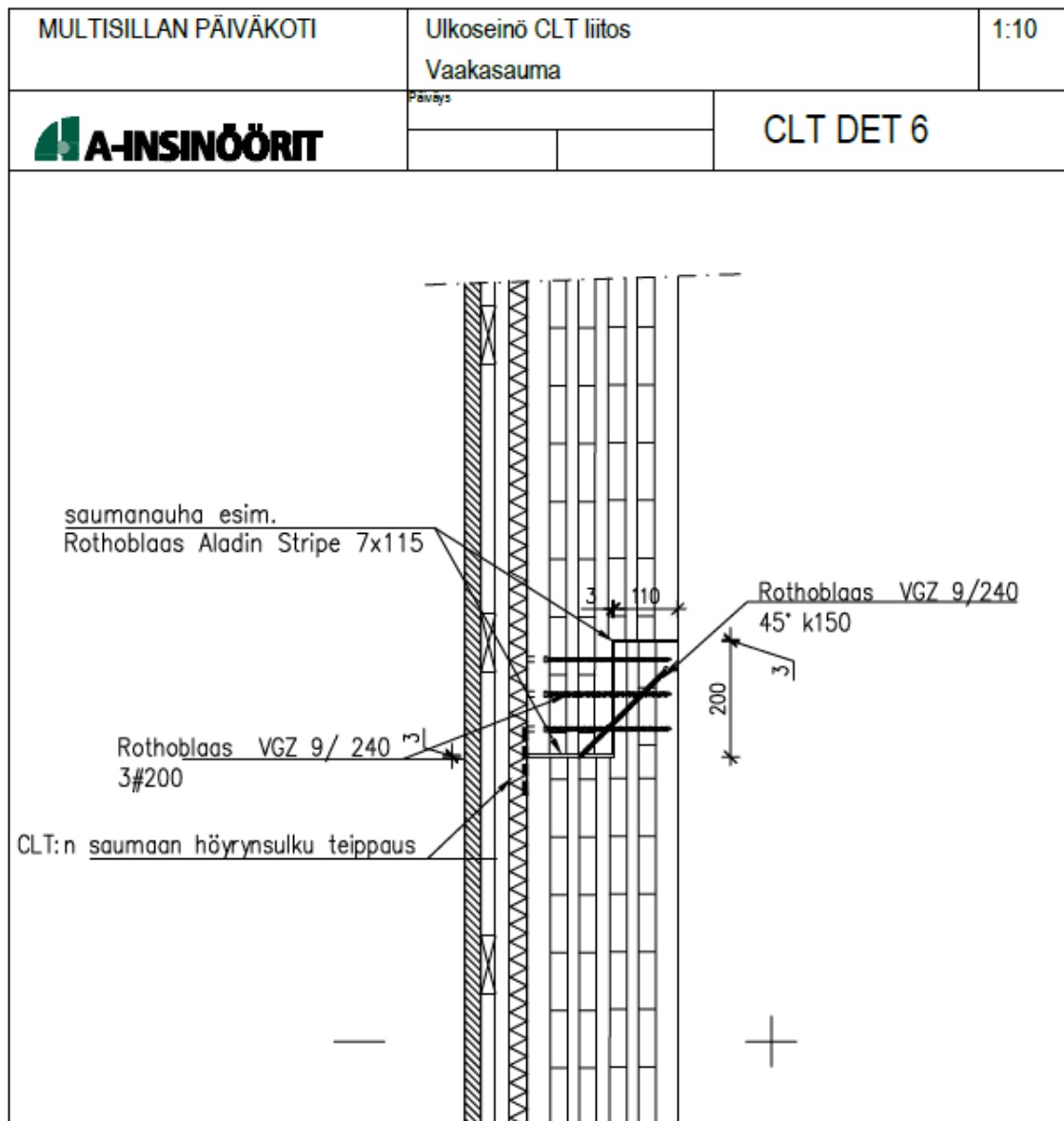
KUVIO 11. CLT-seinän liittyminen ontelolaattavälipohjaan (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2020).

CLT-ulkoseinärakenteen yläpää liittyy ristikkorakenteiseen yläpohjaan (kuvio 12). Liitoskohdassa sisäilman kosteuden siirtyminen yläpohjaan on estetty CLT-seinärakenteeseen taitettavalla höyrynsulkumuovilla. Liitoskohdan tiiveys on vielä varmistettu höyrynsulun päälle laitettavalla polyuretaanilla.



KUVIO 12. CLT-seinärakenteen liitos yläpohjaan (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2020).

CLT-ulkoseinäelementtien liitoksissa (kuvio 13) käytetään uraliitosta, jotta elementtien väliin ei jää läpisiuraa saumaa. Elementtien väli tiivistetään saumanauhalla. Vesihöyryn diffuusion varalle CLT-elementtien saumakohta teipataan höyrynsulkuteipillä.



KUVIO 13. CLT-ulkoseinäelementtien nurkkaliitos (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2020).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkimuslähteinä käytetyissä tutkimuksissa testattiin CLT-levyn kosteuskäyttäytymistä laboratoriomittauksin sekä laskennallisesti. Tutkimustulokset sisälsivät tuloksia kenttätutkimuksista, joissa mitattiin CLT-runkoisen seinä- tai yläpohjarakenteen kosteusteknisestä toimintaa sääolosuhteiden muuttuessa. Seuranta-ajat vaihtelivat pääsääntöisesti 6–9 kuukauden välillä. Pisin seuranta-jakso oli 6,5-vuotta kestänyt kenttätutkimus Ruotsin Växjössä.

Haasteeksi tutkimuslähteiden löytämisessä ja valikoimisessa muodostui se, että CLT:n kosteuskäyttäytymisestä ei löytynyt tutkimusta Suomen sääolosuhteissa. Poikkeuksena oli opinnäytetyö (Pasanen 2019), jossa seurattiin päiväkodin CLT-ulkoseinän kuivumiskäyttäytymistä käyttöönoton jälkeisen syksyn ja talven aikana. Opinnäytetyö keskittyi seinän sisäkerroksen kuivumishalkeilun mittaamiseen ja halkeilun syiden, liian kuivan sisäilman, toteamiseen.

Ulkomaalaisista kenttätutkimuksista lähteeksi valikoitui niitä, joiden ilmasto-olosuhteet muistuttivat Suomen ilmasto-olosuhteita. Nämä eivät kuitenkaan ole täysin verrannollisia Suomen sääoloihin. Lähinnä Suomen olosuhteita tehty kenttätutkimus oli Vancouver. Toisaalta Rakennusfysiikan tohtori Vinha muistutti haastattelussaan, että Etelä-Ruotsin ilmasto on tuleva ilmasto Etelä-Suomessa. Sen vuoksi Etelä-Ruotsin tutkimuksia on hyvä tarkastella ja seurata. Monia mittauksin tai laskemalla tehtyjen tutkimustulosten suoraviivaistamista Suomen olosuhteisiin vaikeutti se, että tutkimuksissa käytettiin erilaisia CLT-kokoonpanoja. Suomessa käytettävä CLT-levyrakenne oli vain yksi tutkittavista kappaleista, jolloin tutkimusten otosten edustavuus jäi pieneksi. Useissa tutkimuksissa mukana oli puupohjaisia levyjä sisältäviä CLT-rakenteita tai käytetty puumateriaali ei ollut sama kuin Suomessa käytetty kuusi (*Picea abies*).

Tutkimuksissa todettiin, että kosteuden siirtymisen CLT-rakenteessa ei ole lineaarista. Liimasauma muodosti mittauksissa korkean vesihöyrynvastuksen, minkä vuoksi CLT-rakenteet voidaan toteuttaa ilman höyrinsulkua. CLT:n vesihöyrynvastuksen todettiin puun lailla muuttuvan puukerroksen kosteuspitoisuuden mu-

kaan. CLT-ulkoseinärakenne avohuokoisen eristekerroksen kanssa toimi kosteusteknisesti eikä kohonneesta kosteusriskistä ollut näyttöä. CLT-levyn peittäminen kosteutta läpäisemättömällä materiaalilla muodosti riskirakenteen silloin, kun CLT ei ollut tarpeeksi kuiva. CLT-levy kosteuselää niin vaaka kuin pystysuunnassa, mikä tulee ottaa liitoksien suunnittelussa huomioon. CLT-kerrostalo nousee ja painuu kasaan pystysuunnassa vuodenaikojen mukaan. Kokonaispainuma on kuitenkin nousua suurempi.

Kosteusteknisen tarkastelun tuloksena sekä rakennusfysiikan professori Vinhan haastattelun vahvistama voidaan todeta, että CLT-rakenteissa huolena ei ole vesihöyryn läpäisevyys. Isoin huolenaihe on, että CLT-rakenne pääsee kastumaan rakennusvaiheessa tai käyttöönoton jälkeen. Riskinä on, että kastunut CLT ei pääse kuivumaan tarpeeksi nopeasti Suomen sääolosuhteissa tai rakenne peitetään liian aikaisin. Tällöin kosteus ei pääse pois rakenteista tai kuivuminen hidastuu entisestään. Kostunut CLT alkaa vaurioitua, jolloin muun muassa levyn rakenne muuttuu muotoaan ja rakenteen kestävyys alenee. Lisäksi kosteuden aiheuttama home ja sienet voivat aiheuttaa terveydellisiä haittoja.

CLT-rakenteen kosteuden hallinnan merkitystä ja tietoisuutta riskeistä tulisi painottaa enemmän kaikille osapuolille tilaajasta käyttäjään asti. Rakennusaikaisesta sääsuojauksen tasosta ei tulisi karsia kustannuksiin vedoten, tällöin saattaa vaarantua sekä CLT:n että puurakentamisen maine.

Lähteinä käytetyissä CLT-tutkimuksissa suurin osa tutkimuskappaleista oli kolmi-kerroksia. Tutkittujen levyjen paksuudet vaihtelivat 30–139 mm välillä. CLT-levyä on kuitenkin saatavana 400 mm:n paksuuteen asti ja levykerroksia voi olla jopa 9. Jatkotutkimuksissa voisi tutkia paksumpien levyjen kosteuskäyttäytymisestä, varsinkin Suomessa käytettävän kuusilamelli-rakenteen osalta. Rakennusfysiikan professori Vinhan (2020) mainitsema tiilijulkisivuverhouksen CLT-rungon kanssa voisi olla yksi tutkimusaihe. Varsinkin, jos tiilijulkisivuverhouksen käyttöä edellytetään asemakaavamääräyksissä. Keväällä 2020 Ympäristöministeriö ilmoitti tavoittelevansa puun käytölle 45 % markkinaosuutta kerrostalorakentamisessa vuoteen 2025 mennessä (Mattila 2020, 2). Tämän vuoksi kenttätutkimus tai seuranta CLT-rakenteiden toimivuudesta Suomen sääolosuhteissa olisi tarpeellinen.

## LÄHTEET

CLT Plant Oy. 2018a. Kiilto yhteistyöhön CLT Plantin kanssa. Luettu 4.5.2020.  
<https://www.cltplant.com>

CLT Plant Oy. 2018b. Laskentapohja. Tuotesertifikaatin liiteosa. Wood Building Technology RISE Research Institutes of Sweden. Luettu 4.5.2020.  
[https://www.cltplant.com/files/11/Laskentataulukko\\_CLT-Plant-Oy.pdf](https://www.cltplant.com/files/11/Laskentataulukko_CLT-Plant-Oy.pdf)

CLT Plant Oy. n.d. CLT Plant Oy – Puuosaamista Pohjanmaalta. Luettu 4.5.2020. <https://www.cltplant.com>

CLT-suunnittelun ohje. 2019. OY CrossLam Kuhmo Ltd. Luettu 11.2.2020.  
<https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/clt-suunnittelun-ohje.pdf>

Gereke, T. 2009. Moisture-induced stresses in cross-laminated wood panels. Institute for Building Materials. ETH Zurich. Doctoral Thesis.

Gereke, T., Gustafsson, J., Persson, K. & Niemz, P. 2011. The Hygroscopic Warping of Cross-Laminated Timber. Teoksessa Bucur, V. (toim.) Delamination In Wood, Wood Products and Wood-Based Composites. Springer, 269–285.

Gülzow, A., Richter, K. & Steiger, R. 2011. Influence of wood moisture content on bending and shear stiffness of cross laminated timber panels. European Journal of Wood and Wood Products 69 (2), 193–197.

Hoisko. 2016. Hoisko. Kotisivut. CLT Finland Oy. Luettu 5.5.2020.  
<https://www.hoisko.fi/fi/hoisko-fi/>

Hoisko. 2018. Hoisko CLT -levyn perustiedot. CLT Finland Oy. Luettu 5.5.2020.  
[https://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2018/07/Hoisko-CLT-levyn-perustiedot-6\\_18.jpg](https://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2018/07/Hoisko-CLT-levyn-perustiedot-6_18.jpg)

Kiilto. 2020. Kestopur G 10. Tuotetiedot. Luettu 4.5.2020.  
<https://www.kiilto.com/fi/tuotteet/kestopur-g-10/>

Kordziel, S., Glass, S.V., Boardman, C.R., Munson, R.A., Zelinka, S.L., Pei, S., Tabares-Velasco, P.C. 2020. Hygrothermal characterization and modeling of cross-laminated timber in the building envelope. Elsevier Ltd. Luettu 28.5.2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106866>

Kosteudenhallinta puurakentamisessa. 2020. Tekninen tiedote. Puuinfo.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 21.12.2012/958.

Mattila, J. 2020. Ministeriön ajama vähähiilisyys on tehotonta ja huippukallista. Rakennuslehti 54 (20), 2.

McClung, R., Ge, H., Straube, J., Wang, J. 2014. Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: field measurements and simulations. Teoksessa Chen, Q. (toim.) Building and Environment (71). Elsevier Ltd. 95–110.



Mills, C. 2019. Puurakentamisen liimat. Puu 39 (1), 72–75.

Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2015. CrossLam Kuhmo CLT. Tuoteominaisuudet. Luettu 5.5.2020. <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/tuoteominaisuudet.pdf>

Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2019. Oy CrossLam Kuhmo CLT. Kotisivut. Luettu 5.5.2020. <https://www.crosslam.fi/oy-crosslam-kuhmo-ltd.html>

Oy CrossLam Kuhmo Ltd: Tuotesertifikaatti. 2019. Eurofins Expert Servives Oy. <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/tuotehyvaksynta.pdf>

Pasanen, J. 2019. CLT-rakenteiden kosteuskäyttäytyminen rakennuksen käytön aikana. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Karelia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Pitkäranta, M. (toim.) 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Purbond AG. n.d. PURBOND®-Klebstoffsystem für breites Anwendungsspektrum. Luettu 19.5.2020. [https://www.forumholzbau.com/pdf/nl17\\_purbond.pdf](https://www.forumholzbau.com/pdf/nl17_purbond.pdf)

Puuinfo. 2020. Valmistuneet puukerrostalot 2020. Luettu 22.5.2020. <https://www.puuinfo.fi/valmistuneet-puukerrostalot>

Puuinfo. n.d. Internet-sivusto. Puuinfo Oy. Luettu 22.5.2020. <https://www.puuinfo.fi/>

Puun kosteuskäyttäytyminen. 2018. Tekninen tiedote. Puuinfo.

RIL 255-1. 2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 250-1. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Serrano, E., Enquist, B., Vessby, J. 2014. Long term in-situ measurements of displacement, temperature and relative humidity in a multi storey residential CLT building. World Conference on Timber Engineering, Proceedings, 2014. [http://schd.ws/hosted\\_files/wcte2014/5b/ABS342\\_Serrano\\_web.pdf](http://schd.ws/hosted_files/wcte2014/5b/ABS342_Serrano_web.pdf)

SFS 5978. 2014. Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksien kantavia rakeneosia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 16352. 2015. Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Stora Enso. 2012. CLT-rakentamisen yleisperiaatteet. Luettu 3.6.2020. <https://docplayer.fi/302564-ClT-rakentamisen-yleisperiaatteet.html>

Stora Enso. 2014. Stora Enso CLT. Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali. Stora Enso Building and Living.

Stora Enso. n.d. CLT Technical brochure. Luettu 10.5.2020.  
<https://www.storaenso.com>

Stora Enso continues to grow in Building Solutions by investing EUR 23 million in constructing a CLT unit at Ybbs Sawmill in Austria. 2011. Stora Enso Oyj lehdistötiedote. Julkaistu 27.1.2011 klo 15.00. Luettu 19.5.2020.

Stora Enso: Lehdistötiedotteet.n.d. Luettu 17.5.2020. <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/press-releases>

Stora Enson uusi ristiinliimattua puuta valmistava tuotantoyksikkö otettiin käyttöön Gruvönin sahalla Ruotsissa. 2019. Stora Enso Oyj lehdistötiedote. Julkaistu 28.5.2019 klo 15.00. Luettu 14.5.2020. <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/press-releases/2019/5/stora-enson-uusi-ristiinliimattua-puuta-valmistava-tuotantoyksikko-otettiin-kayttoon-gruvonin-sahalla-ruotsissa>

Stora Enso Wood Products continues to invest in the future. Three development projects ongoing in Finland, Austria and Sweden. 2010. Stora Enso Oyj lehdistötiedote. Julkaistu 26.3.2010 klo 03.00. Luettu 19.5.2020. <https://www.globenewswire.com/news-release/2010/03/26/160524/0/en/Stora-Enso-Wood-Products-continues-to-invest-in-the-future-Three-development-projects-ongoing-in-Finland-Austria-and-Sweden.html>

Structural-Safety. 2019. Rotting of cross-laminated timber (CLT) roof panels. Report 182. Luettu 12.4.2020.  
<https://www.structural-safety.org/publications/view-report/?report=12390>

The CLT Handbook. 2019. 1. Painos. CLT structures – facts and planning. Stockholm: Skogindustrierna Svenskt Trä.

Viljakka, J. 2019. Multisillan päiväkotii uudisrakennus. Hankesuunnitelma. Tampereen kaupunki kiinteistöt, tilat ja asuntopolitiikka.

Vinha, J. 2011. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Teoksessa Koskenvesa, A., Heloma, T. & Laine, S. (toim.) Rakentajan kalenteri 2012. Helsinki: Rakennustieto. 362–381. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090302.pdf>

Vinha, J. Rakennusfysiikan professori. 2020. Haastattelu 5.6.2020. Haastattelija Kaunisto, H. Tampere.

Wiege, E. & Öberg, J. 2018. Moisture risks with CLT-panels subjected to outdoor climate during construction -focus on mould and wetting processes. Department of Building Technology. Royal Institute of Technology (KTH). Bachelor degree of Building Technology.