

## CLT-LEVY MIKRORAKENNUKSEN ULKOSEINÄSSÄ

Valmistusmateriaalien, valmistustavan ja suojakäsittelyn vaikutukset  
CLT-levyn ominaisuuksiin

CoolBox-hanke

Heikkilä Viljami

Opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Viljami Heikkilä	<b>Vuosi</b>	2021
<b>Ohjaaja(t)</b>	Mikko Vatanen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin Ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	CLT-levy mikrorakennuksen ulkoseinässä		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	57 + 1		

---

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tuottaa toimeksiantajanani toimivalle Lapin Ammattikorkeakoulun CoolBox-hankkeelle tietoa siitä, miten eri puulajien tai -tuotteiden ominaisuudet, käytettävä liima ja valmistustapa vaikuttavat CLT-levyn ominaisuuksiin. Lisäksi selvitettiin, miten nämä ominaisuudet vaikuttavat CLT-levyn kestävyyteen ja ulkonäköön, kun CLT-levy on siirreltävän mikrorakennuksen ulkoseinämaterialina Suomen ilmastossa. Tässä työssä tarkasteltiin CLT:ssä käytettäviä liimoja, puulajeja ja valmistustapaa myös päästöluokitusten, määräysten ja käyttöien näkökulmasta. Päätaavoite tässä työssä oli tutkia mahdollisuuksia käyttää CLT-levyä käyttöluokassa 3, sekä tätä varten vaadittavia toimenpiteitä sekä huomioitavia asioita seinärakenteen osalta.

Tämän opinnäytetyön tietoperustan pohjana oli puu- ja rakennusalan kirjallisuus ja aiheeseen liittyvät tutkimukset ja raportit. Tietoperusta keskittyi CLT-levyn ominaisuuksiin ja valmistusmenetelmiin sekä käyttöluokan 3 ominaispiirteisiin. Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin myös teemahaastattelua, jolla kerättiin asiantuntijoiden mielipiteitä ja kommentteja CLT-levyn käytöstä käyttöluokassa 3 ja mahdollisista eri variaatioista CLT-levyn valmistukseen. Teemahaastattelussa haastateltiin viittä CLT-asiantuntijaa videopuhelun välityksellä.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että CLT-levyä on mahdollista käyttää käyttöluokassa 3, mutta rakenteen visuaalisuus ja sen vaihtelu ajan saatossa jää tilaajan vastuulle. Rakenteen visuaalisuuden kannalta puun suojakäsittely on tärkeää. Lisäksi on olemassa muitakin keinoja, millä voi vaikuttaa rakenteen visuaalisuuteen sekä esimerkiksi halkeiluun. Näitä ovat esimerkiksi levyn uritus tai erilaisten puutuotteiden käyttö levyn pinnassa.

Avainsanat

CLT-levy, käyttöluokka 3, mikrorakennus, puun kosteuskäyttäytyminen

Degree Programme in Civil  
Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Viljami Heikkilä	Year	2021
<b>Supervisor</b>	Mikko Vatanen		
<b>Commissioned by</b>	Lapland University of Applied Sciences		
<b>Subject of thesis</b>	CLT Board on the External Wall of a Micro Building		
<b>Number of pages</b>	57 + 1		

---

The purpose of this thesis was to produce knowledge for Lapland University of Applied Sciences' research project CoolBox about what kind of influence do different manufacturing materials and their features, glue type and method of manufacture have on CLT board's features. In addition, this thesis examined how these features affect the strength and visuality of the CLT board when it is used as external wall structure of movable micro buildings in Finnish climate. This thesis studied these particular manufacturing materials, glue and method of manufacture also from the perspective of emission standards, building codes and service life. The main point of this thesis was to investigate the possibilities to use CLT board in service class 3 and required procedures and other issues to consider regarding this type of wall structure.

The knowledge base of this thesis was based on wood and construction literature and related studies and reports. Knowledge base of this thesis focused on features and manufacturing methods of CLT board characteristics of service class 3. A thematic interview was also utilized in this thesis. A thematic interview gathered experts' comments and opinions of using CLT board in service class 3 and different variations of CLT board manufacture. In the interview, five CLT experts were interviewed via video call.

The conclusion of this thesis was that it is possible to use CLT board in service class 3 but the responsibility of visuality and its change over time remains with the owner of the building project. CLT board's protective treatment is important for visuality. Yet there are other ways to improve CLT board's visuality and for example hide or prevent cracking. These are for example the grooving of the CLT board's surface or the use of various wood products on the surface of the CLT board.

Key words                      CLT board, service class 3, micro building, a moisture behavior of wood

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
1.1	CoolBox-hanke .....	7
1.2	Työn tavoitteet .....	8
1.3	Opinnäytetyön vaiheet .....	9
2	MIKRORAKENNUS SUOMEN ILMASTOSSA.....	10
2.1	Mikrorakennus ja rakentamismääräykset.....	10
2.2	Suomen ilmaston erityispiirteet .....	11
3	CLT-LEVY ULKOSEINÄRAKENTEENA.....	14
3.1	CLT-levyn valmistus.....	14
3.2	CLT-levyn ominaisuudet .....	15
3.2.1	CLT-levyn lujuusominaisuudet .....	15
3.2.2	CLT-levyn pitkäaikaiskestävyys ja ympäristöystävällisyys .....	16
3.3	CLT:ssä käytettävät liimat.....	17
3.4	CLT:ssä käytettävät puulajit.....	18
3.4.1	Kuusi ja mänty.....	18
3.4.2	Muita puulajeja .....	19
3.5	Erilaiset variaatiot CLT-levyn valmistukseen.....	20
3.5.1	Lämpökäsitelty puu .....	21
3.5.2	Painekyllästetty puu .....	22
3.5.3	Viilupuu ja Kertopuu .....	22
4	CLT-LEVYN KÄYTTÖ ULKOSEINÄSSÄ .....	24
4.1	Käyttöluokat .....	24
4.2	Massiivipuinen seinärakenne.....	24
4.3	Kosteuden siirtyminen seinärakenteeseen .....	25
4.3.1	Diffuusio .....	26
4.3.2	Konvektio .....	27
4.3.3	Kondensoituminen.....	28
4.4	CLT-levyn kosteuskäyttäytyminen .....	28
4.5	Puun pintakäsittely.....	31
4.6	Mikrorakennuksen ulkoseinään kohdistuva säärasitus .....	32
5	HAASTATTELUIDEN TOTEUTUS JA TULOKSET .....	33

Degree Programme in Civil  
Engineering  
Bachelor of Engineering

---

5.1	Ilmaston vaikutukset .....	33
5.2	Detaljiikka ja CLT-levyn valmistuksessa huomioitavat asiat .....	34
5.3	Eri puulajien ja -tuotteiden käyttö CLT-levyssä .....	35
5.4	CLT mikrorakennuksessa käyttöluokassa 3.....	37
5.4.1	CLT-levyn kilpailukyky.....	37
5.4.2	CLT-levyn paksuus.....	38
5.4.3	Suojakäsittely .....	39
5.4.4	CLT-levyn käyttöikä.....	40
5.5	CLT-rakenteen kosteustekninen toiminta.....	41
5.5.1	Halkeamat .....	42
5.6	CLT-levy käyttöluokassa 3.....	43
5.7	CLT-levyn liimaustapa ja liima .....	44
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	46
6.1	CLT-levyn valmistusmateriaalit.....	46
6.2	CLT-levy mikrorakennuksen ulkoseinämaterialina käyttöluokassa 3 ..	48
7	POHDINTA .....	51
7.1	Haastatteluiden tulokset.....	51
7.2	Työn eettisyys ja luotettavuus.....	52
	LÄHTEET .....	53
	LIITTEET .....	57

## 1 JOHDANTO

CLT tulee englannin kielen sanoista Cross Laminated Timber, eli suoraan suomenmennettuna ristiin laminoitu puutavara. CLT-levy koostuu useasta päällekkäin laminoidusta lautalevykerroksesta. Lautalevyt on ladottu ristiin, usein 90 asteen kulmaan toisiinsa nähden, kuten kuva 1 havainnollistaa. (Karacabeyli & Gagnon 2019 Chapter 1, 5.) Rautiainen kuvailee opinnäytetyössään, kuinka CLT on kehitetty Sveitsissä 1990-luvulla ja on ollut Euroopassa jo jonkin aikaa suosittu rakennusmateriaali. Suomessa CLT:n käyttö on vielä melko vähäistä, mutta on lisääntynyt paljon viime aikoina. (Rautiainen 2018, 2.) Koska CLT on Suomessa melko uusi ja tuntematon rakennusmateriaali, tarvitsee se lisää tutkimusta sekä aiheen esille nostamista.



Kuva 1. CLT-levyn rakenne (The CLT Handbook 2019, 71)

CLT:n eduiksi on listattu Calcus-sivustolla muun muassa ympäristöystävällisyys, pitkä käyttöikä ja hyvät lujuusominaisuudet (Calculus). CLT-levy on hyvin monikäyttöinen rakennusmateriaali. Stora Enson sivuilta käy ilmi, että CLT-levystä voidaan toteuttaa muun muassa kerrostaloja, pientaloja, kouluja ja kauppakeskuksia (Stora Enso CLT, 6). CLT-levyssä riittää paljon potentiaalia ja tutkittavaa. Toimeksiantajani johtamassa CoolBox-hankkeessa on päätetty tutkia muun muassa yksiaineista CLT-seinärakennetta vaihtoehtona hankkeessa kehitettävään mikro-

rakennuksen prototyyppiin. Minua itseä kiinnostaa CLT sekä myös pienet rakennukset, joten tartuin tähän CoolBox-hankkeen aiheeseen ja aloin työstämään sen pohjalta tätä opinnäytetyötä. Tämä aihe on myös hyvin ajankohtainen rakennusmateriaalien ympäristöystävällisyyden ja kierrätettävyyden sekä rakennusten muuntojoustavuuden ollessa nyt pinnalla olevia aiheita. Puu on tunnetusti ympäristöystävällinen rakennusmateriaali, minkä lisäksi CLT-levy antaa hyvät mahdollisuudet tehdä persoonallisia ja helposti muokattavia pieniä rakennuksia.

## 1.1 CoolBox-hanke

Toimeksiantajanani toimiva CoolBox-hanke on Lapin ammattikorkeakoulun Älykäs rakennettu ympäristö -osaamisryhmän hallinnoima hanke, jonka tavoitteena on aktivoida Lapin tuotekehitystoimintaa ympäristöystävällisten pienrakennusten kehittämiseksi. Taustalla tässä on Lapin matkailubuumi ja sen tarpeet pieniin, monikäyttöisiin sekä luontoarvoja kunnioittaviin ja energiatehokkaisiin rakennuksiin. Hankkeen tuotoksena syntyy mikrorakennusten konsepteja sekä prototyyppejä. Hankkeen rahoituksesta valtaosa tulee Euroopan aluekehitysrahastolta (EAKR), jonka rahoittajaviranomaisena toimii Lapin Liitto. Hankkeen toteutusaika on 3.8.2020–30.12.2022. (Valintaesitys 2020.) Hankkeen yksi osa-alue on tutkia mikrorakennuksen vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja ja rakennusmateriaaleja. Minun opinnäytetyöni tarkastelee yhtä seinän rakenneratkaisua ja rakennusmateriaalia, eli pelkästään CLT-levystä koostuvaa seinärakennetta.

Hankkeessa suunniteltavan mikrorakennuksen tulisi kestää siirtämistä, eri vuodenaikoja Suomessa, rakennuksen pitämistä välillä kylmillään ja välillä lämpimänä ja lisäksi sen pitäisi olla energiatehokas ja monikäyttöinen. Näihin kaikkiin vaikuttaa monen muun tekijän ohella valittu seinämateriaali ja -rakenne. CLT on potentiaalinen vaihtoehto kyseisen rakennuksen seinämateriaaliksi.

CoolBox-hankkeessa siirreltävä rakennus lisäisi rakennuksen monikäyttöisyyttä ja helpottaisi esimerkiksi rakennuksen valmistamista kokonaan tehdasoloissa tai muuten sisätiloissa. CoolBox-hankkeessa ei ole vielä määritelty reunaehtoja rakennuksen käyttötarkoitukselle tai sen siirrettävyydelle.

## 1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyöni keskittyy suomalaiseen CLT-rakentamiseen. Työni tavoitteena on tutkia, miten eri puulajien tai puutuotteiden ja liiman ominaisuudet sekä valmistustapa vaikuttavat CLT-levyn ominaisuuksiin. Tutkimus keskittyy yksiaineiseen CLT-seinärakenteeseen, mikä on käyttöluokassa 3. Rajauksena aiheessa on Lapin ilmasto-olosuhteet. Lisäksi pitää huomioida puulajin tai -tuotteen saataavuus Suomessa ja suomalaisten CLT-valmistajien olemassa olevat valmiudet CLT-levyjen valmistukseen. Rakentamismääräysten osalta rajauksena on CoolBox-hankkeessa tutkittava mikrorakennus, mikä tarkoittaa määräyksissä alle 50 neliön siirreltävää rakennusta. CLT:n käytöstä käyttöluokassa 3 löytyy hyvin vähän tutkimustietoa, vaikka kyseinen aihe on ajankohtainen ja sille olisi tarvetta. Toinen aihe, jota on tutkittu hyvin vähän, on eri puulajien ja -tuotteiden käyttö CLT-levyssä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa CoolBox-hankkeen tarpeisiin sekä laajemmin CLT:n käyttöön käyttöluokassa 3 ja eri materiaalien käytön mahdollisuuksista CLT-levyn raaka-aineena.

Tämän työn tutkimuksellinen osuus on toteutettu teemahaastattelulla. Koen teemahaastattelun olevan tähän tarkoitukseen tarpeeksi avoin haastateltavien omille kokemuksille ja kommenteille asiaan liittyen, mutta kuitenkin tarpeeksi aiheetta rajaava. Haastateltavana oli viisi alan asiantuntijaa. Asiantuntijoilla katsottiin olevan hyvin kokemusta CLT-levyjen valmistuksesta, CLT-rakenteen suunnittelusta tai CLT-levyjen käyttämisestä rakentamisessa. Haastatteluiden tavoitteena on saada ajankohtaista tietoa CLT-levyjen käytöstä yksiaineisena seinärakenteena käyttöluokassa 3. Tähän liittyen haastattelujen teemat ovat pohjoisen ilmaston vaikutukset kyseiseen seinärakenteeseen, erilaisten puulajien, sekä -tuotteiden soveltuvuus kyseiseen käyttöön tulevaan CLT-levyyn, CLT-levyn liiman ja liimaustavan vaikutukset kyseisessä seinärakenteessa sekä suojäkäsittely. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin kokemuksia ja huomioitavia asioita CLT-levystä, mikä tulisi yksiaineiseen seinärakenteeseen käyttöluokkaan 3. Tähän liittyen esiin nousee erityisesti detajiiikan huomiointi.

### 1.3 Opinnäytetyön vaiheet

Opinnäytetyön alussa, luvussa 2 määritellään mikrorakennus-termi ja kerrotaan rakentamismääräyksistä sekä Suomen ilmaston vaikutuksista työssä tutkittavalle rakennukselle ja rakenteille. Tämän jälkeen luvussa 3 tutustutaan CLT-levyn valmistukseen sekä ominaisuuksiin. Luvussa 3 tehdään myös vertailua eri puulajien sekä erilaisten puutuotteiden soveltuvuudesta CLT-levyyn sekä seinärakenteeseen käyttöluokkaan 3. Tässä työssä hyvin tärkeä aihe on CLT-levyn kosteustekninen toiminta, mistä kerrotaan luvussa 4. Tähän aiheeseen liittyy vahvasti myös rakenteen käyttöluokka, pinnan suojakäsittely sekä ympäröivät olosuhteet, kuten esimerkiksi ilmankosteus ja lämpötila.

Luvussa 5 koostetaan haastatteluiden tuloksia. Haastatteluissa keskitytään samoihin aiheisiin, kuin lukujen 2–4 teoriapohjassa. Haastatteluissa tuli hyvin tietoa esimerkiksi CLT-levyn detaljiikasta, sekä valmistuksen ja suunnittelun kannalta huomioitavista asioista, kun CLT-levyä käytetään yksiaineisena seinärakenteena käyttöluokassa 3. Vastaavaa tietoa olisi hankalaa saada pelkästään kirjallisuuskatsauksen avulla. Luvussa 6 kootaan yhteen aikaisempien lukujen perusteella tehtyjä johtopäätöksiä. Tärkeimpinä aiheina tässä on CLT-levyn soveltuvuus mikrorakennukseen yksiaineiseksi seinämateriaaliksi, sekä eri puulajien ja -tuotteiden soveltuvuus kyseiseen tarkoitukseen tulevaan CLT-levyyn.

## 2 MIKRORAKENNUS SUOMEN ILMASTOSSA

### 2.1 Mikrorakennus ja rakentamismääräykset

Mikrorakennukselle ei ole virallista määritelmää. CoolBox-hanke kuitenkin käyttää tätä nimitystä, ja sillä tarkoitetaan hyvin pientä rakennusta. Usein tällaiset pienet rakennukset ovat siirrettäviä. Tässä työssä tarkastellaan siirrettävää mikrorakennusta sen monikäyttöisyyden takia. Kuvassa 2 näkyy CLT-rakenteinen mikrorakennus.



Kuva 2. CLT mikrorakennus (Vuolas 2018)

Alle 50 neliön rakennuksille ei ole yhtä paljon määräyksiä ja ohjeita, kuin isomille rakennuksille. Lämmitettävältä alaltaan alle 50 neliön asuinrakennuksella tai siirrettävällä rakennuksella ei ole Ympäristöministeriön uuden rakennuksen energiatehokkuuden asetuksen mukaan raja-arvoa rakennuksen E-luvulle. E-luku tarkoittaa rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden kulutettua laskennallista osastoenergian määrää. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 2:4 §.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, ettei rakennuksen lämmitykseen käytettävälle energialle, eikä myöskään rakenteiden eristävyydelle ole mitään raja-arvoja.

Tässä työssä tarkasteltava rakennus kuuluu paloluokkaan P3. Tähän paloluokkaan kuuluvat muun muassa 1–2 kerroksiset asuinrakennukset. Kantavien rakenteiden paloturvallisuuden osalta tässä paloluokassa ei ole erityisvaatimuksia. P3 paloluokassa kaksikerroksisessa majoitustilassa henkilömäärä on rajattu 10

henkilöön. Kyseisessä paloluokassa sekä seinän ulko- että sisäpintojen luokkavaatimus on D-s2, d2. Yksikerroksisissa majoitustiloissa ja kaksikerroksisissa koontumis- ja liiketiloissa henkilömäärä on puolestaan rajattu 50 henkilöön. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 1:8 §; 2:12 §; 4:23 §; 4:26 §.) Tässä tapauksessa kaksikerroksisen majoitusrakennuksen 10 henkilön rajoitus on rajoittavin tekijä, mutta sekään tuskin tulee tarkasteltavan rakennuksen käytössä milloinkaan ylittymään. Luokkavaatimuksen D-s2, d2 merkinnässä pääluokitus D-s2 tarkoittaa, että materiaalin osallistuminen paloon on hyväksyttävissä, mutta sen savuntuotto on vähäistä. Lisäluokitus d2 puolestaan liittyy palotilanteessa materiaalista mahdollisesti irtoaviin palaviin pisaroihin, missä d2 on löyhin luokka ja sille ei ole mitään vaatimuksia. (Jämsä 2014.) Esimerkiksi Crosslamin CLT-levy täyttää luokkavaatimuksen D-s2, d0, mikä on tiukempi luokitus, kuin D-s2, d2 (Crosslam 2015, 1). Voidaan siis todeta, että paloluokitus ei aseta tarkasteltavassa kohteessa erityisiä toimenpiteitä tai rajoituksia.

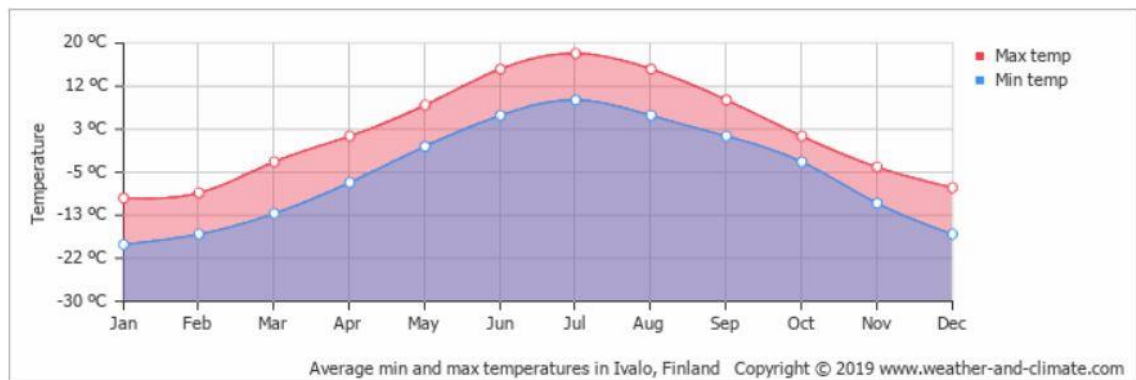
## 2.2 Suomen ilmaston erityispiirteet

Ympäröivän ilman kosteuden ja lämpötilan vaihtelut aiheuttavat puuhun muodonmuutoksia. Lämpötilan aiheuttamat muodonmuutokset ovat kuitenkin hyvin pieniä verrattuna kosteuden aiheuttamiin muodonmuutoksiin. Ympäröivän ilman suuri kosteus saa puun laajenemaan, heikentää puun lujuutta ja lisäksi on osatekijä puun biologiselle ja kemialliselle vahingoittumiselle. (Laine 2010, 71.) Ilman lämpötilalla puolestaan on suuri vaikutus siihen, paljonko ilmaan pystyy sitoutumaan vesihöyryä. Ilman suhteellinen kosteus (RH) tarkoittaa ilmassa olevaa vesihöyryn määrää suhteessa ilman kyllästyskosteuteen. Kun ilman suhteellinen kosteus on 100 %, tarkoittaa se, että ilmaan ei pysty sitoutumaan enempää vesihöyryä eli ilma on saavuttanut kyseisessä lämpötilassa kyllästyskosteuden. Kylästyskosteuden ilman vesihöyrymäärä pienenee lämpötilan pientyessä. Esimerkiksi ulkoilman lämpötilan ollessa  $-20^{\circ}\text{C}$  ja 100 % ilman suhteellisen kosteudessa ilmassa on  $0,9 \text{ g/m}^3$  vesihöyryä. Vastaavasti  $+20^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa ja RH:n ollessa 100 % ilman vesihöyrypitoisuus on  $17 \text{ g/m}^3$ . (Pursiainen 2018.)

Rakenteille ja sisäilmalle haitalliset home ja mikrobit vaativat tarpeeksi korkean kosteuden sekä oikean lämpötilan kasvaakseen. Siikasen mukaan nämä edellytykset ovat 70 % RH ja  $+10^{\circ}\text{C}$  –  $+55^{\circ}\text{C}$  lämpötila. Optimaalisimmat olosuhteet

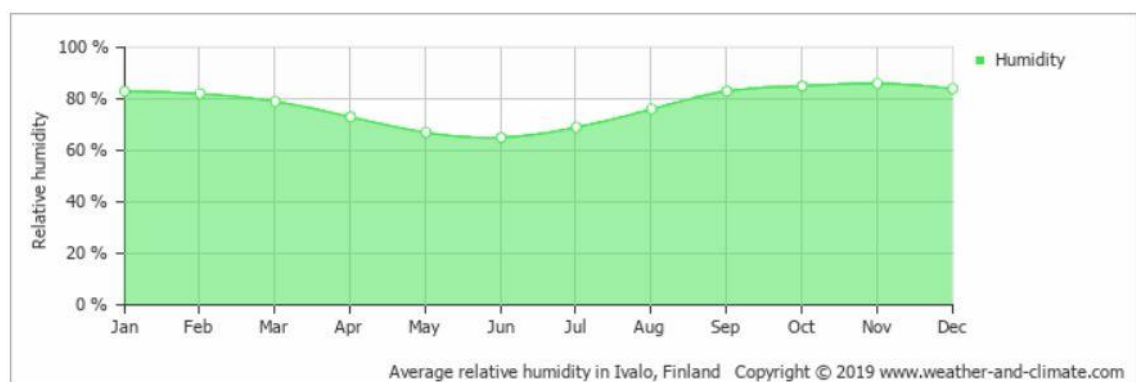
puolestaan homeelle ja mikrobille ovat yli 90 % RH sekä +20°C lämpötila. Siikainen myös huomauttaa, että orgaaniset materiaalit, esimerkiksi puu, ovat herkempiä mikrobikasvustolle kuin epäorgaaniset materiaalit. (Siikainen 2014, 79.) Mikrobit ja home eivät siis menesty Suomen talvessa ulkoilmassa.

Puurakenteen kestävyys vaikuttavia ilmastosta riippuvia tekijöitä säälle alttiissa rakenteissa ovat ilmankosteuden ja lämpötilan lisäksi auringon UV-säteily, sade ja tuulen kuljettamien partikkelien aiheuttama eroosio rakenteelle. Myös ilmansaasteet voivat vahingoittaa puun pintaa. (Bobadilha 2020, 7.) Tässä työssä ei tarkastella ilmansaasteita tai tuulen aiheuttamaa eroosiota.



Kuva 3. Keskimääräinen ilman lämpötila Ivalossa 2019 (Weather & climate 2021)

Kuvasta 3 näkee, että Ivalossa keskilämpötila on lähes puolen vuoden ajan nol-lan alapuolella. Ilman suhteellinen kosteus on Ivalossa talvikuukausina yli 80 % ja maaliskuusta elokuuhun alle 80 % (kuva 4). Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ilmassa olisi talvella enemmän kosteutta, kuin kesällä.



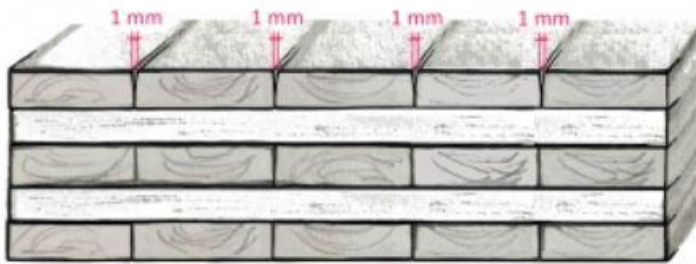
Kuva 4. Keskimääräinen ilmankosteus Ivalossa 2019 (Weather & climate 2021)

Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen rakennusten lämmitystehon laskentaa varten. Tässä työssä tarkastellaan pääpiirteissään koko Suomen ilmastoa, mutta tietyiltä osin keskitytään säävyöhykkeeseen IV, mikä sijoittuu lähes kokonaan Lapin alueelle. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 4:32 §.)

### 3 CLT-LEVY ULKOSEINÄRAKENTEENA

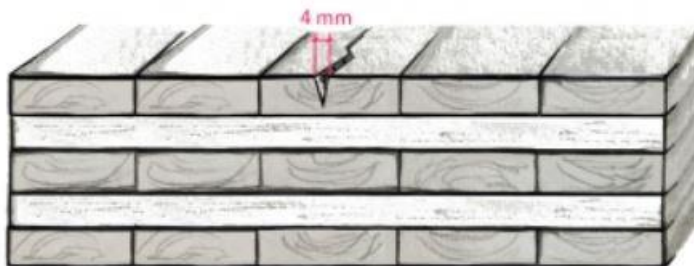
#### 3.1 CLT-levyn valmistus

CLT:tä valmistetaan kahdella eri liimaustavalla: syrjäliimattuna ja syrjäliimaamattomana. Syrjäliimaamaton levy tehdään liimaamalla irrallisista laudoista kootut lautalevyt lautojen lappeiltaan yhteen. Syrjäliimatussa CLT-levyssä lautalevyt kootaan ensin liimaamalla laudat syrjistään yhteen, ja valmiit levyt liimataan päällekkäin. Syrjäliimattu levy on syrjäliimaamatonta levyä ilmatiiviimpi. (Puu 2019b, 70.) Syrjäliimaamattomassa CLT-levyssä levyn kuivumisen aiheuttaman lamellien kutistumisen seurauksena lamellien väleihin muodostuu rakoja, kuten kuvasta 5 nähdään (Puuinfo 2020f).



Kuva 5. Syrjäliimaamattoman levyn kosteuseläminen (CrossLam 2020)

Syrjäliimatussa levyssä näiden rakojen syntyminen on estetty liimaamalla lamellit myös syrjästä. Kuten kuva 6 havainnollistaa, syrjäliimattuun levyyn aiheutuu kuivumisen seurauksena sisäisiä jännityksiä, sekä tätä kautta pieniä halkeamia. (Puuinfo 2020f.)



Kuva 6. Syrjäliimatun levyn kosteuseläminen (CrossLam 2020)

Kallein ja energiaintensiivisin vaihe CLT:n tuotannossa on raakalautojen kuivaus. Se on myös yksi tärkeimmistä työvaiheista ja vaikuttaa paljon lopputuotteen laatuun. (Jansson 2015, 16.) Tämän takia eri puulajien kuivumisnopeus ja mahdollinen kieroutuminen tai halkeileminen kuivumisvaiheessa vaikuttaa merkittävästi lopputuotteen hintaan ja mahdollisesti myös laatuun.

### 3.2 CLT-levyn ominaisuudet

CLT-levyn ominaisuudet ovat pitkälti valmistajakohtaisia. Esimerkiksi Stora Enson CLT-levyjien enimmäispituus on 16,0 m, enimmäisleveys 3,45 m ja enimmäispaksuus 0,35 m (CLT by Stora Enso, 4). Lamellien paksuudet Stora Enson CLT-levyissä ovat 20–80 mm (CLT by Stora Enso, 6–7). Hoiskon CLT-levyissä vastaavat mitat ovat; pituus 11,9 m, leveys 3,4 m, paksuus 0,40 m ja lamellien paksuudet 20–60 mm (Hoisko 2018). CrossLamin CLT-levyjien enimmäispituus on 12,0 m, enimmäisleveys 3,2 m, paksuus 60–300 mm ja lamellien paksuus 20–60 mm (CrossLam 2015, 1). Kaikki edellä mainitut valmistajat ilmoittavat valmistamiensa CLT-levyjien painoksi  $470 \text{ kg/m}^3$  ja sallituiksi käyttöluokiksi luokat 1 ja 2. Käyttöluokassa 3 olevassa liimapuussa lamellien enimmäispaksuus on Eurokoodien mukaan 35 mm (RIL 205-1-2017, 52). Tämä pitää huomioida, kun suunnitellaan CLT-levyä käytettäväksi käyttöluokkaan 3 kuuluvassa rakenteessa. Kyseistä ohjetta ei mainita CLT:n kohdalla ollenkaan, koska CLT:llä ei ole virallista hyväksyntää käyttöluokkaan 3. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että CLT-levyjien valmistajat eivät aina myönnä takuuta heidän tuotteilleen, jos niitä käytetään käyttöluokassa 3.

#### 3.2.1 CLT-levyn lujuusominaisuudet

Uloimpien kerrosten lamellit ovat CLT-levyissä yleensä pystysuunnassa, kun levy on seinärakenteessa. Tällöin seinän pystysuuntainen kuormituksenkestävyys saadaan mahdollisimman suureksi. CLT-levyn lamellikerroksia on mahdollista liimata myös kaksi päällekkäistä kerrosta samansuuntaisesti, jolloin levyn kantavuus haluttuun suuntaan paranee. (Karacabeyli & Gagnon 2019 Chapter 1, 5.)

CLT-levyllä on ristiinliimauksen ansiosta paremmat lujuusominaisuudet kuin normaalilla liimapuulla. Liimapuun lujuuden määrittelee sen heikoin poikkileikkauskohta, mikä yleensä on oksan kohta tai jatkoskohta. CLT-levyn ristiinliimatun rakenteen ansiosta esimerkiksi jatkosten heikentävä vaikutus on eri kerroksissa eri suuntainen, mikä tasoittaa levyn poikkileikkauksen lujuusominaisuuksia. (The CLT Handbook 2019, 36.) Puulla on myös erilaiset lujuusominaisuudet syysuuntaan ja syysuuntaa vastaan. CLT-levyissä eri suuntaiset lamellikerrokset jäykistävät levyä eri suunnissa, minkä ansiosta levyllä on hyvät jäykkyyso ominaisuudet sekä pysty- että vaakasuuntaan. CLT-levyä voidaan käyttää sekä kantavana, että jäykistävänä rakenteena seinissä ja välipohjissa (Puuinfo 2020d).

### 3.2.2 CLT-levyn pitkäaikaiskestävyys ja ympäristöystävällisyys

Puurakenteet voivat olla erittäin pitkäikäisiä, mikäli ne on suunniteltu ja toteutettu oikein. Maailmalta löytyy lähes tuhat vuotta vanhoja puurakennuksia. Puurakenteiden pitkäikäisyyden varmistamiseksi pitäisi huolehtia, että rakenne olisi suojattu hyvin vedeltä, kosteudelta ja auringonvalolta ja että puulaji ja puun laatu olisi valittu käyttökohteeseen sopivaksi. Lisäksi puu olisi hyvä pintakäsitellä (riippuen käyttökohteesta) ja rakenteita tulisi huoltaa ja tarvittaessa vaihtaa huonoksi menneet osat. Puun käyttöikä voi lisätä myös kyllästämällä. (Puuinfo 2020a.) Puuinfo -sivuston mukaan puun kyllästäminen voi lisätä puun käyttöikää ulkona jopa 3–5 kertaiseksi verrattuna kyllästämättömään puuhun (Puuinfo 2020b).

Puurakenteiden suojaamisen ja huoltamisen ohjeet ja suositukset koskevat pitkälti myös CLT-levyä. CLT-levyn käyttöikä riippuu hyvin paljon käyttökohteesta ja levyn suojaamisesta kosteudelta, auringonvalolta ja sateelta. CLT-levy on sen verran uusi tuote, että sen käyttöiästä ei löydy vielä paljon tietoa. Liimapuun liimasaumat kestävät testien mukaan itse puuainesta paremmin, joten liiman ei pitäisi olla ratkaiseva tekijä CLT:n käyttöiän kannalta (Puu 2019a, 74). Joidenkin arvioiden mukaan CLT voi kestää jopa 150 vuotta, kun vastaavasti betonin käyttöiäksi on yleensä määritelty 50 vuotta (Calculus.com).

CLT-levy mielletään usein hyvin ympäristöystävälliseksi materiaaliksi, ja ihan syystä. CLT:n valmistuksessa tuotteeseen on varastoitunut enemmän hiilidioksidia kuin valmistuksesta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä. Esimerkkinä VTT:n raportin

mukaan CLT-rakenteisen tilaelementin hiilijalanjälki on 30 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> ja vastavasti rakenteen hiilisisältö on 115 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, eli rakenne sitoo 85 kilogrammaa hiilidioksidia neliometriä kohden enemmän, kuin sen aiheuttamat päästöt ovat (Häkkinen, Vainio & Vares 2017, 10). Rakenteen ja rakennuksen ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa myös käyttöikä. Mitä lyhyempi käyttöikä rakenteella on, sitä nopeampaa joudutaan tekemään kustannuksia ja päästöjä aiheuttavia korjaustoimenpiteitä tai jopa rakennusten purkamista.

### 3.3 CLT:ssä käytettävät liimat

Liimapuussa käytettävien liimojen tulee kestää puun kosteuselämisestä aiheutuvaa, liimasaumoihin kohdistuvaa rasitusta koko käyttöikänsä ajan. Liimojen kestävyttä testataan rajuilla testeillä. Esimerkiksi CLT:ssä käytettäviä liimoja testataan usein kyllästämällä liimattu puukappale vedellä ja kuivaamalla se nopeasti korkeassa lämpötilassa. (Puu 2019a, 75.) Tällaisessa testissä puu turpoaa ja kutistuu nopeasti, jolloin muodonmuutokset aiheuttavat suurta rasitusta liimapintoihin.

Suomessa valmistettavissa CLT-levyissä käytetään polyuretaaniliimaa. Lähteenmäki mainitsee diplomityössään polyuretaani- eli PUR-liiman hyväksi ominaisuudeksi kosteudenkestävyyden, hajuttomuuden ja värittömyyden. Lisäksi Lähteenmäki toteaa, että PUR-liima ei sisällä ympäristölle ja sisäilmalle haitallista formaldehydiä. (Lähteenmäki 2017, 13.) Esimerkiksi suomalaisen CLT-levyjien valmistajan, CrossLamin sivuilta löytyy sertifikaatti heidän käyttämän PUR-liiman päästöttömyydestä. Sertifikaatissa kerrotaan, että ulkopuolisen, riippumattoman tahon mittausten mukaan PURBOND liimat eivät sisällä formaldehydiä, eikä sitä myöskään synny liiman kuivumisreaktiossa tai muissakaan liiman reaktioissa. (CrossLam 2007.) PUR-liiman heikkoudeksi Lähteenmäki toteaa sen huonon kuumankeston (Lähteenmäki 2017, 13). Liiman huono kuumankesto voi muodostua ongelmaksi palotilanteessa nopeuttamalla levyn delaminoitumista. Delaminoituminen tarkoittaa palotilanteessa uloimman lamellikerroksen lamellien irtoamista, kun hiiltymä ja korkea lämpötila saavat aikaan kyseisten lamellien liimauksen pettämisen (Paloturvallinen puutalo 2021, 83). Kuten kuva 7 havainnollistaa, delaminoitumisen takia irronneet, hiiltyneet lamellit eivät ole suojaamassa taaempia lamellikerroksia, mikä puolestaan nopeuttaa rakenteen hiiltymistä.



Kuva 7. Delaminoitunut CLT (Paloturvallinen puutalo 2021, 83)

### 3.4 CLT:ssä käytettävät puulajit

Suomessa CLT valmistetaan tavallisimmin kuusesta tai männystä. CLT-levyn pintakerrokseen voidaan käyttää muitakin puulajeja. (Puu 2019b, 70.) Esimerkkinä suomalaisen CLT-levyjä valmistavan Crosslamin CLT-levyt valmistetaan tavallisesti männystä tai kuusesta, mutta vakiolevyn päälle on mahdollista saada myös ylimääräinen 20 millimetrin lamellikerros esimerkiksi koivusta. Crosslam kertoo valmistavansa terassilevyjen (CLT) pintakerroksia myös lämpökäsitellystä männystä. (CLT-suunnittelun ohje, 17.) CLT-levyissä käytettävät laudat ovat lujuusluokiteltua sahatavaraa (Puuinfo 2020c). Seuraavaksi tarkastellaan muutaman puulajin sellaisia ominaisuuksia, mitkä vaikuttavat CLT-levyn valmistukseen.

#### 3.4.1 Kuusi ja mänty

Siikanen käsittelee kirjassaan ”Puurakentaminen” eri puulajien ominaisuuksia sekä yleisesti puuta rakennusmateriaalina. Siikasen mukaan kuusi on lujuusominaisuuksiltaan mäntyä huonompaa, mutta sitkeämpää. Kuusi kuitenkin sopii mäntyä paremmin suuren kosteusrasituksen kohteena oleviin rakenteisiin, koska mänty imee kuusta herkemmin kosteutta itseensä. Lisäksi Siikanen toteaa kuusen kestävän hyvin kosteusvaihteluita, mutta olevan sen herkkä kieroutumaan tai

halkeilemaan kuivuessaan. Mänty puolestaan kuivuu nopeasti ja kieroutuu ja halkeilee kuusta vähemmän. (Siikanen 2008, 33–34.) Puujulkisivut RT-kortista saadaan lisää tietoa kuusen ja männyn kosteudenkestävyydestä. Kyseisen RT-kortin mukaan kuusen kuivuessa sen solukkorakenne ”sulkeutuu”, minkä ansiosta sen puuaines ei ime paljoa vettä itseensä. Männyllä puolestaan sydänpuun solukkorakenne on kuusen tavoin sulkeutunut, mutta pintapuun solukkorakenne on ”avoin”, jolloin männyn pintapuu imee herkästi kosteutta eikä täten ole kosteudenkestävyydeltään kuusen veroinen. Männyn kosteuseläminen on myös erilaisen solukkorakenteen takia kuusta voimakkaampaa. (RT 82-10829 2004, 2.)

Fagerstedtin, Pellisen, Saranpään ja Timosen kirjassa ”Mikä puu – mistä puusta” käsitellään myöskin eri puulajeja ja niiden ominaisuuksia. Kyseisessä kirjassa kuusen haittapuoleksi mainitaan kieroutumisen ja halkeilemisen lisäksi huono lahonkestävyys ja alttius hyönteistuholle. Kuusen kyllästäminen on myös hyvin vaikeaa ja kuolleet oksat lähtevät herkästi irti muusta puuaineesta. Samassa kirjassa männyn kerrotaan olevan altis lahottaja- ja sinistäjäsiementen aiheuttamille vahingoille pintapuun osalta. Sydänpuun puolestaan mainitaan olevan kohtuullisen lahonkestävää. Männyn puuaineen kerrotaan olevan pehmeää ja helposti työstettävää ja halkaistavaa. Kirjassa nostetaan esille männyn pihkapitoisuus, mikä pitää ottaa huomioon käytettäessä mäntyä rakennusmateriaalina. (Fagerstedt, Pellinen, Saranpää & Timonen 2004, 53, 74.) Siikanen huomauttaa erityisesti männyn sydänpuun olevan erinomaista rakentamiseen, ja siitä valmistetut laudat kestävät hyvin säärasituksia myös käsittelemättömänä (Siikanen 2008, 33). Männyn sydänpuu olisi hyvä materiaali myös CLT-levyn valmistukseen, mutta sen saatavuus ja hinta voivat koitua ongelmaksi materiaalia valittaessa.

#### 3.4.2 Muita puulajeja

Lehtikuusta käytetään paljon rakennusten ulkoverhouksissa ja sitä on tälläkin hetkellä saatavilla CLT-levyn pintakerrokseksi. Tammi puolestaan on hyvin säänkestävää ja sitä on käytetty paljon rakentamisessa siellä missä sitä on ollut hyvin saatavilla. Suomalaiset lehtipuut ovat hyvin huonoja säänkestävyydeltään, minkä takia niihin ei perehdytä tarkemmin tässä opinnäytetyössä. Tarkastellaan seuraavaksi lehtikuusta ja tammea.

Fagerstedtin ja kollegoiden kirjassa todetaan, että siperianlehtikuusta viljellään Suomen metsissä yleisesti Lappia myöten. Lehtikuusen puuaine on hyvin tiheää ja kovaa, minkä takia esimerkiksi ruuveja varten tulisi porata reiät. Lehtikuusen puuaine kutistuu huomattavasti mäntyä ja kuusta enemmän kuivuessaan, minkä takia se myös voi halkeilla voimakkaasti. Lehtikuusen sydänpuu on hyvin lahonkestävää ja puu kestää hyvin taivutusta ja puristusta. Fagerstedtin ja kollegoiden mukaan lehtikuusi soveltuu hyvin vesi- ja maarakennukseen. Siikanen huomauttaa kirjassaan, että lehtikuusta käytetään rakennusten julkisivuverhouksiin myös pintakäsittelemättömänä. Lehtikuusi soveltuu säänkestävyydeltään hyvin CLT-levyn ulkopintaan. Toisaalta sekä Siikasen kirjassa, että Fagerstedtin ja kollegoiden kirjassa todetaan, että lehtikuusen lahonkestävyys vaihtelee paljon sen kasvupaikan ja lajikkeen mukaan. Puuaineen kovuus ja voimakas kosteuseläminen aiheuttavat haasteita CLT-levyssä käsiteltävyyden ja halkeilemisen osalta. (Fagerstedt ym. 2004, 56, 58; Siikanen 2008, 40.)

Tammi on hyvin kovaa ja painavaa puuta. Sen pintapuuta on Siikasen mukaan rakentamiseen käyttökelpotonta. Tammen puuaine on hyvin kosteudenkestävää ja sydänpuun osalta lahonkestävää, mutta kosteuseläminen on voimakasta. (Siikanen 2008, 37.) Fagerstedtin ja kollegoiden kirjan mukaan metsikkönä kasvaneet tammet soveltuvat hyvin sahapuutavaraksi niiden pitkän ja suoran rungon ansiosta. Tässä ei oteta kantaa, että onko kyse sydänpuusta, vai pintapuusta vai molemmista. Tammea löytyy Suomesta kuitenkin lähinnä koristepuuna, ja sahatavarana käytettävä tammi tuodaan yleensä Keski-Euroopasta. (Fagerstedt ym. 2004, 152.) Tammi olisi säänkestävyydeltään hyvää CLT-levyn käyttöluokkaan 3, mutta sen raju kosteuseläminen voisi tuottaa ongelmia levyn halkeilemisen kanssa. Lisäksi sen liimattavuus ja käsiteltävyys voisivat aiheuttaa haasteita.

### 3.5 Erilaiset variaatiot CLT-levyn valmistukseen

CLT-levyn kantavat osat valmistetaan lähinnä kustannusten ja mahdollisesti myös tutkimuksen ja tiedon vähäisyyden vuoksi tällä hetkellä lähes ainoastaan lujusluokitellusta havupuisesta sahatavarasta. Liimapuussa on käytetty myös pidemmälle jalostettuja tuotteita; esimerkiksi kyllästettyä mäntyä (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 19). Nyt on alettu tutkimaan myös erilaisten, pidemmälle jalos-

tettujen puutuotteiden käyttämistä CLT:ssä. Saksalainen Züblin Timber on esimerkiksi kehittänyt CLT-levyn, missä keskimäinen lamelli on LVL:ää eli viilupuuta (LENO Cross Laminated Timber (CLT) 2019, 14).

### 3.5.1 Lämpökäsitelty puu

Puun ominaisuuksia voidaan muokata lämpökäsittelyllä. Prosessissa käytetään yli 160 °C lämpötilaa ja vesihöyryä (Puuinfo 2020e). VTT:n tutkimuksen mukaan lämpökäsiteltyt koivu, mänty ja kuusi imivät vesiupotuksessa vähemmän vettä ja turposivat jopa 80 % vähemmän, kuin käsittelemättömät vertailukohteet. Tutkimuksen mukaan ilmankosteuden vaihdellessa puun kosteuseläminen pieneni keskimäärin 50 % ja useasti toistetussa upotus-kuivatuskokeessa kuusella ja männyllä 60–70 % ja koivulla jopa 80 % lämpökäsittelyn ansiosta. (Jämsä & Viitaniemi 1996, 37, 39–40). Voidaan siis todeta, että lämpökäsittely pienentää selvästi puun kosteuselämistä. Lämpökäsittely myös toimii todistetusti Suomessa eniten käytetyille puulajeille, eli männylle, koivulle ja kuuselle erittäin hyvin. Kuten luvussa 4.4 todetaan, kosteuseläminen aiheuttaa CLT-levyyn pieniä halkeamia. Mikäli halkeamat koetaan ongelmaksi CLT-levyissä, voisi lämpökäsittelyn puun käyttäminen helpottaa tätä ongelmaa. Toisaalta Ville Räsänen on tutkinut opinäytetyössään lämpökäsittelyn vaikutusta puun liimattavuuteen ja toteaa työssään, että lämpökäsittely heikentää selvästi puun liimattavuutta. Räsänen käytti työssään koekappaleina kuusta ja mäntyä sekä käsittelemättömänä, että lämpökäsittelynä, ja lisäksi useaa eri liimaa. CLT:ssä käytettävää PUR-liimaa käytettäessä lämpökäsittelyn vaikutus esimerkiksi leikkauslujuuteen oli kuitenkin huomattavasti pienempi, kuin muilla liimoilla. Kuusella lämpökäsittelyn heikentävä vaikutus leikkauslujuuteen oli hieman isompi, kuin männyllä. Delaminoituminen puolestaan oli selvästi voimakkaampaa lämpökäsittelyllä männyllä kuin lämpökäsittelyllä kuusella tai käsittelemättömillä puukappaleilla. (Räsänen 2015, 15, 27–36.) PUR-liimaa käytettäessä lämpökäsittely heikentää siis jonkin verran liimapuulevyn lujuusominaisuuksia, mutta ei niin merkittävästi, kuin muilla liimoilla.

### 3.5.2 Paineekyllästetty puu

Puun lahonkestävyyttä voidaan parantaa painekyllästämällä. Paineekyllästämässä puuhun imeytetään suoja-ainetta paineen avulla. Suoja-aineet ovat nykyisin Suomessa kuparipohjaisia ja täyttävät tiukat laatuvaatimukset. Paineekyllästystä tehdään Suomessa vain männylle. Siikanen toteaaakin kirjassaan ”Puura-kentaminen”, että painekyllästystä ei voida tehdä kuuselle eikä männyn sydänpuulle niiden solukkorakenteen takia. Paineekyllästämisen ei vaikuta merkittävästi puutavaran lujuuteen tai kosteuselämiseen. Kosteuselämisen osalta tulee kuitenkin huomioida vaadittava kosteus ennen kyllästämistä sekä kyllästämisen jälkeen ja tästä johtuvan kuivatuksen aiheuttama kosteuseläminen. (Puuinfo 2020b; Siikanen 2008, 88.)

Liimapuuta voidaan tehdä myös painekyllästetyistä lamelleista. Tällainen liimapuu on hyvin lahonkestävää ja sitä käytetäänkin lähinnä ulkona suuren kosteusrasituksen kohteena olevissa puurakenteissa, kuten esimerkiksi silloissa tai laitu-reissa. Tällaista liimapuuta käytettäessä tulee huomioida, että kiinnikkeiden tulisi olla haponkestäviä kyllästysaineiden vuoksi. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 80.)

### 3.5.3 Viilupuu ja Kertopuu

Viilupuu on liimapuutuote, joka on valmistettu liimaamalla sorvattuja viiluja le-vymäiseksi tuotteeksi. Kertopuu on puolestaan Metsä Woodin tuotenimi heidän valmistamilleen viilupuutuotteille. Puurakenteiden suunnitteluohje -kirjasta nähdään, että kertopuutuotteiden taivutus-, veto-, leikkaus- ja puristuslujuudet ovat samaa luokkaa tai parempia, kuin yleisesti käytetyn C24 sahatavaran (RIL 205-1-2017, 51, 55). Puuproffa-sivuston mukaan kertopuutuotteilla voidaankin saavuttaa sama kantavuus rakenteissa pienemmällä materiaalimäärällä sekä pie-nemmällä omapainolla verrattuna liimapuuhun tai sahatavaraan. Kertopuu sovel-tuu hyvin rakennuksen kantaviin tai jäykistäviin rakenneosiin, kuten esimerkiksi seinien runkotolpiksi tai yläpohjan kannattimiksi. (Puuproffa; Siikanen 2008, 106.) Züblin Timberin kehittämässä LENO plus CLT-levyssä keskiosa on viilupuuta ja uloimmat kerrokset havupuuta (kuva 8). Züblin Timber itse mainostaa kyseistä levyä liitoskohtien ja saumakohtien vähäisyydellä, mikä tekee levystä ilmatiiviim-

män, kuin perinteinen CLT-levy, mutta silti hengittävän rakenteen. Lisäksi sivustolla sanotaan kyseisen CLT-levyn olevan rakenteellisesti lujempi, kuin perinteinen CLT-levy. LVL-kerroksen ansiosta levyyn on myös helpompi tehdä varauksia esimerkiksi sähköjohdoille, ja tuotetta saakin tilattua valmiiksi tehdyillä varauksilla. (LENO Cross Laminated Timber (CLT) 2019, 14.)



Kuva 8. LENO+ CLT-levy (Züblin Timber)

## 4 CLT-LEVYN KÄYTTÖ ULKOSEINÄSSÄ

### 4.1 Käyttöluokat

Rakenteiden lujuuksien ja muodonmuutosten tarkastelussa tietyissä ympäristöolosuhteissa käytetään kolmea eri käyttöluokkaa. Käyttöluokkiin jaottelu tapahtuu sen perusteella, millaiselle säärasitukselle rakenne altistuu. Käyttöluokassa 1 ympäröivän ilman suhteellinen kosteus pysyttelee alle 65 % lähes koko ajan. Havupuun kosteus käyttöluokassa 1 pysyttelee pääasiassa alle 12 %:ssa ja vastaa 20 °C lämpötilaa. Käyttöluokkaan 1 kuuluvat rakenteet ovat yleensä lämpimän rakennuksen sisäosissa suojassa sateelta ja suurilta lämpötilavaihteluilta. (RIL 205-1-2017 2017, 33.)

Käyttöluokassa 2 ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on puolestaan pääasiassa alle 85 %, mutta voi ylittää tämän arvon muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus pysyttelee pääasiassa alle 20 %:ssa tässä käyttöluokassa. Tällainen rakenne voisi olla esimerkiksi katetun terassin palkki, joka on suojassa sateelta. Myös esimerkiksi rossipohjan puurakenteet luokiteltaisiin tähän käyttöluokkaan. (RIL 205-1-2017 2017, 33.)

Käyttöluokkaan 3 kuuluvat käyttöluokkia 1 ja 2 suuremmalle kosteusrasitukselle alttiit rakenteet. Eli käytännössä rakenteet, jotka ovat suoraan alttiita sateelle ja ulkoilmalle tai joihin muuten kohdistuu huomattavaa kosteusrasitusta. (RIL 205-1-2017 2017, 33.) Käyttöluokassa 3 pitää kiinnittää eniten huomiota rakenteen kosteudenkestävyyteen ja mahdollisiin kosteusvaurioihin. Tässä työssä tutkittava CLT-levystä koostuva seinärakenne on ulkoseinässä säälle alttiina. Eli se kuuluu käyttöluokkaan 3.

### 4.2 Massiivipuinen seinärakenne

Yksiaineinen, massiivipuinen seinärakenne on siinä mielessä turvallinen rakenne, että seinän sisällä ei ole rajapintoja, mihin kosteus pääsisi tiivistymään (Laine 2010, 73). CLT-levyssä liimakerros on vesihöyryä läpäisevää, eli CLT-levy toimii edellä mainitulla tavalla yksiaineisena seinärakenteena.

CLT-levy elää kosteuden ja lämpötilan vaihdellessa, ja etenkin syrjäliimattuun CLT-levyyn tulee helposti halkeamia. Pienet halkeamat eivät välttämättä suoranaisesti heikennä rakenteen kantavuutta tai jäykkyyttä, mutta toisaalta helpottavat säälle alttiissa pinnassa veden ja kosteuden imeytymistä levyyn ja tätä kautta voivat ajan saatossa olla rakennetta heikentävä tekijä. Yksiaineinen, ulkoilmalle altis CLT seinärakenne on altis ulkoilman kosteudenvaihteluille. Kylmällä ja kostealla säällä tällaisessa seinärakenteessa olevan CLT-levyn ulkopinta imee ulkoilmasta kosteutta ja laajenee, kun samalla mahdollisesti huomattavasti kuivemmalle ja lämpimämmälle sisäilmalle altis levyn sisäpinta saattaa jopa luovuttaa kosteutta ja kutistua. Tällaisessa tilanteessa CLT-levy saattaa pullistua keskeltä ulospäin, mikä saattaa pahimmillaan olla riski rakenteen jäykkyydelle. (The CLT Handbook 2019, 20.)

Puulla on materiaalina hyvä lämmönvaraamiskyky. Tämä tarkoittaa, että puu pysyy varastoimaan hyvin esimerkiksi auringon lämpösäteilyä tai huoneilman lämpöä ja luovuttamaan lämpöä huoneilmaan, jos huoneilman lämpötila laskee. Tällä tavoin puurakenteinen seinä tasaa sisätilojen lämmönvaihteluita ja parantaa tilojen viihtyvyyttä. Lisäksi myös lämmityksen energiankulutusta voidaan tasata ulkolämpötilojen vaihdellessa voimakkaasti. (Siikanen 2008, 138.) Massiivipuissa seinärakenteessa on esimerkiksi rankarunkoiseen seinään verrattuna paljon puuta, jolloin seinärakenteella on erittäin hyvä lämmönvaraamiskyky.

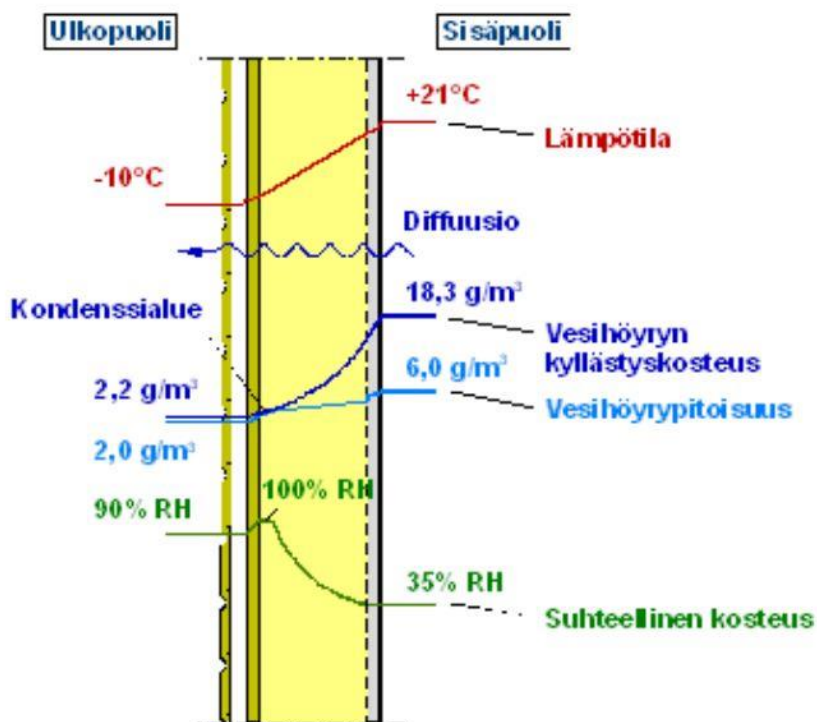
#### 4.3 Kosteuden siirtyminen seinärakenteeseen

Seinärakenteen kosteustekninen toimivuus on tärkeää rakenteen kestävyys- ja käyttöikänsä kannalta. Kosteuslähteitä, mistä seinärakenteeseen saattaa päästä kosteutta, on useita. Seinän ulkopinnassa näkyvin ja selkein kosteuslähde on sadevesi. Myös lumi voi olla kosteuslähde, mikäli se sulaa seinän pinnalla. Sadevesi ja sulava lumi ovat näkyvänä vetenä ilmeneviä kosteuslähteitä. Lisäksi näkyvän veden kosteuslähde voi olla esimerkiksi vuotava putki. Kosteus voi kulkeutua rakenteisiin myös vesihöyryinä tai esiintyä rakenteisiin sitoutuneena kosteutena. Vesihöyryä on aina jonkin verran ilmassa, ja se voi kulkeutua seinärakenteisiin diffuusiolla tai konvektiolla. Lisäksi maaperästä voi nousta kapillaarisesti

kosteutta rakenteisiin, mutta tässä työssä tarkasteltavan mikrorakennuksen oletetaan olevan sillä tavalla irti maasta, ettei maaperästä kapillaarisesti nousevaa kosteutta tarvitse huomioida. (Siikanen 2014, 66–68.)

#### 4.3.1 Diffuusio

Diffuusio tarkoittaa kaasuseoksen paine-erojen tasoittumisesta aiheutuvaa kaasumolekyylien liikehdintää. Tässä tapauksessa diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyryn liikkumista seinärakenteen läpi kuivemmasta ilmasta kostempaan ilmaan. Kuten kuva 9 havainnollistaa, etenkin talvella, kun kylmään pakkasilmaan ei pysty sitoutumaan paljon kosteutta, vesihöyry liikkuu rakennuksen lämpimistä sisätiloista kohti kuivempaa ja kylmempää ulkoilmaa. Liiallista vesihöyryn tunkeutumista seinärakenteeseen estetään usein asentamalla höyrynsulkumuovi lämmöneristeen ja huoneilman väliin. Lisäksi diffuusion aiheuttamia mahdollisia kosteusvaurioita voi vähentää suunnittelemalla seinärakenne siten, että seinämateriaalien vesihöyrynvastus pienenee, kun siirrytään lämpimästä huoneilmasta kohti kylmempää ulkoilmaa. (Siikanen 2014, 70–71.)



Kuva 9. Kosteuden siirtyminen seinärakenteessa (Vinha 2008, 3)

Rakennusmateriaaleilla on kullekin materiaalille ominainen kyky vastustaa vesihöyryn virtausta aineen läpi. Tätä ominaisuutta kutsutaan vesihöyrynvastukseksi. Samoin materiaaleilla on kyky päästää vesihöyryä diffuusiolla materiaalin läpi. Tätä kullekin materiaalille ominaista arvoa kutsutaan puolestaan vesihöyrynläpäisevyydeksi. (Siikanen 2014, 72–73.)

Lähteenmäki toteaa opinnäytetyössään CLT-levyn olevan hyvin tiivis rakenne, joten se vastustaa hyvin vesihöyryn kulkeutumista, joko diffuusiolla tai konvektiolla, seinärakenteen sisään. Tämän takia CLT-levystä tehdyssä seinärakenteessa höyrynsulkumuovia ei välttämättä tarvita. Tällöin rakenteesta tulee paremmin hengittävä verrattuna höyrynsulkumuovilla vuorattuun seinärakenteeseen, koska CLT-levyn pinta ei ole kuitenkaan yhtä tiivis kuin höyrynsulkumuovi. (Lähteenmäki 2017, 17.) Kyseinen tilanne edellyttää, että CLT-levyn pintaa ei ole käsitelty liian suurta vesihöyrynvastusta omaavalla käsittelyaineella.

#### 4.3.2 Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan vesihöyryn liikkumista kaasuseoksen (ilman) mukana. Käytännössä tämä tarkoittaa paine-eroista aiheutuvaa ilman virtausta ja tätä kautta kosteuden kulkeutumista esimerkiksi rakojen tai huokoisten materiaalien läpi seinärakenteeseen. Konvektiota voi tapahtua myös seinän sisällä ilman tiheuserojen vaikutuksesta. (Siikanen 2014, 71–72.)

Talvella konvektio voi olla erittäin haitallista seinärakenteelle, mikäli seinärakenteessa on aukkoja, mistä huoneilma pääsee virtaamaan seinärakenteeseen. Tämä johtuu siitä, että talvella kylmän ulkoilman ja lämpimän huoneilman välillä on paine-eroa, jonka vaikutuksesta kylmää ulkoilmaa kosteampi huoneilma pyrkii siirtymään konvektiolla sisältä ulospäin. (Siikanen 2014, 72.) Tällaisessa tilanteessa seinän sisälle kulkeutuu vesihöyryä, mikä voi päästä tiivistymään seinän sisälle kastepisteeseen. Kastepisteellä tarkoitetaan kohtaa, missä lämpötila on sellainen, että saavutetaan kyllästyskosteus ja ylimääräinen vesihöyry tiivistyy vedeksi (Siikanen 2014, 70). Kuvan 9 mukaisessa tilanteessa seinärakenteen sisällä on kastepiste (kondenssialue), mihin huoneilmasta tuleva kosteus pääsee tiivistymään.

### 4.3.3 Kondensoituminen

Kondensoituminen tarkoittaa tilannetta, missä ilman kyllästyskosteus ylittyy ja vesihöyry tiivistyy vedeksi. Seinärakenteessa kondensoituminen tapahtuu kovalle ja tarpeeksi kylmälle pinnalle. (Siikanen 2014, 72.) Kondensoituminen voi aiheuttaa seinärakenteen sisällä kosteusvaurioita. Kun tarkastellaan kondensoitumisen mahdollisuutta seinärakenteen sisällä, täytyy tietää lämpötilat seinän eri kohdissa. Lämpötilojen määrittämistä varten määritetään seinärakenteessa olevien materiaalien lämmönvastukset ja näiden avulla lämpötilan muutokset seinän eri kohdissa. Kun lämpötilat on määritetty, seinärakenteesta voidaan piirtää lämpötilakäyrä. Lämpötilakäyrältä voidaan tarkastella, missä kohtaa tietyllä ilman kosteuspitoisuudella on kondensoitumisen vaara. (Siikanen 2008, 139.)

### 4.4 CLT-levyn kosteuskäyttäytyminen

Puu sitoo ja luovuttaa kosteutta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden vaihdellessa, eli puu on hygroskooppinen materiaali. Puu pyrkii aina asettumaan tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Tasapainokosteus riippuu ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta, sekä lämpötilasta. Puulla voi mennä pitkäänkin saavuttaa tämä tasapainokosteus. Tämän takia etenkin massiivisten puutuotteiden kosteudenhallintaan pitäisi kiinnittää paljon huomiota. Ympäröivän ilman kosteuden noustessa puu sitoo ilmasta kosteutta, mikä saa puun turpoamaan. Vastaavasti ilmankosteuden pienentyessä puu luovuttaa kosteutta ja kutistuu. Mitä paksumpi puukappale on kyseessä, sitä enemmän se pystyy tasamaan kosteutta ja myös halkeilee vähemmän kosteuden vaihdellessa, mutta toisaalta sitoo enemmän kosteutta ja kestää pidempään kuivua (RT 82-10829 2004, 3). Puun ominaisuudet, kuten esimerkiksi kosteuseläminen, ovat erilaisia eri suunnissa. Syysuunnassa puu kutistuu/turpoaa huomattavasti vähemmän kosteuden vaihdellessa kuin syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. (Puuinfo 2020g.) CLT-levyn ristiinliimauksen ansiosta levyn kosteuseläminen on kaikkiin suuntiin hyvin vähäistä, mutta toisaalta levyyn tulee sisäisiä jännityksiä sekä pieniä halkeamia kosteuden vaihdellessa. Tämä on yksi syy, miksi CLT-levyn käyttö kosteudelle alttiissa rakenteissa ei ole aivan yksinkertaista.

CLT-levy on herkkä kastumiselle sen laminoituneen rakenteen ansiosta. Vesi imeytyy helposti syiden suuntaan (levyn päädyistä) mutta ei niin helposti syitä vastaan. Laminoitujen paneelien välisistä raoista voi myös imeytyä helposti vettä rakenteeseen. CLT-levyn kuivuminen kestää tavallista sahatavaraa kauemmin sen massiivisuuden takia. CLT-levyn kosteus tulisi standardien mukaan olla alle 19 % levyn joka kohdassa. Suositus on kuitenkin alle 16 % kosteus, 19 % sijaan. (Karacabeyli & Gagnon 2019 Chapter 10, 38–39.) CLT-levyn puuaines alkaa vahingoittumaan, kun puun sisäinen kosteus pysyy yli 20 %:ssa pidemmän aikaa. Levyn jäykkyys voi tutkimusten mukaan heikentyä, mikäli ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on yli 65 %. (Sadlowska-Salega & Was 2019, 2.) Kuvasta 4 huomataan, että esimerkiksi Ivalossa ulkoilman kosteus on lähes koko vuoden yli 65 %. Ulkoilman kosteudella voi siis olla huomattava merkitys suojaamattoman CLT-levyn kestävyydelle pidemmällä aikavälillä. Tässä pitää kuitenkin huomioida ulkoilman vesihöyrypitoisuus, eli lämpötila verrattuna ulkoilman suhteelliseen kosteuteen. Siikasen mukaan talvipakkasilla ulkona olevan puutavaran kosteuspitoisuus on noin 20 %, ja lämpimässä tilassa vastaavasti 6–8 % (Siikanen 2014, 206).

Vaakarakenteena CLT-levy kestää muutaman viikon altistumisen kosteudelle, jos se pääsee sen jälkeen kuivumaan. Usean kuukauden altistuminen kosteudelle ilman riittävää kuivumisen mahdollisuutta aiheuttaa riskin kosteusvaurioille. Pystyrakenteena CLT kestää huomattavasti paremmin kosteusrasitusta, kunhan levyjen päät suojataan hyvin. (Karacabeyli & Gagnon 2019 Chapter 10, 42.) Työteho-seuran (TTS), sekä usean muun tahon kanssa yhteistyönä toteutetussa PUUKET hankkeessa on tutkittu CLT-levyn käyttämistä pientalon runkomateriaalina ilman ulkoverhousa ja sisäpuolisia pintamateriaaleja. Hankkeessa CLT-levyjen ulkopinnat käsiteltiin rautasulfaattilla, minkä ansiosta pinnat harmaantuvat tasaisesti.



Kuva 10. PUUKET tutkimushankkeen CLT koepalat (Paloniitty 2018, 14)

Kyseisessä hankkeessa tehtiin myös säärasitustestejä pienille CLT kappaleille. Yhdessä testissä CLT kappaleet jätettiin marras-joulukuuksi ulos sateeseen, jota kuva 10 havainnollistaa. Testin tuloksena lamellikerrosten välisiin liimasaumoihin tuli pieniä rakoja ja koekappaleet harmaantuivat, kuten kuva 11 havainnollistaa.



Kuva 11. PUUKET tutkimushankkeen CLT koepalat säärasitustestin jälkeen (Paloniitty 2018, 15)

CLT:n hyvin suunniteltu rakenne ja materiaalinvalinta ovat avainasemassa, että saadaan valmistettua optimaalisia tuotteita. CLT-levyn lamellikerrosten paksuuden takia levy on altis kosteuden aiheuttamille muutoksille verrattuna muihin

massiivipuurakenteisiin. Puu kutistuu, kun se luovuttaa kosteutta ja laajenee, kun se vastaanottaa kosteutta. CLT-levyn liimasaumat estävät puun kosteuselämistä, varsinkin syrjäliimatussa CLT-levyssä. Jos puun kosteuselämisestä aiheutuva kutistuminen on estetty, niin kuin syrjäliimatussa CLT-levyssä on, puuhun aiheutuu jännityksiä ja se halkeilee helposti. CLT-levyssä ristikkäin liimattujen kerrosten kosteuseläminen on erisuuntaisten lamellien takia erilaista eri kerroksissa. Koska puu laajenee enemmän syysuuntaan kuin syysuuntaa vastaan, niin ristikkäin liimatuissa kerroksissa yksi kerros pyrkii laajenemaan enemmän levyn korkeussuuntaan ja toinen pyrkii laajenemaan enemmän levyn pituussuuntaan. Pituudenmuutosten ja levyn jännitysten suuruus riippuu muun muassa puulajista. (Karacabeyli & Gagnon 2019 Chapter 2, 9–10.)

#### 4.5 Puun pintakäsittely

Pintakäsittelyllä tarkoitetaan puun pinnalle esteettisyyden ja mahdollisesti tuotteen käyttöiän, huoltovälin ja käytettävyyden parantamisen takia lisättyjä aineita. Pintakäsittelyaineen tarkoitus on esimerkiksi suojata puun pintaa auringon säteilylly, sateen, sekä mekaanisen tai kemiallisen rasituksen aiheuttamalta kulumiselta. Mekaanista rasitusta voi olla esimerkiksi ihmisten tai esineiden kosketus tuotteen pintaan tai pinnan pesu. Kemiallista rasitusta puolestaan voi aiheutua esimerkiksi ilmansaasteista tai pintaan käytettävistä pesuaineista. Näkyvin tarkoitus pintakäsittelyllä on usein pinnan esteettisyyden ja ulkonäön muokkaaminen halutunlaiseksi. Kosteudenhallinnan suhteen pintakäsittelyllä on monessa tapauksessa kaksi päätehtävää: sen pitäisi vähentää kosteuden kulkeutumista rakenteeseen ja tasoittaa kosteuselämistä, mutta toisaalta pinta ei saisi olla täysin tiivis estäen rakenteeseen päässeen kosteuden haihtumista pois rakenteesta. Jansson huomauttaa, että rakenteisiin pääsee aina jotain kautta kosteutta, vaikka pintakäsittelyn avulla tuotteen pinta olisi tehty täysin tiiviiksi. (Jansson 2015, 38–40.) CLT-levylle tärkeä ominaisuus pintakäsittelyssä on erityisesti kosteuselämisen tasaaminen, koska CLT-levyn sisäiset jännitykset ja halkeamat johtuvat nimenomaan tuotteen kosteuselämisestä.

#### 4.6 Mikrorakennuksen ulkoseinään kohdistuva säärasitus

Käyttöluokkaan 3 kuuluvat rakenteet, jotka ovat alttiita muita käyttöluokkia suuremmalle kosteusrasitukselle (Luku 4.1). Ulkoseinässä säälle alttiissa CLT-levyssä ilmankosteus aiheuttaa kosteusrasitusta ja on täten merkittävä tekijä rakenteen käyttöiän ja toimivuuden näkökulmasta. Muita merkittäviä lähteitä seinärakenteen kosteusrasitukselle ovat sade ja seinään kiinnittyneen lumen tai jään sulaminen. Joissakin tilanteissa, esimerkiksi märkätiloissa tai vesiputkien vuotokohdissa, myös rakennuksen tai rakenteen sisältä tuleva kosteus voi aiheuttaa merkittävää kosteusrasitusta rakenteelle. Tässä työssä ei kuitenkaan tarkastella tällaisia tilanteita. Myöskään maanpinnasta mahdollisesti nousevaa kosteutta ei oteta tässä työssä huomioon, koska siirrettävän mikrorakennuksen oletetaan olevan irti maanpinnasta.

## 5 HAASTATTELUIDEN TOTEUTUS JA TULOKSET

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyötä varten tehtyjen teemahaastatteluiden tuloksia. Tätä varten haastateltiin viittä eri asiantuntijaa, joilla oli kokemusta tai tietämystä CLT-levystä, sen valmistuksesta ja käyttämisestä käyttöluokassa 3. Haastatteluiden tulokset on tiivistetty ja jaoteltu alla olevien otsikoiden alle. Haastateltavien anonyymiteetin säilyttämiseksi heistä käytetään nimityksiä H. 1.–H. 5., eli esimerkiksi ensimmäisestä haastateltavasta käytetään nimitystä H. 1..

### 5.1 Ilmaston vaikutukset

Suomen ja Lapin ilmaston vaikutuksesta CLT-levyn käyttöön käyttöluokassa 3 nousi haastatteluissa esiin sekä hyviä että huonoja puolia. Lapin ilmastoon liittyen mainittiin useampaan kertaan kuiva ilma. Lapissa ilma voi varsinkin talvipakkasilla olla hyvinkin kuiva. Kuivalla ilmalla on sekä positiivisia, että negatiivisia vaikutuksia CLT-rakenteeseen. Isoimpana asiana ilmastoon liittyen voisi haastatteluiden perusteella sanoa puun lahonkestävyyden. Lapin kuivassa ja kylmässä ilmastossa esiintyy vähemmän lahottajia, kuin etelän lämpimämmässä ja kosteammassa ilmastossa, jolloin säälle altis puurakenne ei myöskään lahoa yhtä helposti Lapissa. Yksi haastateltavista kuvailee asiaa näin:

”Siis pohjoisessahan on parempi rakentaa kuin etelässä. Pohjoisessa kun ei ole lahottajia juurikaan. Niin tavallaan pohjoisessahan puurakenteet säilyy paremmin kuin etelässä.” (H. 2.)

Kuivassa ilmassa on myös negatiivisia vaikutuksia CLT-rakenteelle, joskin niiden merkitys voidaan haastatteluiden perusteella olettaa olevan huomattavasti pienempi verrattuna positiivisiin vaikutuksiin. Negatiivinen vaikutus kuivalla ilmalla CLT-rakenteelle on levyjen halkeileminen. Halkeileminen johtuu CLT-levyissä lähinnä levyjen kuivumisesta, jolloin kuivassa ilmassa levy kuivuu enemmän ja täten myöskin halkeilee enemmän ja halkeamat voivat olla isompia. Tähän liittyen nousi esille myös koneellisen ilmanvaihdon ongelmat. Haastattelijoiden kokemusten perusteella koneellinen ilmanvaihto kuivattaa huoneilman usein liian kuivaksi, mikä taas CLT-rakenteella lisää levyjen halkeilua. Sellaisissa kohteissa,

missä on painovoimainen ilmanvaihto tai käytetään ilmankostutinta, ei vastaavaa ongelmaa koeta esiintyvän.

Pakkasella ei todettu olevan suoraan vaikutusta CLT-rakenteeseen. CLT-levy, niin kuin puurakenne ylipäätään on sen verran joustava materiaali, että rakenteen sisälle päässeiden vesihukkasten jäätyminen ei aiheuta betonirakenteista tuttua pakkasrapautumisilmiötä. Keväällä sulava lumi pitää kuitenkin ottaa huomioon, ettei puurakenteista seinää vasten ole korkeaa lumikasaa, joka sulaessaan aiheuttaa merkittävää kosteusrasitusta seinärakenteelle.

## 5.2 Detaljiikka ja CLT-levyn valmistuksessa huomioitavat asiat

Haastatteluissa detaljiikan osalta nousi esiin erityisesti CLT-levyjen väliset saumat. Tähän liittyen haastatteluissa mainittiin useamman kerran levyjen tippanokat, joiden kautta vesi ohjataan pois liitoskohdista. Useammalla haastateltavalla oli kokemusta CLT-levyn käytöstä lähinnä kerrostalorakentamisessa, jossa julkisivun detaljiikka korostuu erityisen paljon, kun CLT-levy on ulkopinnassa säälle alttiina. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan pientä mikrorakennusta, missä CLT-levyjen välisiä saumoja ja liitoksia on huomattavasti vähemmän kuin kerrostaloissa, jolloin detaljiikan ei tarvitse olla yhtä tarkkaan suunniteltua. Haastatteluiden perusteella voi kuitenkin todeta, että huolimatta rakennuksen koosta, liitokset ovat selvästi kriittisimpiä paikkoja yksiaineisessa CLT-seinärakenteessa, niin rakenteen toimivuuden, kuin ulkonäönkin kannalta. Lisäksi yksiaineisessa CLT-seinärakenteessa on otettava tarkemmin huomioon veden kulkeutuminen pois rakenteesta, kuin ”perinteisessä” ulkovuorauksellisessa CLT runkoisessa seinässä. Yksi haastateltavista kommentoi CLT-seinärakenteen detaljiikkaa seuraavalla tavalla:

”Eli detaljit on silleen mietitty että vesi ei mee saumasta sisään vaan siinä on tippanokkaratkaisut ja muut silleen että vesi oikeesti valuu pois sieltä saumasta.” (H. 1.)

Yksiaineisessa CLT-seinärakenteessa, missä CLT-levyn molemmat pinnat jäävät näkyviin, CLT-levyn valmistus ja työstöt ovat aivan eri luokkaa, kuin verhousmateriaalien ja eristeiden sisään jäävässä CLT-levyssä. Ensinnäkin CLT-levyn tulee

olla paksumpi, että sillä olisi edes jonkin verran lämmöneristävyttä. Toiseksi pintojen täytyy näyttää hyvältä ja yhtenäiseltä, myös saumakohdissa. Eli valmistuksessa pitää ottaa huomioon esimerkiksi, miten lamellit ladotaan levyyn, että saumakohdissakin rakenne näyttää yhtenäiseltä. Levyjen kiinnityskohdat siirtelyä varten pitää myös miettiä tarkasti, koska pintoja ei saa vahingoittaa. Levyjen hinonnan laatu on tärkeä seikka ulkonäön kannalta. Esimerkiksi jos levyn pintaan jää liimaläikkiä, mitkä ei heti käsittelyn jälkeen välttämättä näy, niin tällaiset kohdat aika nopeasti nousevat esiin, kun levyn pinta saa vähän UV-valoa. Tämän jälkeen pinta saattaa olla melko pahan näköinen. Levyn valmistuksen osalta täytyy muistaa, että yksiaineiseen seinärakenteeseen tuleva CLT-levy on käytännössä ihan eri tuote, kuin verhouksen sisään jäävä CLT-levy, kuten eräs haastateltavista toteaa seuraavalla tavalla:

”Kun puhutaan näkyvästä ulkokäyttöluokkaan tulevasta pinnasta niin se ei ole pelkästään se rakennusfysikaalinen toiminta, vaan se muuttaa koko sitä valmistamisen logiikkaa, ja se on tuotteena aivan eri kuin perinteinen tuote.” (H. 3.)

Yksi haastateltavista korosti CLT-levyn laadun yhteydessä sitä, että puun eläminen, pienet halkeamat ja esimerkiksi oksat ovat osa puuta ja ne tulisi hyväksyä, jos haluaa käyttää puuta rakentamisessa. Kyseinen kommentti kuuluu näin:

”Ja tavallaan näen sen itse niin että jos ja kun me tehdään puusta niin meidän pitää hyväksyä se materiaali, että se on elävä se materiaali ja se pitää hyväksyä, että se elää ja sinne saattaa tulla halkeamia.” (H. 1.)

### 5.3 Eri puulajien ja -tuotteiden käyttö CLT-levyssä

Suomalaiset CLT:n valmistajat käyttävät CLT:n valmistukseen yleensä kuusta tai mäntyä. Näkyvän pinnan laadulla toimitettavat CLT-levyt ovat lähes poikkeuksetta valmistettu kuusesta. Tämä johtuu siitä, että kuusi on koko poikkileikkauksen osalta tasalaatuisempaa ja säänkestävyydeltään huomattavasti männyn pinta puuta parempaa. Männyn sydänpuu olisi hyvää käyttöluokkaan 3, mutta sitä on hankala nykyään saada tarpeeksi CLT:n valmistukseen. Kuusen huonona puolenä nousi esille sen pehmeä pinta, minkä takia käsittelemätön kuusipinta kuluu

helposti säärasituksessa. Tilanteessa, jossa CLT-levy jää seinärakenteen sisään ja on säältä suojassa, ei ole juurikaan merkitystä käytetäänkö kuusta vai mäntyä. Suomalaisilla lehtipuilla on huono säänkestävyys ja lisäksi niitä ei normaalisti saa lujuusluokiteltuna. Yksi haastateltava toteaa kuusesta seuraavalla tavalla:

”Kuusi on vähän liian pehmeää pintakäsittelmättömänä mihin tahansa julkisivukäyttöön. Kuusi oikeastaan vaatii kunnan pintakäsittelyn sitten. Siinä mielessä sitten taas toimii kuusi ihan niin kuin muutkin verhouslaudat, jos se on pintakäsitelty.” (H. 2.)

Kuusi ja mänty on vakiintuneita materiaaleja CLT:n valmistuksessa lähinnä helpon saatavuuden, lujuusluokituksen, käsiteltävyyden ja kestävyuden takia. Kuusi ja mänty on yleisimmät puulajit mitä Suomesta saa lujuusluokiteltuna ja CLT-levy tarvitsee lujuusluokituksen, että sitä pystyy käyttämään kantavissa rakenteissa. Esimerkiksi tammi olisi säänkestävyyden osalta mäntyä ja kuusta huomattavasti parempaa, mutta siinä tulee ongelmaksi saatavuus ja käsiteltävyys. Tammi on hyvin kovaa puuta ja sen takia työläämpää työstää. Myös liimaus voi olla haasteellisempaa tammella verrattuna kuuseen tai mäntyyn. Lehtikuusi on myös säänkestävyydeltään kuusta ja mäntyä hieman parempaa ja sitä onkin käytetty jonkin verran CLT-levyjen uloimmissa lamellikerroksissa säälle alttiina olevissa rakenteissa. Lehtikuusen käyttöä rajoittaa Suomessa sen saatavuus varsinkin ympäristösertifikaatin omaavista lähteistä. Lehtikuusen muodonmuutokset kosteuden vaihdellessa ovat isompia kuin männyllä tai kuusella, jolloin lehtikuusesta tehdyt CLT-levyn lamellit ovat herkempiä halkeilemaan.

Kaikki erilaiset variaatiot, esimerkiksi eri puulajien käyttö vaatisi aina uuden sertifioinnin tuotteelle. Tämän ei pitäisi kuitenkaan olla kovinkaan työläs tai hankala prosessi, jos valmistajilla olisi haluja ja intressejä lähteä kehittämään erilaisia variaatioita CLT-levystä. Tällä hetkellä CLT-levyistä voi tehdä erilaisia variaatioita liimaamalla ensin kantavaksi rakenteeksi tulevan levyn vakioiduilla materiaaleilla, mihin on sertifikaatti. Tämän jälkeen levyn pintaan on mahdollista liimata tai kiinnittää jollain muulla tavalla eri puulajia tai esimerkiksi lämpökäsiteltyä mäntyä. Näitä kahta liimausta ei voi kuitenkaan tehdä yhdellä kertaa, koska silloin vakio tuotteelle haettu sertifikaatti ei koskisi kyseistä tuotetta ja se vaatisi uuden sertifikaatin. Haastateltavat korostivat tällaisten variaatioiden valmistuksessa tuotteen

korkeaa hintaa sekä tuotteesta saatavaa hyötyä. Tällainen kahdessa eri vaiheessa liimattu tuote on selvästi kalliimpaa kuin perinteinen CLT-levy. Lisäksi männystä tai kuusesta valmistettu massiivipuinen CLT-levy on todettu hyväksi ja toimivaksi konseptiksi. Haastateltavat myös korostivat, että CLT-levy on ensisijaisesti rakennustuote ja kehitetty kantaviin rakenteisiin, jolloin sen ei kuulukaan sopia hienotyöstöä vaativiin kohteisiin: esimerkiksi huonekaluihin.

Lämpökäsitelty puu olisi sellainen tuote, mitä käyttämällä voisi saada selvää lisähyötyä CLT-levyn käyttöön käyttöluokassa 3. Lämpökäsitelty mänty on säänkestävyydeltään huomattavasti käsittelemätöntä mäntylautaa parempaa ja pitäisi toimia myös liimauksen osalta hyvin. Tässäkin pitäisi kuitenkin huomioida tuotteen sertifiointi – lähdetäänkö hakemaan uutta sertifikaattia vai liimataanko lämpökäsiteltyä puuta erikseen valmiin CLT-levyn pintaan. Männyn lujuusluokitus ei myöskään koske lämpökäsiteltyjä tuotteita, mikä estäisi kokonaan lämpökäsittelystä puusta tehdyn CLT-levyn käytön kantavissa rakenteissa, ilman että tälle haettaisiin erikseen lujuusluokitusta. Paineekyllästetty puu olisi myös hyvin säänkestävää, mutta siinä pitäisi kiinnittää erityistä huomiota puun kuivaamiseen ja haastateltavien mielestä voisi olla vähän liioiteltua käyttää sitä CLT-levyssä. LVL puolestaan olisi huonosti säänkestävää, mutta voisi toimia hyvin tilanteissa, joissa leikkaus olisi rakennetta mitoittava tekijä. Käyttöluokassa 3 oleviin CLT-levyihin on tehty jonkin verran rimoituksia. Rimoitukset on yleensä naulattu valmiin levyn pintaan. Ne parantavat levyn säänkestävyyttä ja piilottavat levyn mahdollisia halkeamia. Eräs haastateltava kommentoi eri puutuotteiden käyttöä CLT-levyssä seuraavalla tavalla:

”Kyllä sanoisin että ihan näillä massiivipuukerroksilla on paras se kestävyys. Mutta joku tuommoinen lämpöpuu voi olla ihan hyvä lisäkerros, jos kotimaisista puulajeista pitää lähteä valitsemaan.” (H. 2.)

## 5.4 CLT mikrorakennuksessa käyttöluokassa 3

### 5.4.1 CLT-levyn kilpailukyky

Yksiaineinen CLT-seinärakenne on hyvin yksinkertainen ja usein myös kilpailukykyinen, mikäli huomioidaan myös kohteen rakentamisen työkustannukset.

CLT-levyn hinta määräytyy ja elää hyvin paljon puun raaka-ainehinnan mukaan. CLT-levy on materiaalina tällä hetkellä melko kallis. Joissakin tapauksissa tulee loppujen lopuksi halvemmaksi rakentaa CLT-runkoinen talo kuin rankarunkoinen. CLT-rakenteisessa talossa kustannuksia tulee itse materiaalista ja suunnittelusta enemmän kuin rankarunkoisessa. Talon rakentaminen CLT:stä on huomattavasti nopeampaa, varsinkin jos rakennetaan yksiaineinen, massiivipuinen seinä CLT:stä. Tällöin syntyy säästöä työkustannuksista ja talon pystytysaika lyhenee. CLT-levy sopii erityisesti pystyrunkoihin sen lujuusominaisuuksien ansiosta. Vaakarakenteissa CLT ei ole yhtä kilpailukykyinen ja toimiva ratkaisu kuin pystyrakenteissa. Kattorakenteet on siis usein kannattavampi tehdä ristikkorakenteena. CLT-levy on parhaimmillaan vaativissa pystyrakenteissa. CLT-rakenteessa ei esimerkiksi ole paljoa rajoitteita aukotuksen suhteen.

#### 5.4.2 CLT-levyn paksuus

Mikäli CLT-levyä käytetään kantavana rakenteena seinässä eristeen ja verhouksen kanssa, on levy usein 80 mm paksuinen. Yksiaineisessa seinärakenteessa levyn pitää kuitenkin lämmöneristävyyden takia olla huomattavasti paksumpi, mikäli kyseessä on lämmin rakennus. Mikrorakennuksessa yksiaineisen CLT-seinärakenteen suositeltava paksuus riippuu paljon rakennuksen lämmitystarpeesta. Mikäli rakennusta pidetään pääasiassa kylmillään ja lämmitetään aina silloin tällöin, niin 100 mm paksuinen CLT-levy voisi olla riittävän paksu. Jos taas rakennus olisi koko ajan lämmin, voisi 200 mm paksuinen CLT-levy olla parempi vaihtoehto.

Lämmön- ja ääneneristävyydessä CLT ei pärjää perinteiselle rankarunkoiselle seinärakenteelle, missä on eristevillat. Melualueilla yksiaineinen CLT-seinä ei välttämättä täytä desibelivaatimuksia ja vaatii esimerkiksi sisäpintaan jotain lisää, että sen käyttö voitaisiin hyväksyä. Lämmöneristävyyden osalta CLT-rakenteisella seinällä voidaan hyödyntää massiivipuun energiahuojennus, jolloin U-arvovaatimus ei ole yhtä tiukka. Lämmöneristävyys ja joissain tapauksissa myös ääneneristävyys ovat määrittävät tekijät CLT-levyn paksuudelle yksiaineisessa seinärakenteessa. Lisäksi käyttöluokassa 3 CLT-levyn paksuudessa pitää huomioida, että pari ulointa lamellikerrosta olisi varattu ”uhrikerroksiksi”. Useampi haastateltavista kuitenkin huomauttaa, että ikkunoiden pinta-ala ja ala- ja yläpohjan

lämmöneristävyys ovat paljon ratkaisevampia rakennuksen energiatehokkuuden kannalta, kuin seinärakenteen lämmöneristävyys. Seinärakenteen pinta-ala, mi- hin ei huomioida ovi- ja ikkuna-aukkojen pinta-alaa on usein helposti alle puolet rakennuksen ulkovaipan pinta-alasta, kuten yksi haastateltavista toteaa:

”Aina on huomioitava se että ala-, yläpohja ja ikkunapinnat tai auk- kujen pinnat on helposti jopa 70% koko luovuttavasta pinnasta. Että sen itse seinärakenteen U-arvolla ei nyt oikeasti ole ihan hirveän iso merkitys, jos se on 30% koko rakennuksen kaikesta luovuttavasta pinnasta.” (H. 4.)

#### 5.4.3 Suojakäsittely

CLT-levyille tehdään usein jonkinlainen suojakäsittely, mikäli niitä käytetään käyt- töluokassa 3. Suunnittelija määrittelee, millä tuotteella CLT-levyn suojakäsittely toteutetaan. Käsittelemätön puupinta voi olla osa rakennuksen arkkitehtuuria, jol- loin arkkitehti on päättänyt, että tuote saa harmaantua ulkopinnasta. Tällöin pitää huomioida, että harmaantuminen on epätasaista varsinkin eri ilmansuuntiin ole- villa julkisivuilla keskenään erilaisten säärasitusten takia. Esimerkiksi pientalo- puolella tilaaja voi kaavamääräysten rajoissa vaikuttaa suojakäsittelyyn ja halu- tessaan jättää sen kokonaan pois. Suojakäsittelyä voidaan tehdä monenlaisilla eri tuotteilla. Pientalopuolella monet tilaajat, jotka tilaavat CLT-rakenteisen puu- talon, ovat hyvin puumyönteisiä ja haluavat jättää näkyviin mahdollisimman pal- jon luonnollista puupintaa. Tällöin suojakäsittely voidaan tehdä esimerkiksi rau- tavihtrilliseoksella, jolloin levyn ulkonäkö ei juurikaan muutu, mutta levy harmaan- tuu tasaisemmin kuin käsittelemätön levy.

Suojakäsittelyssä on haasteena saada kaikkiin rakoihin ja saumoihin käsittelyai- netta. Etenkin levyn päätyjen käsittelyyn tulisi kiinnittää huomiota, vaikka ne jäi- sivätkin toista levyä vasten. Saumojen suojakäsittelyssä tulisi olla limitystä sau- masta löytyvään saumamassaan tai tiivisteeseen asti. Tällöin suojakäsittely suo- jaisi mahdollisimman hyvin levyä kosteuden imeytymiseltä. Lähtökohtaisesti le- vyjen suojakäsittely pidentää levyjen huoltoväliä ja mahdollisesti myös käyt- töikää. Levy kuitenkin toimii rakenteellisesti hyvin myös ilman suojakäsittelyä, mutta ulkopinnassa sääälle alttiin käsittelemättömän levyn ulkonäkö voi muuttua

melko paljon ja epätasaisesti säärasituksen takia. Sellaista käsittelyainetta ei löydy markkinoilta, millä saisi CLT:lle virallisen hyväksynnän käyttöluokkaan 3. CLT-levyn suojakäsittely ei usein juurikaan eroa tavallisen seinäpaneelin suoja-käsittelystä. Yksi haastateltavista kuvaa tätä seuraavalla tavalla:

”Tietenkin itellä kun sitä on miettiny niin vaikutus on ihan sama kuin jättääkö seinäpaneelin maalaamatta vai ei” (H. 5).

Yksiaineisessa CLT-seinärakenteessa sisäpinta jätetään hyvin harvoin käsittelemättä. Puupinta kellastuu herkästi auringon vaikutuksesta sisäpinnoissa. Tämäkin voi olla hyvin epätasaista riippuen siitä, miten aurinko paistaa sisätiloihin. Ulkona tapahtuvat pilkkuuntuminen ja harmaantuminen eivät niinkään ole ongelma sisäpinnoissa, mutta epätasaisesti kellastunut puu ei ole sitä, mitä asiakkaat haluavat. Suojakäsittely esimerkiksi saumoissa ei ole sisäpinnoissa yhtä tarkkaa, kuin ulkopinnoissa, koska sisäpinnoille ei tule samanlaista kosteusrasitusta kuin ulkopinnoille esimerkiksi sateella.

#### 5.4.4 CLT-levyn käyttöikä

Puun käyttöikä on lähes ikuinen, mikäli sitä suojataan säärasitukselta ja kosteusrasitukselta. Yksiaineisena seinärakenteena CLT-levylle kohdistuu säärasitusta, jolloin sen ulkopinnalle ei anneta valmistajalta minkäänlaista visuaalista takuuta. Kantavalle rungolle laskennallinen käyttöikä on normaalisti 50 vuotta, mikä koskee myös yksiaineista CLT-seinärakennetta. Hankkeessa, missä käytetään CLT-levyä käyttöluokassa 3, on tärkeää ymmärtää tilaajan vastuu julkisivun käyttöäälle. Julkisivun kestävydestä on voitu sanoa, että kyllä se 20 vuotta kestää, mutta valmistaja ei kuitenkaan tällaiselle anna mitään takuuta. Tämä on hyvä huomioida varsinkin sopimuksissa. Suojakäsittely CLT-levylle tulisi uusua 5–10 vuoden välein.

Seinärakenteissa käytetään nykyään eniten pystysuuntaista lamellia ulkopinnoissa. Vaakasuuntaista lamellia on myös käytetty aikaisemmin jonkin verran, mutta niissä vesi jää helpommin seisomaan rakoihin ja halkeamiin, jolloin se myös imeytyy helpommin levyyn. Tämä taas lisää levyn halkeilua ja rispaantumista. Pystysuuntainen lamelli on ulkopinnassa parempi kuin vaakasuuntainen,

koska siinä vesi on helpompi ohjata valumaan alaspäin ja lopulta pois levystä tippanokkien kautta.

Siirreltävissä mikrorakennuksessa seinärakenteen käyttöikä ei ole yhtä oleellinen asia, kuin esimerkiksi kerrostaloissa. Pienessä rakennuksessa seinän CLT-levyt on helppo vaihtaa tarvittaessa kokonaan uusiin tai sitten lisätä ulkopintaan ulkoeristys. Myös suojakäsittely on helpompi tehdä pieneen rakennukseen, kuin kerrostalon julkisivuun. Pienessä rakennuksessa on myös vähän levyjen liitoskohtia ja saumoja, mitkä ovat kriittisimpiä paikkoja kosteuden imeytymisen ja myös visuaalisuuden kannalta. Kaikki haastateltavista olivatkin sitä mieltä, että yksiaineinen CLT-seinärakenne olisi hyvä ratkaisu pieneen, siirreltävään rakennukseen. Rakennuksen kylmänä pitäminen, ja välillä lämmittäminen ei olisi tämmöiselle yksiaineiselle CLT-seinärakenteelle mikään ongelma itse rakenteen kannalta.

## 5.5 CLT-rakenteen kosteustekninen toiminta

Puu on hygroskooppinen materiaali, mikä tarkoittaa, että se luovuttaa ja vastaanottaa kosteutta. Puhutaan myös hengittävästä rakenteesta, mikä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että kosteus menisi levystä läpi. Ulkopuolisen kosteusrasituksen aiheuttamana kosteus imeytyy yleensä CLT-levyissä vain levyn pintaosiin ja kuivuu siitä pois ympäröivän ilmankosteuden laskiessa. CLT-levyn liimasaumat ovat myös vesihöyryä läpäiseviä, mutta kuitenkin vastaavan paksuista puukerrosta tiiviimpiä. Yksiaineinen CLT-seinärakenne ei tarvitse höyrynsulkua, koska kosteuden ei pitäisi missään tapauksessa mennä levystä läpi. Yhden haastateltavan kommentti CLT-levyn vesihöyrynläpäisevyydestä kuuluu näin:

”Käytännössähan se kosteus ei varmaan koskaan mene läpi siitä [levystä]. Koska se puu sitoo niin järjettömän määrän kosteutta, että ei se koskaan pääse läpi asti siitä.” (H. 4.)

Tilanne, missä CLT-levy on kahden tiiviin kerroksen välissä, ja väliin pääsee kosteutta, on erittäin huono rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Tällöin CLT-levyyn imeytyy kosteutta ja levy kuivuu erittäin huonosti tiiviiden kerrosten takia. Yksiaineinen CLT-seinärakenne puolestaan pääsee kuivumaan molempiin suuntiin ja kestää ihan eri tavalla kosteusrasitusta. Tällaisessakin rakenteessa

tulisi kuitenkin huolehtia, ettei vesi pääse rakojen tai saumojen kautta kulkeutumaan rakenteen sisälle, tai jos pääsee niin sillä olisi myös reitti, mitä pitkin valua pois sieltä.

### 5.5.1 Halkeamat

Ensimmäisten vuosien aikana CLT-rakenne elää jonkin verran. Tämä johtuu lähinnä levyn kuivumisesta. Kuivuessaan levyn lamellit kutistuvat, mikä aiheuttaa levyyn sisäisiä jännityksiä. Tämä voi puolestaan aiheuttaa pauketta ja halkeamia levyyn. CLT-levyn eläminen vähenee huomattavasti muutaman vuoden jälkeen, kun levy on kuivunut tasapainokosteuteen. Tätä halkeilua ja elämistä voi vähentää valmistusvaiheen laadunvalvonnalla; kuivataan puutavara tarpeeksi hyvin ja panostetaan laaduntarkkailuun. Liian kosteasta puusta valmistettu CLT-levy halkeilee hyvin herkästi. Lisäksi pintalamellin paksuus vaikuttaa halkeilemiseen. Yhden haastateltavan kokemuksen mukaan ohuemmalla pintalamellilla halkeamat ovat pienempiä ja pinta siistimmän näköinen

CLT-levy halkeilee eniten kuivassa ilmassa. Halkeilemista voi hallita valmistusvaiheen laadunhallinnan lisäksi esimerkiksi urittamalla CLT-levyn pintaa. Tällöin halkeamat ohjautuvat uriin ja niitä myös tulee hieman vähemmän riippuen urien muodosta ja syvyydestä. Lisäksi halkeilemista voi vähentää sisätiloissa säätelemällä ilmankosteutta. Yhden haastateltavan kokemus on, että koneellinen ilmanvaihto kuivattaa huoneilman usein liian kuivaksi, jolloin CLT-levy halkeilee huomattavasti herkemmin. Kyseisen haastateltavan kommentti asiasta kuuluu näin:

”Koneellinen ilmanvaihto kuivattaa ilman liian kuivaksi. Semmoisessa kohteessa missä on painovoimainen ilmanvaihto, tai jopa jätetään kylmäksi, eli tämmöiset mökkiratkaisut tai saunat tai muut, tai sitten on käytetty ilmankostutinta erikseen, niin niissä sisäpinnatkin on ihan virheettömiä. Että ei siellä ole käytännössä halkeamia ollenkaan.” (H. 4.)

Käyttöluokassa 3 olevalle CLT-levylle halkeamat ovat lähinnä ulkonäköseikka, ja niitä voi piilottaa ja parantaa levyn ulkonäköä esimerkiksi urituksella tai naulamalla levyn pintaan rimoja. Käyttöluokassa 3 olevalle CLT-levylle on yleensä las-

kettu pari ulointa lamellikerrosta ”uhrikerroksiksi”, jotka suojaavat sisempiä, rakenteellisia lamellikerroksia. Halkeamat tapahtuvat pääosin näissä uloimmissa lamellikerroksissa, mikä toisaalta helpottaa veden imeytymistä levyyn, mutta toisaalta ei kuitenkaan suoraan vaikuta rakenteellisiin lamellikerroksiin. Lisäksi CLT-levyissä kuormien ei ajatella siirtyvän ollenkaan lamellikerroksissa lamellien leveyssuunnassa. Koska puun halkeamat ovat pystysuuntaisia, niin pienet halkeamat eivät vaikuta merkittävästi lamellien pystysuuntaiseen jäykkyyteen. Syrjäliimaamattomassa CLT-levyissä syrjästään liimaamattomien lamellien saumat vaikuttavat käytännössä samalla tavalla levyyn kuin halkeamat. Halkeamien kautta veden imeytyminen levyyn voi pidemmällä aikavälillä heikentää levyä ja lyhentää sen käyttöikää. Toisaalta kostealla ilmalla CLT-levyn halkeamat menevät umpeen puun turpoamisen takia. Yksi haastateltavista perustelee seuraavalla tavalla sitä, että halkeamat eivät vaikuta levyn lujuusominaisuuksiin:

”Ne [halkeamat] on kuitenkin paikallisia, pieniä. Että eihän se, jos ajatellaan että meillä on seinärakenne, niin eihän se koskaan halkea kaikki 4 tai 5 lamellia samasta kohtaa ja pitkästi kerrallaan.” (H. 1.)

## 5.6 CLT-levy käyttöluokassa 3

CLT-levyllä ei ole virallista hyväksyntää käyttöluokkaan 3, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että jos tilaaja haluaa yksiaineisen massiivipuuseinän, missä on CLT-levy ulkopinnassa ilman suojaverhousia, niin CLT:n valmistaja ei myönnä tuotteelleen tämmöisessä kohteessa visuaalista takuuta. Rakenteellisen takuun tilaaja saattaa myöntää, vaikka CLT-levy olisi ulkopinnassa säälle alttiina jopa ilman suojakäsittelyä. Eli valmistajat kyllä luottavat siihen, että rakenne kestää sille kohdistuvat kuormitukset, mutta säärasituksen takia pinta saattaa mennä huonon näköiseksi ja tämä visuaalinen puoli jää tilaajan vastuulle. Usein käyttöluokassa 3 käytettävässä CLT-levyissä sisemmät lamellikerrokset on laskettu kantavaksi eli rakenteelliseksi osaksi levyä ja pari ulointa lamellikerrosta on ”uhrikerroksia”, jotka suojaavat kantavia lamellikerroksia säärasitukselta. Yksi haastateltavista kuvailee 50 vuoden teknistä käyttöikää kantavalle CLT-rungolle seuraavalla tavalla:

”Kantava runko on 50 vuotta, mutta se että se käsittää sen kantavan rungon. Että se ulkopuoli on sitten vähän niin, että sille ei oikein semmoisia perusteita ole, muuta kuin kauniita lupauksia että kyllä se ainakin 20 vuotta kestää ja saattaa kestää pitempään jos se hyvin hoidetaan.” (H. 5.)

Monilla liimapuutuotteilla ja esimerkiksi kaikilla hirsituotteilla on hyväksytty käyttöluokka 3. Painumaton hirsi on hyvin samankaltainen tuote kuin CLT. Joillakin valmistajilla painumaton hirsi on sahattu valmiista CLT-levystä ja tällaisellakin tuotteella on hyväksyntä käyttöluokkaan 3. Suurin este CLT:n hyväksyntään käyttöluokkaan 3 lienee siis lähinnä tutkimuksen puute. Yksi haastateltava huomauttaa, että vaikka valmistajat eivät lupaa tuotteelleen käyttöluokkaa 3, niin se ei tarkoita sitä, etteikö tuotetta voitaisi käyttää kyseisessä käyttöluokassa. CLT-levy onkin käytetty jo pientalopuolella joitain vuosia käyttöluokassa 3 ja vastikään Jyväskylään on valmistunut Suomen ensimmäinen kerrostalokohde, missä on CLT-seinärakenne käyttöluokassa 3.

### 5.7 CLT-levyn liimaustapa ja liima

Suomessa CLT-levyjä valmistetaan sekä syrjäliimattuna että syrjäliimaamattomana. Erot näiden kahden välillä ovat lähinnä visuaalisia, joskin syrjäliimattu levy on hieman tiiviimpi kuin syrjäliimamaton. Yksiaineisessa massiivipuuseinässä CLT-levyt ovat kuitenkin oletusarvoisesti sen verran paksuja, että rakenne on hyvin tiivis riippumatta pintalamellien halkeilusta tai saumojen aukeamisesta. Kuvuessaan syrjäliimaamattoman levyn saumat saattavat hieman aueta. Syrjäliimatussa levyssä saumat pysyvät liimauksen ansiosta kiinni, mutta tämän takia levy puolestaan halkeilee helpommin kuin syrjäliimaamaton. Työstöjen osalta syrjäliimattu levy on huolettomampi. Syrjäliimaamattomassa levyssä täytyy miettiä, ettei työstöt tule sellaisiin kohtiin, että sen takia repeytyisi työstön ja sauman välistä palanen pois, koska lamelli ei ole syrjästä kiinni levyssä.

Liimana CLT-levyissä on hyvin yleisesti käytetty PUR-liimaa. Samaa liimaa käytetään monissa eri liimapuutuotteissa ja liimapuulla löytyy hyväksyntä käyttöluokkaan 3. Liiman ei siis pitäisi olla mikään este käyttöluokalle 3. CLT-levyissä käytetään

tettävällä PUR-liimalla on M1-luokitus, joka kertoo tuotteen ympäristöystävällisyydestä ja päästöttömyydestä. Yksi haastateltavista perustelee polyuretaanin ympäristöystävällisyyttä ja päästöttömyyttä seuraavalla tavalla:

”Polyuretaani materiaalina on semmoinen mitä käytetään tosi monessa paikassa, auton penkeissä ja kojelaudoissa esimerkiksi. Eli itessään se materiaali ei varmasti aiheuta allergioita tai muita ongelmia.” (H. 1.)

CLT-levyjen liimakerrokset ovat vesihöyryä läpäiseviä, vaikkakin tiiviimpiä kuin puu. Eräs haastateltavista toteaa CLT-levyn liimasauman tiiveydestä seuraavalla tavalla:

”Mulla on semmoinen mielikuva, kun sitä on joskus esitelty, että se liimasauma vastaa, olisiko noin 10–12 mm puuta vesihöyrynläpäisevyydeltään. Eli on se tiiviimpi mitä puu, mutta kuitenkin läpäisee aika hyvinkin.” (H. 4.)

PUR-liiman huonona puolena on sen kuumankesto. Tämä asia tulee esille palomitoituksessa. Kun ensimmäinen lamellikerros on hiiltynyt ja lämpötila nousee lamellien välisessä liimakerroksessa tarpeeksi suureksi, PUR-liima menettää liimausominaisuutensa ja hiiltynyt lamellikerros lähtee irti. Ilmiötä kutsutaan delaminoitumiseksi ja se poistaa hiiltyneen lamellikerroksen suojavaikutuksen taaempiin lamellikerroksiin palotilanteessa. Haastateltavat olivat melko yksimielisiä siitä, että liimasauma kestää hyvin aikaa ja rasitusta CLT-levyssä. Yhdellä haastateltavista oli omakohtaista kokemusta, kun hänellä oli jäänyt CLT-levyjä pihalle ilman säänsuojaa pidemmäksi aikaa. Levyjä pilkkoessa pienemmiksi palasiksi oli puu antanut periksi ennen liimasaumoja.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin CLT-levyn käyttöön mikrorakennuksen ulkoseinärakenteena käyttöluokassa 3. Työn tavoite oli saada lisätietoa mahdollisuuksista CLT-levyn käyttöön käyttöluokassa 3 Lapin ilmasto-olosuhteissa. Tätä varten työssä on perehdytty Suomen ja Lapin ilmastoon ja sen vaikutukseen massiivipuiseen ulkoseinärakenteeseen. Työssä tutkittiin myös optimaalisinta tuotetta ja puulajia CLT-levyn valmistukseen sekä suojakäsittelyn vaikutusta CLT-levyn käyttöikään sekä visuaalisuuteen.

### 6.1 CLT-levyn valmistusmateriaalit

Tämän opinnäytetyön haastatteluiden perusteella voidaan todeta, että optimaalisimmat tuotteet CLT-levyn valmistukseen tällä hetkellä Suomessa ovat lujuusluokiteltu männystä tai kuusesta valmistettu sahapuutavara. Tätä puolta erityisesti näiden hyvä saatavuus sekä halpa hinta. Kyseisille tuotteille löytyy myös valmistajilta sertifikaatit sekä valmis lujuusluokitus (Tuotesertifikaatti 2019). Suomessa tällä hetkellä valmistettavissa CLT-levyissä rakenteelliset kerrokset ovat kyseisten syiden takia kuusta tai mäntyä. Luvussa 3.4 todetaan, että näiden rakenteellisten kerrosten päälle on saatavana myös eri puulajeja tai pidemmälle käsiteltyjä puutuotteita, kuten esimerkiksi lämpökäsiteltyä mäntyä (CLT-suunnittelun ohje, 17). Haastatteluissa kuitenkin todetaan, että rakenteellisten kerrosten päälle liimattavat erilliset kerrokset lisäävät tuotteen valmistusaikaa sekä hintaa merkittävästi. Sertifiointin takia eri tuotteita ei myöskään voi liimata samalla liimauskerralla, eikä esimerkiksi lämpökäsiteltyä mäntyä käyttää rakenteellisissa kerroksissa.

Uusien CLT-tuotteiden sertifiointi ei haastatteluiden perusteella olisi kovinkaan hankalaa tai työlästä. Luvussa 3.5.1 todetaan puun lämpökäsittelyn eduksi käsittelemätöntä puuta pienempi kosteuseläminen ja vastaavasti haittapuoleksi liimaus- ja lujuusominaisuuksien heikkeneminen (Jämsä & Viitaniemi 1996, 37, 39–40; Räsänen 2015, 15, 27–36). Paineekyllästetyn puun etuna puolestaan mainitaan luvussa 3.5.2 hyvä lahonkestävyys ja haittapuolena tai huomioitavina asioina kiinnikkeiden haponkestovaatimus sekä kyllästetyn puun kosteus (Puuinfo

2020b). Haastateltavien näkemyksen mukaan kilpailukykyisin CLT-levy on Suomessa valmistettu männystä, mikäli levyn pinta jää seinärakenteen sisään piiloon, ja kuusesta silloin kun levy valmistetaan näkyvän pinnan laadulla. Lämpökäsitellyllä puulla saisi parannettua tuotteen säänkestävyyttä, mutta tämä nostaisi tuotteen hintaa sekä saattaisi heikentää levyn lujuusominaisuuksia verrattuna sahapuutavarasta valmistettuun levyyn. Myös painekyllästetyllä puulla saisi lisättyä CLT-levyn säänkestävyyttä, mutta sen käyttäminen CLT-levyssä olisi haastateltavien mielestä liioittelua. Saksassa on kehitetty viilupuuta sisältävä CLT-levy (Luku 3.5.3). Kyseistä CLT-levyä markkinoidaan paremmalla ilmatiiveydellä ja rakenteellisesti lujempuna kuin perinteinen CLT-levy. (LENO Cross Laminated Timber (CLT) 2019, 14.) Viilupuuta mainostetaan yleisesti hyvillä lujuusominaisuuksilla ja pienellä omapainolla (Puuproffa). Haastatteluissa puolestaan nousi esiin viilupuun huono säänkestävyys. CLT-levyn keskimmäisten lamellikerrosten korvaaminen viilupuulla on osoitus siitä, että CLT-levystä voidaan tehdä vielä pidemmälle kehitettyjä tuotteita. Joissakin tilanteissa ja käyttötarkoituksissa viilupuun käyttö tuonee CLT-levylle lisäarvoa ja kilpailuvalttia, mutta nähtäväksi jää kuinka paljon vastaavanlaiset tuotteet yleistyvät vuosien saatossa.

Muiden puulajien osalta tässä työssä tarkasteltiin lehtikuusta ja tammea. Suomalaiset lehtipuut jätettiin tarkastelun ulkopuolelle niiden huonon säänkestävyyden takia. Lehtikuusen lahonkestävyys vaihtelee kasvupaikan ja lajikkeen mukaan. Yleisesti lehtikuusta pidetään hyvin lahonkestävänä ja käytetään esimerkiksi ulkoverhouksissa pintakäsittelemättömänä. Ongelmaksi lehtikuusella CLT-levyn raaka-aineena muodostuu sen voimakas kosteuseläminen, mikä aiheuttaa CLT-levyssä halkeamia. Tammen pintapuun sanotaan olevan rakentamiseen käyttökelvotonta, mutta sydänpuun puolestaan hyvin lahon- ja kosteudenkestävää. Vastaavasti kuin lehtikuusella, myös tammen kosteuseläminen on hyvin voimakasta ja puuaines kovaa. (Siikanen 2008, 40, 37.) Haastatteluissa todetaan, että tammea on hyvin hankalaa saada enää suuria määriä, koska lähes kaikki Euroopan tammimetsät on hakattu ja käytetty rakentamiseen jo paljon aikaisemmin. Lehtikuusta puolestaan on saatavilla esimerkiksi Siperiasta, mutta sille ei välttämättä saa ympäristösertifikaatteja, koska muualta tuotuna sen alkuperä ja kasvulosuhteet ovat usein hämärän peitossa.

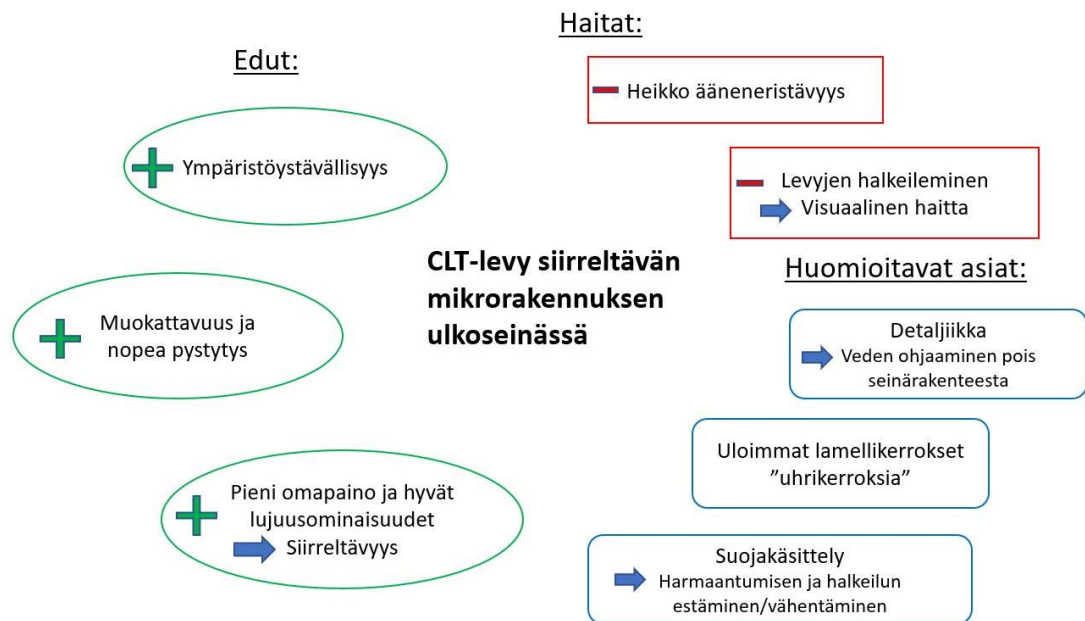
Liimana CLT:ssä käytetään formaldehydivapaata PUR-liima (Lähtenmäki 2017, 13). Yksi haastateltavista toteaa, että PUR-liimaa käytetään myös monissa muissa liimapuutuotteissa sekä esimerkiksi auton sisustuksessa. PUR-liimalla on mahdollista saada CLT-levylle M1-päästöluokitus. Esimerkiksi HOISKO:lla on M1 päästöluokitus heidän CLT-levylleen (Rakennusmateriaalien päästöluokitus 2021). Muitakin liimoja olisi mahdollista käyttää CLT:n valmistukseen, mutta PUR-liima on todettu hyväksi ja turvalliseksi vaihtoehdoksi. PUR-liiman heikkous on sen huono kuumankesto, minkä takia se menettää palotilanteessa helposti liimausominaisuutensa (Lähtenmäki 2017, 13).

## 6.2 CLT-levy mikrorakennuksen ulkoseinämaterialina käyttöluokassa 3

Haastatteluiden perusteella voidaan todeta, että CLT:n käyttö käyttöluokassa 3 on kiinni lähinnä siitä, mitä tilaaja haluaa ja minkälaista riskiä se on valmis ottamaan rakenteen visuaalisuudesta. CLT:n saaminen yleisesti käyttöluokkaan 3 vaatisi todennäköisesti useamman tahon yhteistyöllä tekemän tutkimushankkeen, missä osoitettaisiin tuotteen sopivuus käyttöluokkaan 3. Tällä hetkellä käyttöluokassa 3 käytettävälle CLT:lle tulisi laskea pari ulointa lamellikerrosta uhrikerroksiksi ja miettiä detailointi siten, että vesi pääsee aina valumaan pois rakenteesta. CLT-levyn tulisi olla myös tarpeeksi paksu, että siitä on varaa jättää pari ulointa kerrosta uhrikerroksiksi. Lisäksi oikeanlaisella suojakäsittelyllä voisi ehkäistä CLT-levyn ulkopinnan epätasaista harmaantumista ja rispaantumista säärasituksen takia. Suojakäsittelyn lisäksi CLT-levyn pinnan visuaalisuutta voisi parantaa ja halkeilua vähentää tai piilottaa halkeamia esimerkiksi naulaamalla rimoitusta CLT-levyn pintaan tai urittamalla CLT-levyä.

Rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa tulee haastatteluiden perusteella kiinnittää erityistä huomiota CLT-levyjen saumakohtiin, niiden suojakäsittelyyn sekä detailjiikkaan. CLT-levyn heikko ääneneristävyys tulee myös huomioida rakennuksen suunnittelussa. Haastateltavien näkemys oli, että mikrorakennukseen yksiaineiseksi seinärakenteeksi tuleva CLT-levy voisi olla noin 100 mm paksuinen, mikäli rakennus olisi pääasiassa kylmillään. Lämpimässä rakennuksessa levyn paksuus puolestaan olisi hyvä olla lähempänä 200 mm lämmöneristävyyden takia. Pienellä jännevälillä olevaan kattorakenteeseen CLT-levy voisi olla var-

teenotettava vaihtoehto, mutta kovin pitkillä jänneväleillä CLT-levy ei ole kilpailukykyinen vaakarakenteena. Lämmöneristävyyden takia erityisesti kattoon tulisi laittaa eristettä, riippumatta siitä miten kattorakenne toteutettaisiin. Sillä, onko levy syrjäliimattu vai syrjäliimaamaton, ei haastatteluiden perusteella koettu olevan juurikaan merkitystä rakenteen toimivuuteen, ja myös ulkonäköön melko vähän. Haastateltavat kokivat CLT-levyn olevan todella hyvä vaihtoehto pieneen, siirreltävään mikrorakennukseen seinärakenteeksi. CLT-levyn etuja olisi erityisesti muokattavuus, nopea pystytysaikataulu rakennukselle, ympäristöystävällisyys sekä rakennuksen siirreltävyys pienen painon ja hyvien lujuusominaisuuksien ansiosta. Yksiaineisena seinämateriaalina CLT-levyn heikkouksiksi puolestaan voidaan todeta heikko ääneneristävyys ja levyjen halkeilemisen aiheuttama visuaalinen haitta. CLT-levyn etuja ja haittoja sekä huomioitavia asioita mikrorakennuksen ulkoseinärakenteena on koottu kuvassa 12.



Kuva 12. CLT-levyn edut ja haitat seinärakenteena

Lapin ilmaston koettiin haastatteluissa sopivan hyvin CLT-levylle käyttöluokkaan 3. Lapin ilmaston erityispiirteitä ovat talven kuiva ilma, sekä talven takia lahottajien vähäinen määrä. Siikanen toteaa kirjassaan "Rakennusfysiikka", että mikrobit eivät kasva alle +0 °C lämpötiloissa (Siikanen 2014, 79). Lahottajien vähäisyyden ansiosta puurakenteet säilyvät Lapissa pidempään hyväkuntoisina. Kuivalla ilmalla on puolestaan sekä hyviä että huonoja vaikutuksia massiivipuurakenteille.

Kuivan ilman ansiosta myös rakenteet säilyvät kuivempina. Toisaalta CLT-levy halkeilee juuri kuivuessaan, kun puuaines kutistuu. Haastatteluissa CLT-levyn mahdollisten halkeamien todettiin olevan käytännössä aina sen verran pieniä ja paikallisia, että niistä aiheutuu vain visuaalista haittaa, eivätkä ne ole rakennetta heikentävä tekijä. Toisaalta halkeamien kautta vesi ja kosteus pääsevät helpommin imeytymään rakenteen sisään, mikä puolestaan saattaa lisätä levyn kosteuselämistä sekä pidemmällä aikavälillä luoda edellytyksiä rakennetta heikentäville biologisille tekijöille, kuten esimerkiksi lahottajille. Yhteenvetona voisi todeta, että Lapin kuivassa ja kylmässä ilmastossa puurakenteet ovat turvassa lahottajilta ja tämän takia niiden pitkälle käyttöiälle on hyvät edellytykset, mutta halkeamia esiintyy herkästi kuivan ilman takia.

## 7 POHDINTA

Otsikoinnin osalta aihe oli mielestäni rajattu sopivan kokoiseksi, mutta tavoitteet minulla olivat siitä huolimatta liian väljät ja muotoituivat vasta työn edetessä hieman tarkemmaksi. Tämä hankaloitti välillä aiheen ja tekstin rajausta. Lopputuloksena rajauksen osalta voin todeta, että aiheen rajaus olisi voinut olla hieman suppeampi ja selkeämmin rajattu. Tämä olisi mahdollistanut tarkemman perehtymisen haluttuihin aiheisiin, esimerkiksi eri puulajeihin, tai CLT-levyn pinnalle tehtäviin toimenpiteisiin, kuten esimerkiksi uritukseen. Koen että tämä opinnäytetyö tuotti hyvin tietoa CLT-levyn eduista, haitoista sekä huomioitavista asioista, kun levy on mikrorakennuksen ulkoseinässä yksiaineisena seinärakenteena ja vastasi täten asettamiini tavoitteisiin. Eri puulajeihin tutustuminen jäi tässä työssä vähäiseksi aiheen laajuuden vuoksi. Tässä työssä nousi esille useita jatkotutkimuksen aiheita. Näitä ovat esimerkiksi eri puulajien tai -tuotteiden käyttö CLT-levyssä, CLT-levyn detaljiikka pientalorakentamisessa sekä käyttöluokassa 3 olevan CLT-levyn pinnan rimoitus tai uritus.

### 7.1 Haastatteluiden tulokset

Haastattelut olivat pääosin onnistuneet ja niistä sai paljon tähän työhön soveltuvaa tietoa. Yksi työn aiheista oli eri puulajien ja -tuotteiden soveltuvuus CLT-levyyn, mikä on seinärakenteessa käyttöluokassa 3. Haastateltavat nostivat tästä aiheesta esille lähinnä erilaisten variaatioiden hankaluudet sertifiointin ja valmistuksen osalta. Kommentit siitä, miten erilaiset variaatiot toimisivat rakenteellisesti sekä kosteusteknisesti kyseisessä rakenteessa jäivät lähinnä vain oletuksiksi. Haastateltavaksi olisi ollut hyvä saada vielä yksi tähän asiaan erityisesti perehtynyt asiantuntija. Tämä asia nousi kuitenkin esille vasta haastattelujen loppuvaiheessa. Haastateltavilta sai selkeitä mielipiteitä ja myös hyviä perusteluita siitä, että CLT-rakenne olisi hyvä vaihtoehto pieneen mikrorakennukseen. Haastattelut tuottivat paljon ainutlaatuista sisältöä ja ilman niitä tämä opinnäytetyö olisi jäänyt paljon suppeammaksi.

## 7.2 Työn eettisyys ja luotettavuus

Koen tämän opinnäytetyön aiheen hyvin ajankohtaiseksi ja tarpeelliseksi Suomen rakennusteollisuuden sekä koko yhteiskunnan kannalta. Haastatteluiden ansiosta työhön sai tuoretta ja ainutlaatuista asiantuntijoiden näkökulmaa aiheesta. Haastattelut on toteutettu haastateltavien anonymiteetti säilyttäen, ja lisäksi on annettu tilaa haastateltavien omille mielipiteille. Lähestyin haasteltavia aluksi puhelimitse ja kysyin heidän suostumustaan haastatteluun. Kaikki haastateltavat ovat aikuisia alan asiantuntijoita ja osallistuminen on ollut täysin vapaaehtoista. Haastateltavat saivat sähköpostin kautta ennakkoon haastattelun aiheet sekä tekemäni apukysymykset ja tarkennukset luettavaksi. Itse haastattelut on toteutettu haasteltavien toivoman aikataulun mukaan. Haastattelut on tallennettu asianmukaisesti ja haastatteluiden referointi on ollut totuudenmukaista.

Haastatteluiden tuloksia tutkiessa pitää muistaa, että niissä on pitkälti kyse yksittäisten, CLT:n parissa työskentelevien asiantuntijoiden mielipiteistä. Haastatteluiden tuloksissa ja kirjallisuuskatsauksena tehdyssä teoriaosuudessa ei kuitenkaan ollut isoja ristiriitoja, mikä osaltaan lisää tämän opinnäytetyön luotettavuutta. Lisäksi haastateltavat työskentelivät eri puolilla Suomea erilaisissa työpaikoissa ja eri työtehtävissä. Tästä huolimatta haastateltavilla oli monen asian suhteen hyvin yhtenäinen linja, mikä myös lisää haastatteluiden tulosten luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta. Koen, että kirjallisuuskatsauksessa käytettäviä lähteitä oli riittävästi ja ne olivat tarpeeksi monipuolisia sekä luotettavia. Erityisesti Puuinfon sivuilta löytyi paljon lähteitä tähän työhön. Puuinfo.fi -sivusto on puualan kaikille avoin sivusto, minne on kerätty tietoa ja ohjeita puun käytöstä, puutuotteista sekä erilaisista rakenneratkaisuista puutuotteille (Puuinfo 2021).

## LÄHTEET

Bobadilha, G. S. 2020. Evaluation of coatings used for prolonging the durability of cross-laminated timber against weathering and wood decay fungi. Mississippi State University. Sustainable Bioproducts. Candidate for Degree of Doctor of Philosophy.

Calcus. CLT-levy tuo merkittäviä rakennusteknisiä etuja. Viitattu 2.3.2021 <https://news.calcus.com/clt-levy/>.

CLT by Stora Enso. Technical brochure. Stora Enso. Viitattu 15.3.2021 <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf?mode=brochure#page=1>.

CLT-suunnittelun ohje. Crosslam. Viitattu 24.2.2021 <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/clt-suunnittelun-ohje.pdf>.

CrossLam 2007. CLT-levyn valmistus. Liimaominaisuudet. Viitattu 8.8.2021 <https://www.crosslam.fi/tuotteet/valmistus.html>.

CrossLam 2015. CLT-levyn ominaisuudet. Tuoteominaisuudet. Viitattu 15.3.2021 <https://www.crosslam.fi/tuotteet/crosslam-levy-ja-sen-ominaisuudet.html>.

CrossLam 2020. Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin. Viitattu 26.8.2021. <https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/syrjaliimaamaton-clt-paras-suomen-olosuhteisiin.html>.

Fagerstedt, K., Pellinen, K., Saranpää, P. & Timonen, T. 2004. Mikä puu – mistä puusta. Helsinki: Helsingin yliopisto.

Gagnon, S. & Karacabeyli, E. 2019. Canadian CLT Handbook 2019 edition. Pointe-Claire, QC: FPInnovations. E-kirja.

Hoisko 2018. Materiaalipankki. HOISKO CLT -levyn perustiedot. Viitattu 15.3.2021 <https://hoisko.fi/clt/materiaalipankki/>.

Häkkinen, T., Vainio, T. & Vares, S. 2017. Rakentamisen hiilivarasto. Asiakasraportti. Espoo: VTT.

Jansson, E. 2015. CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa. Kemin tekniikan korkeakoulu. Puunjalostustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

Jämsä, J. 2014. Rakenteellinen paloturvallisuus rakennussuunnittelussa. Pelastusopisto. Viitattu 22.3.2021 [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/koulutus-ja-esitysaineistot/2015/041115\\_rakenteellinen-paloturvallisuus-suunnittelussa.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/koulutus-ja-esitysaineistot/2015/041115_rakenteellinen-paloturvallisuus-suunnittelussa.pdf).

Jämsä, S. & Viitaniemi, P. 1996. Puun modifiointi lämpökäsittelyllä. Espoo: VTT.

Laine, K. 2010. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

LENO Cross Laminated Timber (CLT). 2019. Züblin-timber. Viitattu 11.3.2021 [https://www.zueblin-timber.com/fileadmin/downloads/ZUEBLIN\\_Timber\\_LENO\\_Brettsperholz\\_2019\\_EN.pdf](https://www.zueblin-timber.com/fileadmin/downloads/ZUEBLIN_Timber_LENO_Brettsperholz_2019_EN.pdf).

Liimapuukäsikirja osa 1. 2014. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry. E-kirja.

Lähteenmäki, J. 2017. CLT-elementin soveltaminen pientalon vaipparakenteessa sekä yläpohjassa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö.

Paloniitty, S. 2018. PUUKET Puurakentamisen kehittäminen ja tuotteistaminen. CLT Rakenteiden tuotteistaminen ja rakennusfysikaaliset tutkimukset – loppuraportti 30.6.2018. TTS. Tutkimusraportti.

Paloturvallinen puutalo 2021. Asuin- ja toimitilarakentaminen. Helsinki: Puuinfo. E-kirja.

Puu 2019a. Suomalaista puuarkkitehtuuria ja rakentamista. 1/19. Helsinki: Puuinfo.

Puu 2019b. Suomalaista puuarkkitehtuuria ja rakentamista. 3/19. Helsinki: Puuinfo.

Puuinfo 2020a. Puurakenteiden pitkäaikaiskestävyys. Viitattu 2.3.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/puurakenteiden-pitkaaikaistestavyys/>.

Puuinfo 2020b. Paineekyllästetty sahatavara. Viitattu 2.3.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/painekyllastetty-sahatavara/>.

Puuinfo 2020c. Monikerroslevy (CLT). Viitattu 2.3.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/insinorituotteet/monikerroslevy-clt/>.

Puuinfo 2020d. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Viitattu 3.3.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/>.

Puuinfo 2020e. Lämpökäsitelty puu. Viitattu 5.3.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/lampokasitelty-puutavara/>.

Puuinfo 2020f. Materiaalivaihtoehdot. Viitattu 22.3.2021 <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/materiaalivaihtoehdot/>.

Puuinfo 2020g. Puun kosteuskäyttäytyminen. Viitattu 22.3.2021 <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>.

Puuinfo 2021. Puuinfon toiminta. Viitattu 25.8.2021. <https://puuinfo.fi/puuinfo-oy/puuinfon-toiminta-ja-palvelut/>.

Puuproffa. Kertopuu. Viitattu 25.7.2021. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-jalostaminen/kertopuu/>.

Pursiainen, T. 2018. Suhteellinen ilmankosteus. Kosteusmittaus FI. Viitattu 11.3.2021 <https://kosteus-mittaus.fi/suhteellinen-ilmankosteus/>.

Rakennusmateriaalien päästöluokitus 2021. Hoisko. Viitattu 21.8.2021 <https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2021/05/CLT-Finland-Oy-HOISKO-CLT-M1-tuotehyvaksynta.pdf>.

Rautiainen, E. 2018. CLT-käyttöopas pienrakentajille ja suunnittelijoille. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Opinnäytetyö.

RIL 205-1-2017 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 82-10829 2004. Puujulkisivut. Ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö RTS.

Räsänen, V. 2015. Lämpökäsittelyn vaikutus puun liimattavuuteen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Puutekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Sadlowska-Salega, A. & Was, K. 2019. Risk of Moisture in Diffusionally Open Roofs with Cross-Laminated Timber for Northern Coastal Climates. Viitattu 3.3.2021 <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/1/10/htm>.

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto.

The CLT Handbook 2019. CLT structures – facts and planning. Tukholma: Swedish wood. E-kirja.

Tuotesertifikaatti 2019. Crosslam. Viitattu 21.8.2021. <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/tuotehyvaksynta.pdf>.

Valintaesitys 2020. Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelma. CoolBox hanke. Viitattu 5.2.2021 <http://lapinliitto.oncloudos.com/kokous/2020534-7-1.PDF>.

Vinha, J. 2008. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmassa. Tampereen teknillinen yliopisto. Powerpoint esitys. Viitattu 26.8.2021. <https://slideplayer.fi/slide/1897311/>.

Vuolas 2018. Viitattu 10.9.2021. <https://vuolas.villas/>.

Weather & climate 2021. Climate in Ivalo (Lapland), Finland. Viitattu 29.5.2021 <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,Ivalo,Finland>.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 12.12.2017/848.

Züblin Timber. Cross Laminated Timber – LENO. Viitattu 26.8.2021.  
<https://www.zueblin-timber.com/en/services-products/zueblin-timber-building-elements/cross-laminated-timber-leno.html>.

## LIITTEET

Liite 1. Haastatteluiden teemat

## Liite 1

## Haastatteluiden teemat

1. Kokemuksia suunnittelusta/toteutuksesta CLT käyttöluokassa 3?
  - Mitä piti huomioida, kun CLT:tä käytetään käyttöluokassa 3?
2. Pohjoisen ilmaston vaikutukset suunnitteluun ja toteutukseen CLT-levylle käyttöluokassa 3.
  - Suomen tai tarkemmin säävyöhykkeen IV (Lappi) ilmasto.
3. Puulajien ominaisuudet ja niiden vaikutukset CLT-levyyn käyttöluokassa 3.
  - Mitkä eri puulajien ominaisuudet vaikuttavat eniten CLT-levyn ominaisuuksiin ja sen käyttöön käyttöluokassa 3?
  - Paras puulaji CLT-levyn kantaviin kerrokseen, tai levyn ulkopintaan, varsinkin jos levyn uloimmat lamellikerrokset uhrataan säänsuojaksi?
  - Näkemyksiä esim. kertopuun, lämpökäsitellyn puun tai painekyllästetyn puun käytöstä CLT-levyssä?
4. CLT-levyn liiman ja liimaustavan vaikutukset ja soveltuvuus käyttöluokkaan 3.
5. Suojakäsittelyn vaikutus CLT-levyyn käyttöluokassa 3.