



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **CLT:N EDUT JA HAASTEET SUOMALAISESSA KERROSTALORAKENTAMISESSA**

Pinja Vähäkangas

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Kandidaatintyö

Marraskuu 2023

# TIIVISTELMÄ

CLT:n edut ja haasteet suomalaisessa kerrostalorakentamisessa

Pinja Vähäkangas

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 39 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Hannu Lahtinen

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on perehtyä CLT:n ominaisuuksiin rakennusmateriaalina ja arvioida sen soveltuvuutta suomalaiseen kerrostalorakentamiseen. Kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jossa keskitytään erityisesti selvittämään CLT:n etuja ja haasteita kerrostalon runkomateriaalina. Lisäksi työssä käydään yleisesti läpi suomalaisen puukerrostalorakentamisen historiaa ja pohditaan sen tulevaisuuden näkymiä.

Suomessa betonielementtirakentaminen on jo pitkään näyttänyt suuntaa kerrostalojen rakentamisprosesseissa. Tämän seurauksena standardit sekä muut lainsäädännöt ovat tukeneet pääsääntöisesti teräs- ja betonirakentamista, mikä on johtanut siihen, että rakennusalalla puurakentamisen kehittämiseksi ei ole juurikaan ollut jalansijaa. Kuitenkin viime vuosien aikana asetetut ympäristötavoitteet sekä yleinen kasvava tietoisuus ekologisuudesta ovat pakottaneet myös rakennusala muuttamaan vakiintuneita rakentamiskäytäntöjä.

CLT on betonia ja terästä ekologisempi vaihtoehto kerrostalojen runkomateriaaliksi. CLT:n käytössä kerrostalorakentamisessa on paljon muitakin etuja, kuten kerrostalon nopea pystyttämisenopeus, CLT-levyn keveys ja jäykkyys sekä sen toimivuus samanaikaisesti kantavana rakenteena ja valmiina sisäpintana. Puulla on myös tutkitusti positiivinen vaikutus terveyteen ja rakennuksen sisäilmaan. CLT tuo materiaalina kuitenkin haasteita paloturvallisuuteen sekä kerrostalon akustiikkaan. Sen valtavirtaistamista estää myös kysynnän ja tuotannon välille syntynyt pullonkaula, joka luo epävarmuutta niin tilaajille kuin toimijoille.

*Asiasanat: CLT, CLT-levy, CLT-kerrostalo, Puukerrostalo*

# ABSTRACT

Advantages and challenges of CLT in Finnish apartment building construction

Pinja Vähäkangas

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis 2023, 39 pp.

Supervisor at the university: Hannu Lahtinen

The goal of this bachelor's thesis is to analyze the properties of CLT as a building material and evaluate its suitability for Finnish apartment building construction. The bachelor's thesis has been implemented as a literature review, which focuses on finding out the advantages and challenges of CLT as the frame material of an apartment building. The thesis also reviews generally the history and considers prospects of Finnish wooden apartment building construction.

In Finland, concrete construction has shown for long the direction in the construction processes of apartment buildings. As a result, standards and other legislation have mainly supported steel and concrete construction, which has led to the fact that the development of wooden construction has hardly gained ground in the construction field. However, the environmental goals set in recent years and the general growing awareness of ecology have also forced the construction industry to change the established construction practices.

CLT is an ecological alternative as a frame material for apartment buildings. There are also many other advantages in CLT apartment building construction as the fast erection speed of the apartment building using element technology, the lightness and stiffness of the CLT element, and its functionality as a load-bearing structure and a finished interior surface at the same time. Wood has also been scientifically proven to have a positive effect on health and indoor air of the building. However, as a building material, CLT brings challenges to fire safety and the acoustics design of an apartment building. Its mainstreaming is also prevented by the bottleneck created between demand and production, which creates uncertainty for customers as well as producers.

*Keywords: CLT, CLT element, CLT apartment building, Wooden apartment building*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
2 PUUKERROSTALOT SUOMESSA .....	6
2.1 Historia.....	6
2.2 Nykytila ja tulevaisuuden näkymät.....	8
3 CLT (CROSS LAMINATED TIMBER).....	11
3.1 Yleistä tietoa materiaalista .....	11
3.2 Valmistus.....	12
4 CLT:N OMINAISUUDET.....	14
4.1 Rakenne- ja lujuusominaisuudet .....	14
4.2 Palotekniset ominaisuudet.....	15
4.3 Kosteuskäyttäytyminen ja höyrynsulku .....	16
4.4 Lämpötekniset ominaisuudet .....	17
4.5 Äänitekniset ominaisuudet .....	18
5 HAASTEET CLT-KERROSTALORAKENTAMISESSA.....	19
5.1 Rakennesuunnittelu .....	19
5.2 Paloturvallisuus .....	19
5.3 Akustiikka .....	20
5.4 Kosteudenhallinta ja työmaalogistiikka .....	21
5.5 Kysynnän ja tuotannon epävarmuus .....	23
6 EDUT CLT-KERROSTALORAKENTAMISESSA.....	26
6.1 Ekologisuus .....	26
6.2 Esivalmistus ja nopea työmaa-asennus .....	27
6.3 Arkkitehtuurilliset mahdollisuudet ja visuaalisuus .....	28
6.4 Sisäilma ja terveystvaikutukset .....	29
7 YHTEENVETO .....	32
LÄHDELUETTELO.....	34

# 1 JOHDANTO

Tällä hetkellä Suomen rakennusala ohjaavat voimakkaasti kaupungistuminen ja kestävän kehityksen trendit. Kaupungistuminen tarkoittaa ihmisten kasvavaa kiinnostusta asua urbaaneissa ympäristöissä, lähellä tärkeitä palveluja. Kaupunkimaisissa ympäristöissä asuntorakentaminen on keskittynyt erityisesti kerrostalojen rakentamiseen. Suomalaisessa kerrostalorakentamisessa betoni on pitänyt yllä kovaa suosiota jo 1960-luvulta asti, jolloin rakentamisen teollistumisessa koettiin läpimurto. Tällä hetkellä kasvava ympäristötietoisuus on kuitenkin nostanut puukerrostalojen rakentamisen jälleen pinnalle uudistuneiden palomääräysten ja erilaisten puurakentamisen ohjaushankkeiden avulla.

Yhä useammassa rakennettavissa puukerrostaloissa hyödynnetään CLT:tä kantavana rakenteena, varsinkin tilaelementtitekniikalla rakentaessa. CLT tarkoittaa massiivipuutuotetta, jossa lamellikerroksia on liimattu kohtisuorasti toisiinsa nähden. Tämä moderni ja innovatiivinen rakennusmateriaali mahdollistaa kuivan ja pitkälti tehtaassa esivalmistetun rakentamistavan, joka nopeuttaa työmaa-aikaista rakentamista ja sen seurauksena luo kilpailukykyä rakennusaikaisiin kustannuksiin. Suomessa CLT-tekniikkaa on edistänyt pitkälti Stora Enso, mutta tällä hetkellä CLT-levyjä valmistaa Suomessa paikallisesti useampi yritys.

Verrattuna betonirakentamiseen, CLT-kerrostalorakentamisen suunnitteluun ja kilpailukykyyn liittyy edelleen haasteita. Suomessa ei ole vielä vakiintuneita käytäntöjä CLT-kerrostalojen rakenneratkaisuihin tai koko rakennusprojektin hallintaan. Ongelman ratkaisemiseksi tarvitaan yhteistyötä kaikkien hankkeeseen osallistuvien tahojen kesken, jotta osaaminen ja käytännöt saataisiin vakinaistettua puukerrostalorakentamisessa.

Tämän kandidaatintyön päätavoitteena on käsitellä CLT-kerrostalorakentamisen tuomia etuja ja haasteita erityisesti suomalaisen rakentamisen näkökulmasta. CLT-kerrostalorakentamiseen liittyy joitain samankaltaisia ominaisuuksia kuin muuhunkin puukerrostalorakentamiseen. Tästä syystä työssä käsitellään myös yleisesti puukerrostalorakentamisen historiaa sekä tulevaisuuden näkymiä.

## 2 PUUKERROSTALOT SUOMESSA

### 2.1 Historia

Suomessa puuta on ollut aina helposti saatavilla, joten sen käyttö on ollut yleistä rakentamisessa kautta historian. Tämä näkyy erityisesti pientalorakentamisessa sekä historiassa että nykypäivänä. Puukerrostaloja alettiin rakentamaan 1800-luvulla kaupungistumisen seurauksena. Tällöin Suomeen muodostui puukaupunkeja, joita on säilynyt tähän päivään asti kaupunkitulipaloista ja purkuvimmoista huolimatta. Toisen maailmansodan jälkeen puurakentaminen väheni huomattavasti rakentamisen voimakkaan teollistumisen myötä. Suurin este puurakentamisen kehitykselle ovat olleet tiukat palomääräykset, jotka kielsivät Suomessa yli kaksikerroksisten tai yli seitsemän metriä korkeiden puurakennuksien rakentamisen. Puuta ei voinut myöskään käyttää pääasiallisena julkisivumateriaalina, joten 1900-luvulla kerrostalot olivatkin pääsääntöisesti kivitaloja. (Rakennustieto 2006, s. 84; Viljakainen 1997, s. 28–29)

Luvulta 1990 uuden vuosituhanen alkuun asti Suomen rakennusalalla koettiin suuria muutoksia. 1990-luvun alussa yhteiskunnassa vallitsi lama, jonka aikana rakentaminen koki huomattavan notkahduksen. Lisääntyvän ympäristötietoisuuden, kehittyvän metsäteollisuuden ja muuttuvien rakennussäädösten vuoksi laman jälkeen puurakentaminen pyrittiin nostamaan uudelleen pintaan. Suomen valtiolta sitoutui kehittämään puurakentamista ja sen edistämiseksi aloitettiin useita toimintaohjelmia 1990-luvulla. Suurin muutos puurakentamisessa tapahtui, kun Suomi liittyi Euroopan Unioniin vuonna 1995. Sen myötä rakennusmääräyksiin tehtiin muutoksia, erityisesti palomääräyksiin, sillä EU:n jäsenmaiden rakentamista pyrittiin yhtenäistämään. (Karjalainen 2002, s.19–20)

Euroopan Unioniin liittymisen jälkeen Suomessa aloitettiin Puurakentamisen teknologiaohjelma, joka ajoitettiin vuosille 1995–1998. Tämän ohjelman nimissä käynnistyi kolme koerakennushanketta. Hankkeiden tarkoituksena oli kehittää puurakentamista ja sen suunnittelua sekä testata aikaisempien tutkimusten- ja kehittämistöiden tuloksia. Näissä koerakennushankkeissa rakennettiin puukerrostaloryhmät vuonna 1996 Ylöjärvelle, 1997 Helsingin Viikkiin sekä Oulun Kaijoharjuun. Puurakentamisen teknologiaohjelman koehankkeiden jälkeen Suomeen

rakennettiin muutamia puukerrostaloja, jotka olivat luonteeltaan koerakennusluontoisia, sillä ne oli rakennettu tai aloitettu rakentamaan poikkeusluvalla ennen uusien palomääräyksien voimaantuloa, tai ne olivat rakennuttajien ja urakoitsijoiden mukaan taloudellisesti kyseenalaisia. (Karjalainen 2002, s. 39, 105)

Koerakennushankkeiden hyvien kokemusten myötä Ympäristöministeriö julkaisi uudet paloturvallisuusmääräykset- ja ohjeet 7.2.1997 ja ne astuivat virallisesti voimaan 1.9.1997 (Karjalainen 2002, s.134). Uusien määräysten ja ohjeiden myötä puun käyttö tuli taulukkomitoituksessa aiempaa laajemmin mahdolliseksi rakennusten rungoissa ja sitä voitiin käyttää julkisivuissa jopa nelikerroksisiin rakennuksiin. (Tolppanen ym. 2013, s. 17)

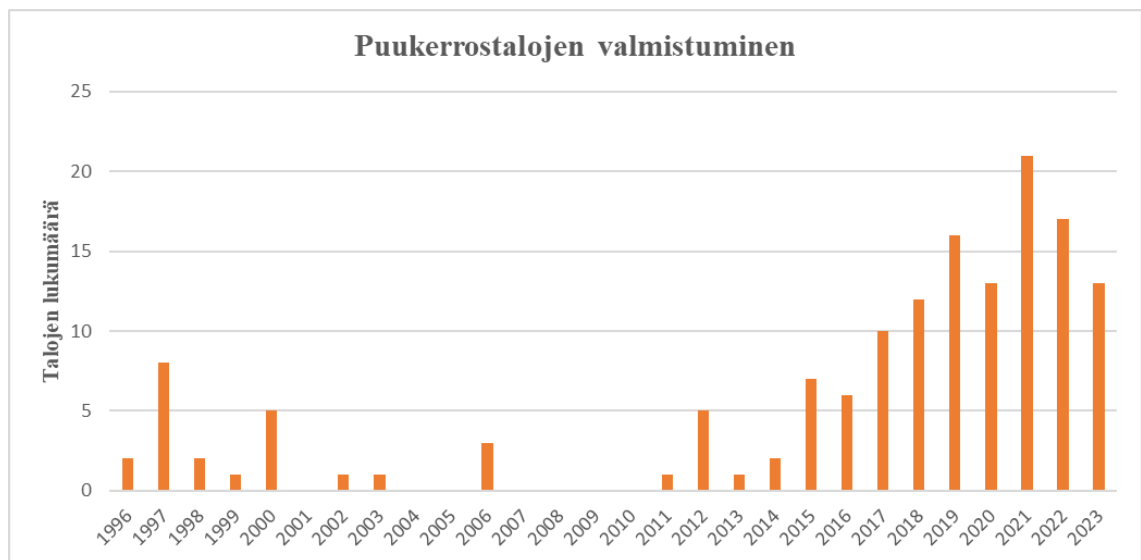
2000-luvun puolivälissä puurakentamisen kehittäminen hiipui merkittävästi, sillä teollista läpimurtoa ei ollut vielä tapahtunut. Vuonna 2009 Suomi alkoi jälleen kehittämään puukerrostalorakentamista. Tähän vaikutti merkittävästi Ruotsin myönteiset kokemukset sekä suomalaisten metsäyhtiöiden kiinnostus kehittää puurakentamisen järjestelmiä ja teollistumista. Innostus eteni vauhdilla, kun huomattiin puukerrostalorakentamisen nopeus ja sen avulla saavutettava kilpailukyky. (Tolppanen ym. 2013, s.19)

Vuonna 2011 palomääräyksiä uudistettiin, jonka seurauksena puu sai tasavertaisemman aseman rakennusmateriaalina. Uudistusten myötä puukerrostalojen palotekninen suunnittelu helpottui ja Suomessa oli nyt mahdollista rakentaa enintään kahdeksankerroksisia puurunkoisia kerrostaloja. Ympäristöarvojen ja ekologisuuden merkityksen kasvu sai sekä viranomaiset että rakennuttajat kiinnostumaan puusta aivan uudella tavalla. Median tuoma näkyvyys puurakentamista kohtaan lisäsi myös hankkeiden uskottavuutta ja yleistä kiinnostusta puurakentamista kohtaan. (Tolppanen ym. 2013, s.19)

Palomääräyksiä uudistettiin jälleen vuonna 2018. Määräysten rakenteellinen paloturvallisuustaso säilytettiin, mutta muutoksia tehtiin säännöksiin ja tulkintoja vähennettiin. Viimeisimmät palomääräykset astuivat voimaan 1.1.2021. Muutoksia tuli pääsääntöisesti rakennuksen alapohjan ja sisäpuolisen suojaverhouksen paloturvallisuusmääräyksiin (Puuinfo 2021a).

## 2.2 Nykytila ja tulevaisuuden näkymät

Suomessa on lokakuun 2023 loppuun mennessä rakennettu yhteensä 146 vähintään kolmikerroksista puukerrostaloa, joiden kantavarunko on toteutettu pääosin puusta (Puuinfo 2023a). Puukerrostalojen määrä on ollut kasvussa erityisesti vuoden 2018 palomääräysten uudistamisen jälkeen. Viimeisten vuosien aikana valmistuvien puukerrostalojen määrissä on havaittavissa laskua maailmanlaajuisten kriisien seurauksena. (Kuva 1) Vaikka puukerrostalohankkeita on varsinkin vuoden 2022 jälkeen tilastollisesti vähemmän, puukerrostaloasuntojen määrä ja kerrosala on hienoisessa kasvussa (Ympäristöministeriö 2022).



Kuva 1. Kaavio valmistuneista puukerrostaloista (Mukaihen Puuinfo 2023a).

Puukerrostalorakentamisen vähenemiseen on useampia syitä. Yleisesti katsottuna rakennusala on kohdannut viime vuosien aikana useampia ulkoisia haasteita. Vuonna 2020 alkanut koronavirüs aiheutti nopean taloustaantumän, jonka seurauksena rakennuslalla on vallinnut yleinen epävarmuus. Epävarmuuden vuoksi rakennuttajat ja rakennusyhtiöt keskittyvät mieluummin tuttuun ja turvalliseen kuin lähtevät kehittämään kustannuksiltaan riskialttiimpia hankkeita, kuten puukerrostalohankkeita. Rakennuskustannukset ovat olleet myös nousussa vuoden 2020 jälkeen. Syinä kustannuksien nousulle on koronavirüs jälkeiset rakentamisinvestoinnit sekä helmikuussa 2022 alkanut Ukrainan sota, joka aiheutti energiakriisin sekä puutavaran tuonnin lakkautumisen Venäjältä Suomeen. Puutavaran ja muiden rakennusmateriaalien vaihtelevat hinnat ja huono saatavuus vaikeuttavat puukerrostalorakentamisen



kustannuksien ennustettavuutta ja hankkeiden etenemistä. Rakennusmateriaalien tuotantokustannusten palautumista aikaisemmalle tasolle on vaikea ennustaa, mutta niiden ei ainakaan odoteta madaltuvan Ukrainan sodan ollessa käynnissä. (Demos Helsinki 2023, s. 3–4)

Puurakentamista on pyritty lisäämään käynnissä olevalla Ympäristöministeriön tukiohjelmalla, joka ajoittuu vuodesta 2016 vuoden 2023 loppuun. Ohjelmassa pyritään erityisesti lisäämään puun käyttöä kaupunkirakentamisessa, julkisessa rakentamisessa ja isoissa puurakenteissa. Keskeisenä tavoitteena on tehdä Suomessa puun käytöstä luontevaa rakentamisessa sekä saada alalle kilpailukykyistä yritystoimintaa. Ohjelma on jaettu useampaan osioon. Vuosina 2016–2018 tarkoituksena oli lisätä puun käyttöä kaupunkirakentamisessa ja isoissa rakenteissa. Vuosina 2018–2019 jatkettiin puun käytön lisäämistä isoissa rakenteissa, mutta pyrittiin myös kasvattamaan puurakentamisen alueellista osaamista. Vuosina 2020–2023 pyritään edistämään puun käyttöä julkisessa rakentamisessa, jatkamaan alueellisen osaamisen kehittämistä sekä tukemaan puurakentamisen osaamisen ja tuotteiden vientiä. Puurakentamisen tukiohjelman rinnalla on toiminut myös Kasvua ja kehitystä puusta -tukiohjelma vuosina 2018–2022. Tämän tukiohjelman tarkoituksena oli edistää puun käyttöä tukemalla erilaisia tutkimus- ja kehityshankkeita. (Ympäristöministeriö)

Suomen hiilineutraalisuustavoite vuodelle 2035 sekä kasvava ilmastokriisi pakottaa tulevaisuudessa myös rakennusalaan muuttamaan suuntaansa vähäpäästöisempiin valintoihin. Suomessa rakennukset ja rakentaminen kattaa noin kolmanneksen kasvihuonepäästöistä, joista rakennusmateriaalit aiheuttavat yli puolet rakentamisen ilmastopäästöistä. Rakentamisesta syntyviin kasvihuonepäästöihin pyritään tulevaisuudessa vaikuttamaan myös lainasäädännön kautta. Helmikuussa 2023 eduskunta hyväksyi lain, jonka mukaan rakennuksille tulisi tehdä ilmastaselvitys sekä käyttää rakentamisen vähähiilisyysmenetelmää rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljelle ja -kädenjäljelle. Hiilineutraalisuustavoite sekä uudet lainasäädännöt tukevat puun kilpailukykyä kerrostalojen rakennusmateriaalina, sillä puun käyttö madaltaisi konkreettisesti rakentamisesta aiheutuvaa hiilipiikkiä, kun tarkastellaan materiaalin koko elinkaarta. (Demos Helsinki 2023, s. 4–7)

Puurakentamisen kehityksen suunta on ollut oikea viimeisten vuosien aikana, ja sen uskotaan tulevaisuudessa siirtyvän normaaliksi osaksi kerrostalorakentamista

massiivipuutuotteilla sekä tilaelementtirakenteilla. Vaikka puukerrostalorakentamisessa nähdään paljon potentiaalia ja puun hyödyistä ollaan tietoisia, on puun käyttö kerrostalorakentamisessa edelleen suhteellisen vähäistä. Muiden haasteiden rinnalla kehitystä hidastaa myös kysynnän ja tuotannon välisistä epävarmuuksista muodostuva pullonkaula, jota käsitellään tässä kandidaatintyössä laajemmin luvussa viisi. Yleisesti tahtotilaa puukerrostalorakentamisen kasvattamiselle löytyy, mutta sen edellytyksenä on liiketoiminnan- ja toteutusmallien muuttaminen koko arvoketjussa. Työtä on siis vielä paljon prosesseissa, osaajien kouluttamisessa sekä yhteisen ajattelutavan kehittämisessä. (Demos Helsinki 2022, s. 6–7)

## 3 CLT (CROSS LAMINATED TIMBER)

### 3.1 Yleistä tietoa materiaalista

CLT eli Cross Laminated Timber on rakennusmateriaali, jossa ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista muodostuu vahva massiivipuulevy. CLT-levyn lamellikerroksien sahatavarana käytetään Suomessa useimmiten kuusta tai mäntyä. CLT-levyjen pintaan voidaan lisätä 20 mm lisäkerros, esimerkiksi saksanpihdasta. Lisäkerroksen saaminen riippuu pitkälti CLT-levyn valmistajasta. (Puuinfo 2023b; Stora Enso 2016a, s. 6–13) CLT-levyn erinomaisten lujuusominaisuuksien vuoksi sillä on useita käyttömahdollisuuksia, kuten pientalot, kerrostalot, koulut, kauppakeskukset ja teollisuushallit. CLT-levyjä voidaan käyttää kohteissa seinien, kattojen sekä välipohjien rakennusmateriaalina. CLT-levyä on mahdollista yhdistellä helposti muiden materiaalien kanssa, sen pintakäsittelymahdollisuuksia on useita ja sitä voidaan työstää millintarkasti. CLT-levyillä on myös paljon arkkitehtuurillisia mahdollisuuksia rakenteiden tyyliässä ja suunnittelussa. Tämä tekee CLT-levystä äärimmäisen monipuolisen rakennusmateriaalin. (Stora Enso 2016a, s. 6–13; Puuinfo 2023b)

CLT:n historia juontaa juurensa noin 30 vuotta taaksepäin, kun se mainittiin ensimmäisen kerran erikoiskirjallisuudessa. Vaikka vastaavia rakennusmateriaaleja tunnettiin jo aiemmin, kuten vaneria ja viilupuuta, CLT:n innovaatio oli sen huomattavan suuressa koossa, joka mahdollisti käytön kantavana rakenteena. Vuonna 1998 CLT sai ensimmäiset kansalliset tekniset hyväksynyt Keski-Euroopan saksankielisissä maissa. Suomeen CLT-levyjä tuotiin Itävallasta Stora Enson tehtaalta, kunnes vuonna 2014 Kuhmoon avattiin ensimmäinen kotimainen CLT-elementtitehdas, CrossLam. Tämä tehdas tarjosi kotimaista raaka-ainetta, paikallisuutta ja parempia logistiikkamahdollisuuksia. Suomessa CLT-levyt herättivät kiinnostusta niiden erinomaisen lujuuden, jäykkyyden ja rakenteellisten ominaisuuksien ansiosta. Myös esivalmistuksen tuomat mahdollisuudet nopeaan rakentamiseen sekä CLT-levyn ympäristöystävällisyys verrattuna betonielementteihin loivat myönteistä kuvaa uudesta rakennusmateriaalista. Kehitystä kuitenkin hidastivat koko rakennusalan uudistamiseen liittyvät ennakkoluulot sekä Suomessa voimassa olevat palo- ja rakennusmääräykset. (Yle 2014; Zukunftsinstitut & Stora Enso 2017, s. 17)

## 3.2 Valmistus

CLT-levyn valmistuksessa ensimmäisenä valitaan sekä hankitaan raaka-aine. Yleisimpiä käytettäviä raaka-aineita ovat kuusi ja mänty, sillä ne ovat mekaanisesti laadukkaita puulajeja. Lehtipuuta voidaan myös käyttää CLT-levyn valmistukseen tai muualla maailmassa muita paikallisia puulajeja. Sahatavara on käsitelty noin 12 %:n kosteuspuoisuuteen sekä lujuuslajiteltu visuaalisesti tai mekaanisesti. CLT-levyjen valmistukseen käytetään yleensä homogeenisesti lujuusluokan C24 sahatavaraa. On kuitenkin myös mahdollista käyttää lujuusluokan C16/18 sahatavaraa sen suunnan lamellikerroksissa, jotka eivät ole CLT-levyssä pääasiallisesti kantavia. (Brander ym. 2016, s. 335)

Kuivattu ja lujuuslajiteltu sahatavara sormijatketaan halutun mittaisiksi lamelleiksi. Liimapuun tuotantoon optimoitu sormiliitosprofiili on pituudeltaan 15 tai 20 mm. Haluttu koko saadaan myös liittämällä kokonaisia CLT-levyjä toisiinsa isosormiliitoksilla, jotka ovat pituudeltaan 45 mm. Tällaisessa liitoksessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon pienentynyt taivutusvastus. Sormiliitoksien pääsääntöinen etu on niiden visuaalisuus, sillä ne eivät näy CLT-levyn pinnalla. Sormiliitoksiin on suositeltavaa käyttää elastisia liimoja, jotta saadaan pienennettyä jännityksiä. Jäykät sormiliitokset ja viereisen lamellikerroksen oksakohtien yhteisvaikutus voi pienentää CLT-levyn taivutusvastusta merkittävästi. Sormiliitoksissa eniten käytössä ovat melamiini-urea-formaldehydi- (MUF), yksikomponenttinen polyuretaani- (PUR) sekä emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimat (EPI). PUR-liimat ovat yleensä pehmeämpiä kuin MUF-pohjaiset liimat. (Brander ym. 2016, s. 336) Sekä PUR- että MUF-liimat muodostavat kovettuessaan värittömän liimasauman. EPI-pohjaiset liimat ovat yleisimmin käytössä Euroopan ulkopuolella. (Puuinfo 2020a)

CLT-levyn lamellikerrokset voidaan valmistaa kahdella eri tavalla. Yksittäiset lamellit liimataan toisiinsa syrjistä kokonaisiksi levyiksi tai vaihtoehtoisesti syrjäliimaus jätetään valmistusprosessista pois. Joissain CLT-tuotantolinjoissa syrjäliimaus tehdään vain osalle lamellikerroksista, esimerkiksi levyn yläpintaan. Valmistajat pyrkivät siihen, että yksittäisten lamellien väliset raot ovat mahdollisimman pienet rakennusfysikaalisten ominaisuuksien vuoksi. Rakojen leveyttä pyritään minimoimaan myös CLT-levyn estetiikan vuoksi. (Brander ym. 2016, s. 336; Puuinfo 2023b)

Syrjäliimauksen jälkeen ehyet lamellitasot liimataan toisiinsa kohtisuorasti. Syrjäliimaamattoman CLT-levyn valmistuksessa lamellit ladotaan ristiin ja liima levitetään pelkästään lamellien lappeelle. Ristiinliimauksessa käytetään samoja liimoja kuin sahatavaran sormiliitoksissa. Liimauksessa noudatetaan pääsääntöisesti valmistajan ohjeita ja vaatimuksia. Liiman määrä sekä sen levitystapa ovat CLT-levyn valmistuksessa erittäin tärkeitä, jotta liimauksesta saadaan tarpeeksi tiivis sekä valmiista levystä suora. Liimaus tehdään kerralla valmiiksi hyödyntämällä tyhjiötä, hydrauliiikkaa tai esimerkiksi ruuvien aiheuttamaa painetta. Vakuumpuristuksessa lamellikerrokset puristetaan toisiinsa tyhjiön avulla. Sen käyttö on yleisin menetelmä Keski-Euroopassa. Uudempi tapa liimaukselle on puristaa lamellilevyt toisiinsa prässin avulla. Vakuumpuristuksella sekä puristaminen ruuvien, naulojen ja niittien avulla saavuttaa 0,05–0,10 ja 0,01–0,20 N/mm<sup>2</sup> puristuspaineen, kun taas prässien avulla suuruus luokka on 0,10–1,00 N/mm<sup>2</sup> tai jopa suurempi. (Brander ym. 2016, s. 336; Puuinfo 2023b)

Liimauksen jälkeen CLT-levyn reunat leikataan haluttuun kokoon ja muotoon CNC-jyrsimellä sekä siistitään hiomalla. Vaihtoehtoisesti reunat voidaan jättää myös ilman jatkokäsittelyä. Levyyn tehdään myös CNC-jyrsimellä ikkuna- ja oviaukot, talotekniikan, kiinnitysten sekä nostojen tarvitsemat lävistykset. Tehdasoloissa CNC-jyrsimen mittatarkkuus on +/- 1 mm. Riippuen CLT-levyn käyttökohteesta, siihen lisätään tarvittavat lisämateriaalit, kuten lämmöneristeet ja akustiset paneelit. Levyn näkyvät pinnat voidaan pinnoittaa tai jättää ne sellaisekseen asiakkaan toiveiden mukaan. (Brander ym. 2016, s. 336; Puuinfo 2023b)

## 4 CLT:N OMINAISUUDET

Tässä luvussa on hyvä ottaa huomioon, ettei CLT-levyille ole kirjoittamishetkellä olemassa harmonisoitua eurooppalaista tuotestandardia. CLT-levyt CE-merkitään eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan. Tästä syystä CLT-levyn tekniset ominaisuudet sekä rakenteiden mitoitus ovat hyvin valmistajakohtaisia. (Puuinfo 2023b)

### 4.1 Rakenne- ja lujuusominaisuudet

CLT-levyn rakenne koostuu vähintään kolmesta lamellikerroksesta, jotka ovat liimattu toisiinsa nähden kohtisuorasti. Lamellikerros muodostuu lujuuslajitellusta sekä sormijatketusta sahatavarasta. CLT-levytyyppejä on kahdenlaisia, tyyppi C ja L. C-levytyypissä levyn päällimmäinen kerros on kohtisuorasti tuotantopituuteen nähden. Tätä tyyppiä käytetään tavallisimmin seinärakenteissa. L-levytyypissä levyn päällimmäinen kerros on yhdensuuntainen levyn tuotantopituuden kanssa ja sitä käytetään yleensä välipohja- sekä kattorakenteissa. (Stora Enso)

CLT-levyn paksuus ja koko määräytyy pitkälti valmistajan sekä levyn käyttökohteen mukaan. Riippuen valmistajasta levyjen vakioimitat leveys- ja pituussuunnassa ovat 2,40–3 sekä 12–20 m. Paksuus vaihtelee 57 millimetristä 400 millimetriin. Välipohjarakenteissa paksuus on tyypillisesti 140–200 mm ja seinärakenteissa 80–120 mm. CLT-levyn paksuus riippuu kerroksien määrästä sekä kerroksissa käytetyn sahatavaran paksuudesta. Elementin maksimimittoihin vaikuttaa valmistajan tuotantomahdollisuudet sekä kuljetuksen tuomat rajoitteet. Välipohjarakenteiden mittoihin vaikuttaa lisäksi myös värähtelymitoituksen tuomat rajoitteet. (Stora Enso 2021, s. 3; Puuinfo 2020b)

Yleisesti katsottuna puun lujuus kasvaa sen tiheyden kasvaessa. Puurakenteiden lujuuteen vaikuttaa puun kosteuspitoisuus ja kuormitusaika sekä erityisesti se, missä suunnassa syitä vastaan sitä kuormitetaan. CLT-levyn lujuusominaisuuksilla on paljon yhtäläisyyksiä muiden puutuotteiden kanssa, sillä sen lujuus määräytyy jännityksen ja kuitusuunnan välisen kulman mukaan. Ristiinliimauksen ja kerrosrakenteen ansiosta CLT-levy on erittäin luja ja jäykkä rakennusmateriaali. CLT-levy toimii samanaikaisesti sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena. Kohtisuorasti liimatut lamellikerrokset

jakavat levyille tulevan kuorman kahteen suuntaan. CLT-levyn kerrosrakenne tasoittaa puun lujuuden vaihtelua sekä vähentää ominaisuuksien eroavaisuuksia ja niiden vaikutusta rakenteeseen. Tämä on erityisen hyödyllistä, kun tarkastellaan leikkauslujuutta, sillä se heikkenee esimerkiksi oksa- ja halkeamakohdissa. CLT-levyn sahatavaran syiden suuntainen vetolujuus on 10–20 kertainen verrattuna syitä kohtisuoraan olevaan lujuuteen. Sen vuoksi CLT-levyn C tai L tyyppi valitaan käyttökohteen mukaan. (Stora Enso 2016a, s.13; KI-Group 2021a; Puuinfo 2020c)

## 4.2 Palotekniset ominaisuudet

Puun saavuttaessa 100 celsiusasteen lämpötilan, sen kemiallisesti sitoutumaton vesi alkaa höyrystyä. 180 celsiusasteessa alkaa kuivan puun terminen pehmeneminen ja se saavuttaa maksimin 320–380 celsiusasteessa. Kostean puun pehmeneminen voi alkaa jo 100 celsiusasteessa. Tässä vaiheessa puun ligniinin, hemiselluloosan ja selluloosan sidokset alkavat hajota. Puu syttyy palamaan yleensä 250–300 celsiusasteessa. Syttymislämpötilaan vaikuttaa kuitenkin se, kuinka pitkään puu on lämmölle alttiina. Puun syttymisen jälkeen se alkaa hiiltä 0,8 mm / min. Hiilikerros hidastaa puun lämpötilan nousua sen sisäosissa ja näin ollen hidastaa palon etenemistä puukappaleessa. (Puuinfo 2020g)

CLT-levy omaa erilaisen hiiltymisnopeuden kuin tavallinen sahatavara, sillä sen hiiltymiseen vaikuttaa sen valmistamisessa käytetty liima sekä mahdollisen palosuojauksen tyyppi. Esimerkiksi fenolipohjaisilla liimoilla valmistetuilla tuotteilla, kuten liimapuu- ja LVL-tuotteet, hiiltymisen etenee samalla tavalla kuin liimaamattomassa puutuotteessa. Polyuretaanipohjaisilla liimoilla esiintyy puutuotteessa delaminoitumista eli lamellien irtoamista, kun palo saavuttaa puutuotteen liimasauman. CLT-levyjen valmistamiseen käytetään useimmiten polyuretaanipohjaisia liimoja, jolloin sen hiiltymiseen vaikuttaa useampi nopeus, sillä suojaavan hiilikerroksen pudottua sen alta paljastuu jo lämmennyt puupinta, jonka hiiltymisnopeus on tällöin suurempi. Kun lamellikerroksessa on saavutettu 25 mm hiiltymissyvyys, hiiltymisnopeus palaa alkuperäiseen arvoonsa. Tämän vuoksi CLT-levyn hiiltymisen ei ole lineaarista. Delaminoituminen tapahtuu välipohjissa helpommin kuin seinärakenteissa, sillä sen voimakkuuteen vaikuttaa myös taivutusjännityksen suuruus. (Puuinfo 2021c, s. 83) Tutkimuksissa on saatu hiiltymisnopeudeksi vaakasuuntaisissa CLT-rakenteissa 0,63 mm

/ min, silloin kun vain pintalamellikerros on altistunut tulelle. Kun palo saavuttaa seuraavan lamellikerroksen, hiiltymisnopeus on 1,3 mm / min, kunnes 25 mm hiiltymissyvyys kyseisessä kerroksessa on saavutettu. Pystysuuntaisissa CLT-rakenteissa vastaava hiiltymisnopeus on pienemmän taivutusjännityksen vuoksi vain 0,86 mm / min. (Stora Enso 2016b, s. 15)

Rakennusmateriaalit jaetaan pintaluokkiin sen perusteella, miten ne osallistuvat palotilanteessa. CLT-levy on puupohjainen tuote, joten sen pintaluokkaan vaikuttaa myös asennustapa, sen tiheys ja paksuus sekä alustarakenne. Pintaluokituksessa A-F kuvaa rakennustarvikkeen osallistumista paloon, s1-s3 savun tuottoa palotilanteessa ja d0-d2 kyseisen materiaalin palavien pisaroiden ja osien tuottoa. CLT-levyn, jonka lamellikerroksien paksuus on vähintään 18 mm ja levyn kokonaispaksuus vähintään 54 mm, pintaluokka on eurooppalaisen tuotestandardin EN 16351 mukaan D-s2, d0. Tämä tarkoittaa, että CLT-levyn osallistuminen paloon on hyväksyttävää, sen savun tuottaminen on vähäistä sekä palavien pisaroiden ja osien tuottoa ei palotilanteessa esiinny. (Puuinfo 2021c, s. 23, 31)

### 4.3 Kosteuskäyttäytyminen ja höyrönsulku

Puu on hygroskooppinen materiaali, minkä vuoksi sillä on kyky mukautua ilman suhteellisen kosteuden vaihtelujen mukaan joko sitomalla tai luovuttamalla kosteutta. Tällöin puun kosteus asettuu aina tasapainoon sen ympäristön kanssa. Näiden kosteuden vaihteluiden seurauksena puussa aiheutuu kutistumista, kun se luovuttaa kosteutta, ja turpoamista, kun se sitoo kosteutta. Puun kosteuspitoisuus esitetään prosentteina. Prosenttimäärä kertoo puussa olevan veden painon suhdetta puun absoluuttiseen kuivapainoon. Puussa syiden suuntainen kosteuseläminen on huomattavasti vähäisempää kuin syiden kohtisuorassa suunnassa tapahtuva kosteuseläminen. (Puuinfo 2020d)

CLT-levyssä kosteuteen liittyvässä liikkeessä kosteuspitoisuuden kasvaminen aiheuttaa laajenemista ja vastaavasti kosteuspitoisuuden laskeminen supistumista. CLT-levy pyritään valmistamaan 12 %:n kosteuteen, jolloin levyn yksittäisen sahatavaran kosteuspitoisuus voi olla toimitettaessa enintään 16 %. CLT-levyssä syiden suuntainen muodonmuutos on 0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden sekä syitä vastaan kohtisuorassa 0,24 %. CLT-levyn ristiinliimauksen ja kerrosrakenteen vuoksi kosteuden aiheuttamat muodonmuutokset ovat vähäisempiä kuin tavallisen massiivipuun. CLT-



levyn kosteuselämisen suuruuteen vaikuttaa erityisesti sen kerrosten lukumäärä ja rakenteen paksuus. (KI-Group 2021b; Stora Enso)

CLT-rakenne toimii hyvänä höyrynsulkuna sen tiiviin rakenteen vuoksi. CLT-levyn lamellikerrokset sekä niiden väliset liimakalvot estävät lämpimän ja kostean sisäilman virtaamisen eristekerrokseen, jolloin rakenteen eristeet pysyvät kuivana eikä kosteus pääse häiritsemään niiden toimintaa. CLT-levy ei ole kuitenkaan yksistään täysin tiivis, jolloin kosteuden siirtyminen hitaasti sisätilasta ulkotilaan on mahdollista. Täysin tiiviiseen rakenteeseen tarvitaan lisäksi esimerkiksi muovinen höyrynsuojakerros. CLT-levyyn ei tavallisimmin kuitenkaan lisätä erillistä höyrynsuojakerrosta, sillä sen oma rakenteellinen höyrynsulku on riittävä. (Crosslam CLT)

#### 4.4 Lämpötekniset ominaisuudet

CLT:tä voidaan käytännössä verrata lämpöteknisyydessä massiivipuuhun. Kuten massiivipuullakin, CLT:n lämmönjohtavuus on sen huokoisuuden vuoksi suhteellisen vähäistä. Lämmönjohtavuudella tarkoitetaan, sitä kuinka hyvin materiaali johtaa lämpöä eli sen eristyskykyä. Lämmönjohtavuuden yksikkönä käytetään wattia celsiusaste metriä kohti ( $W / m^{\circ}C$ ). CLT:ssä käytetään yleensä raaka-aineen mäntyä tai kuusta. Männyn lämmönjohtavuuden arvo syiden suuntaisesti on  $0,22 W / m^{\circ}C$  ja syitä vastaan kohtisuorasti  $0,14 W / m^{\circ}C$ . Kuusella arvot ovat syiden suuntaisesti  $0,24 W / m^{\circ}C$  ja syitä vastaan kohtisuorasti  $0,11 W / m^{\circ}C$ . Kuten arvoista huomataan, syiden suuntainen lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen verrattuna syitä vastaan kohtisuoraan arvoon. Käytännössä suunnittelussa käytetään CLT:n lämmönjohtavuudelle arvoa  $0,12-0,13 W / m^{\circ}C$ . (KI-Group 2021c; Puuinfo 2020e)

Puun ominaislämpökapasiteetti tarkoittaa sen kykyä varastoida lämpöä. Ominaislämpökapasiteetin yksikkönä käytetään joulea celsiusaste kilogrammaa kohti ( $J / kg^{\circ}C$ ). Männyn ja kuusen ominaislämpökapasiteetti on keskimäärin  $2300 J / kg^{\circ}C$   $+0-100$  celsiusasteessa. CLT:n ominaislämpökapasiteettina käytetään yleensä  $1600 J / kg^{\circ}C$ . (KI-Group 2021c; Puuinfo 2020e) Arvo ei ole tavallisen puutavaran kanssa samansuuruinen eli CLT:llä ei ole yhtä hyvä kyky varastoida lämpöä itseensä.

Rakennuksen energiatehokkuutta kuvataan U-arvolla eli lämpöläpäisykertoimella. U-arvon avulla voidaan laskea esimerkiksi ulkoseinään tarvittava lämmöneristekerroksen

paksuus. Suunniteltavan ja rakennettavan rakennuksen ulkovaipan minimivaatimusten mukaisesti seinän U-arvo tulee olla  $0,17-0,25 \text{ W / m}^2\text{K}$  riippuen rakennuskohteesta. Jotta CLT-levyllä saavutetaan vaadittava minimivaatimus, tarvitaan siihen lisälämpöeristettä. Taulukossa 1 nähdään Stora Enson CLT-ulkoseinärakenne, joka on oletettu käytettäväksi 3–8 kerroksisiin kerrostaloihin. Tällaisen seinärakenteen U-arvoksi saadaan alle  $0,17 \text{ W / m}^2\text{K}$ , joka läpäisee U-arvon ulkovaipan minimivaatimukset. Vertaillaan lämpöläpäisykertoimia teräsbetonista tehdyn ulkoseinän kanssa. Teräsbetonin ulkoseinärakenteessa on 200 mm paksu teräsbetonikerros, 200 mm paksu eristekerros, 9 mm paksu kipsilevy sekä haluttu ulkoverhoilu. Tällaisen betoniseinän lämpöläpäisykerroin on  $0,18 \text{ W / m}^2\text{K}$ . (Finnlog; Stora Enso)

Taulukko 1. Stora Enson 3-8 kerroksisiin kerrostaloihin tarkoitetun CLT-ulkoseinärakenteen kerrosten paksuudet millimetreinä (Stora Enso).

Kipsilevy	CLT	Muovinen höyrynsulku	Eriste 1	Eriste 2	Ulkoverhoitus
18 mm	120 mm	0,2 mm	150 mm	50 mm	ei määritetty

## 4.5 Äänitekniset ominaisuudet

Puu ei ole erityisen hyvä absorptiomateriaali, sillä sen kyky vaimentaa ääntä on heikko. Puu johtaa ääntä puun syiden suuntaan paremmin kuin syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Puun heikko ääneneristävyys johtuu sen keveydestä sekä tiiviistä ja sileästä pinnasta. (Puuinfo 2020f)

Yksinkertaisen massiivirakenteen ääneneristävyys perustuu sen massaan ja jäykkyyteen. Vaikka CLT-levy on melko jäykkä, se on kuitenkin kevyt rakenne, jonka vuoksi sen ääneneristävyys on yksistään huono. CLT-levyn lamellikerroksien ristiinliimaus aiheuttaa CLT-levyyn kaksi koinsidenssi rajataajuutta, sillä sen taivutusjäykkyys lamellikerroksissa vaihtelee kerroksen suunnan mukaan. Koinsidenssi rajataajuus tarkoittaa taajuutta, jolla massiivipuulevyn pintaan tietyssä kulmassa tuleva ääniaaltorintama aiheuttaa aallonpituudeltaan samanlaisen värähtelyn kuin ääniaaltorintaman levyn suuntaisen komponentin aallonpituus. CLT-levyyn osuvan ääniaaltorintama sekä sen taivutusaalto ovat samassa vaiheessa, jolloin levyyn kohdistuvat ääniaallot lävistävät CLT-levyn heikentäen sen ääneneristävyyttä. (Puuinfo 2021b, s. 10, 20)

## 5 HAASTEET CLT-KERROSTALORAKENTAMISESSA

### 5.1 Rakennesuunnittelu

Puurakentamista koskee pääsääntöisesti samat lainalaisuudet ja säännökset kuin muutakin rakentamista. Isoimpana eroavaisuutena on se, ettei puurakentamisessa ole vakiintuneita käytäntöjä ja rakenneratkaisuja. Myös CLT-kerrostalorakentaminen vaatii enemmän suunnittelua verrattuna betonirunkoiseen kerrostaloon, koska käytännöt vaihtelevat paljon kunkin kohteen ja elementtien valmistajan mukaan. Puukerrostalorakentamisen rakennesuunnittelussa on oltava tarkkana rakenteiden mitoituksessa, sillä niiden valmistus- ja asennustoleranssit ovat tiukemmat kuin muussa rakentamisessa. Lisää haastavuutta suunnitteluun luo palomääräykset, jotka ovat puun käytön suhteen melko monimutkaisia. Suunnittelukäytäntöjen puute ei rohkaise suunnittelijoita käyttämään puurakenteita varsinkaan korkeissa rakennuksissa. Puurakenteiden käyttäytymistä ei vielä täysin ymmärretä, sillä rakenteiden kestävyys tutkiminen ei ole yhtä kehittynyttä kuin teräsbetoni- ja teräsrakenteissa. Tästä syystä korkeiden puurakennusten lujuuden suunnittelu on edelleen varsin kehitysvaiheessa, koska suurten rakennekokonaisuuksien testaaminen on haasteellista ja puun ominaisuudet ovat luonnostaan monimutkaiset. Tämän seurauksena suunnittelussa on erittäin haastavaa ennustaa tarkasti, miten korkeat puurakennukset käyttäytyvät erilaisten vaurioiden yhteydessä. (Puuinfo 2020h; Puuinfo 2022)

### 5.2 Paloturvallisuus

Paloluokkia on neljä: P0, P1, P2 ja P3. Paloluokkaa P0 käytetään, kun rakennuksen palosuunnittelu tehdään toiminnallisella palomitoituksella, eli rakennus suunnitellaan perustuen oletettuun palonkehitykseen. Paloluokkia P1-P3 käytetään, kun rakennus suunnitellaan noudattamaan palomääräysten paloluokkia ja lukuarvoja. Olennaista paloturvallisuuden suunnittelussa on kantavien rakenteiden palonkestävyys, palon ja savun kehittyminen rakennuksessa, palon leviäminen viereisiin rakennuksiin, palotilanteen poistumisreitit sekä pelastushenkilöiden turvallisuus. Taulukkomitoituksessa palonkestovaatimukset ilmaistaan REI luokkina. R tarkoittaa rakenteiden kantavuutta, E tiiviyyttä ja I eristävyyttä. Perään tuleva numero ilmaisee rakenteiden palonkestoaikaa. Palonkestoaikana rakenteiden tulee säilyttää kantavuus,

tiiväys sekä lämmöneristävyys, jottei henkilöiden poistuminen palotilanteessa vaarannu. Enintään kaksikerroksisia puurakennuksia voidaan toteuttaa kaikissa paloluokissa. Paloluokassa P2 voidaan toteuttaa enintään 28 metriä eli 8-kerroksisia asuin- ja työpaikkarakennuksia. Muissa kuin asuin- ja työpaikkarakennuksiin tarkoitetuissa tiloissa enimmäiskorkeus on 14 metriä. (Puuinfo 2021c, s. 9–11)

Palosuojaamaton CLT-levy voi menettää kantavuutensa palossa. Esimerkiksi palosuojaamaton 3-kerroksisen CLT-levyn dimensiot muuttuvat hiiltymisen seurauksena, jolloin se menettää kantavuutensa. CLT-levyn kantokykyä palotilanteessa voidaan parantaa suurentamalla levyn kokoa, jolloin sen tehollinen poikkileikkaus palotilanteessa on suurempi ja näin ollen kantokykyä saadaan paremmaksi. CLT-levyt voidaan myös palosuojata esimerkiksi kipsilevyllä, puulevyllä, lämmöneristelevyllä tai yhdistelemällä edellä mainittuja levyjä. (Puuinfo 2021c, s. 83) CLT-kerrostalorakentamisessa ongelmalliseksi koetaankin se, että yli 2-kerroksisiin puurunkoisiin asuinrakennuksiin vaaditaan Suomessa automaattinen sammutusjärjestelmä sekä rakenteiden suojaverhous, sillä nämä saattavat vaikuttaa kasvavasti rakennuksen kokonaiskustannuksiin (Puuinfo 2022). Vaadittava suojaverhous estää myös CLT-levyn pinnan jättämisen näkyville, joten visuaalisesti kaunista puupintaa ei voida maksimaalisesti hyödyntää korkeissa rakennuksissa.

### 5.3 Akustiikka

Asuinrakennuksen rakenteiden ääneneristävyttä arvioidaan ilmaääneneristysluvulla  $R_w$ , joka kertoo yksittäisen rakenneosan kykyä eristää ilmaääntä. Eristävyys on sitä parempi, mitä suurempi luku on. Asuinrakennuksien välipohjien askelääneneristävyttä arvioidaan askeläänitasoluvulla  $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ , jonka suuruus pyritään saamaan välipohjarakenteissa mahdollisimman pieneksi. Asuinrakennusten pienin sallittu ilmaääneneristysluku on asuntojen välillä 55 desibeliä ja suurin sallittu askeläänitasoluku 53 desibeliä. (Ympäristöministeriö 2018, s. 19–20) CLT-levy ei täytä yksistään kyseisiä vaatimuksia väliseinissä eikä -pohjissa. 180 millimetriä paksun CLT-väliseinän ilmaääneneristävyytluku on 40 desibeliä. 240 millimetriä paksun ja lisäksi joustavan lattiapinnoitteen sisältävän CLT-välipohjan askeläänitasoluku on 70 desibeliä. Jotta CLT-levy ylittäisi väliseinissä 180 mm paksun betoniseinän ilmaääneneristyslukuun, tulisi sen olla lähes 600 millimetriä paksu. (Puuinfo 2021b, s. 20–21)

Yksinkertaisissa massiivirakenteissa ääneneristävyyteen vaikuttaa paljolti rakenteen massa. CLT-levyn riittävä äänieristystaso on saatu toteutumaan monikerrosrakenteilla sekä seinissä että välipohjissa. CLT-levyistä valmistetuissa seinärakenteissa käytetään tavallisesti kaksoisrakennetta. Kaksoisrakenteessa kahden CLT-levyn väliin jätetään ilmväli, joka täytetään esimerkiksi mineraalivillalla. CLT-seinän kaksoisrakenteeseen on yleensä lisättävä myös kipsilevytyks, jotta saadaan lisää massaa ja tätä myöten ääneneristävyys seinässä paranee. Välipohjissa äänieristävyyttä voidaan parantaa tehokkaasti esimerkiksi jousirankakatolla, lisäämällä välipohjaan massaa kelluvalla valulattialla tai paksulla kipsilevyllä. Valulattia voidaan toteuttaa esimerkiksi betonilla. (Puuinfo 2021b, s. 23, 37)

#### **5.4 Kosteudenhallinta ja työmaalogistiikka**

Puun hygroskooppisen ominaisuuden vuoksi CLT-kerrostalon kosteudenhallinta tulee ottaa huomioon rakennuksen suunnitteluvaiheessa, elementtien valmistusvaiheessa, työmaa-asennuksessa sekä rakennuksen käytönaikana. Syrjäliimatun CLT-levyn kuivuminen aiheuttaa rakenteeseen poikittaisia vetojännityksiä, joiden ylittäessä poikittaisen vetolujuuden, tapahtuu lamelleissa epäsäännöllistä halkeilua. Syrjäliimaamattomassa CLT-levyissä kosteuden aiheuttamat muutokset tapahtuvat lamellien välisissä saumoissa. CLT-levyt halkeilevat sitä enemmän, mitä nopeammin kuivumisprosessi tapahtuu ja mitä kuivemmaksi levyt pääsevät. Tavallisesti CLT-levyn halkeamat ovat esteettinen ongelma, mutta pahimmassa tapauksessa ne voivat aiheuttaa ongelmia levyn lujuusteknisissä ominaisuuksissa, varsinkin suuren jännevälän rakenteissa. Tällaisessa tapauksessa halkeamat heikentävät poikkileikkauksen sekä voimaliitosten kestävyyttä. CLT-rakenteiden halkeilua voidaan hallita pitämällä kosteuspitoisuus mahdollisimman tasaisena rakentamisen jokaisessa vaiheessa. Halkeilun torjumiseksi CLT:stä valmistettuihin rakenteisiin voidaan laittaa pintakäsittely, joka hidastaa kosteuden imeytymistä ja vapautumista puusta. Valmiin CLT-rakennuksen lämpö- ja kosteusolosuhteiden asianmukainen hallinta vaikuttaa myös ratkaisevasti rakenteiden kosteudenhallintaan sekä niiden pitkäaikaiseen kestävyteen. (Puuinfo 2020d; Puuinfo 2020i)

CLT-kerrostaloa rakentaessa on aina kiinnitettävä erityisesti huomiota ilmasto-olosuhteisiin. CLT-elementtien kosteuspitoisuuden kasvaminen ei edellytä suoranaisesti

elementin kastumista kuljetuksessa, varastoinnissa tai asennuksessa, vaan kosteuseläminen tapahtuu jo ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa. Kuljetuksessa CLT-elementtien sääsuojaus suunnitellaan aina tapauskohtaisesti rakenneosan mukaan, mutta yleisin suojaustapa on muovisuojaus. Muovisuojaus aiheuttaa merkittävän määrän muovijätettä työmaalle. Muovijätteen määrän vähentämiseksi on kehitetty erilaisia suojausvaihtoehtoja, kuten kuljettaa elementit suojapeitteisellä rekalla tai käyttää pressusuoja, jotka voidaan palauttaa tehtaalle uudelleen käytettäväksi. CLT-elementtien suojauksen aikana on tärkeää huolehtia niiden tuuletuksesta, sillä varsinkin muovisuojauskerkuihin kertyy helposti kosteutta. (Puuinfo 2020i; Tolppanen ym. 2013, s. 172–173)

Suomessa CLT-kerrostalojen runkoasennuksessa on suositeltavaa käyttää sääsuojausta, jotta kosteusriskit saadaan minimoitua. Sääsuojauksena voidaan työmaalla käyttää joko telttasuojausta, suojakattoa tai suojata rakenteet mikrokuitukankaalla. Telttasuojaus on yleisin suurelementtien asennuksen sekä paikalla rakentamisen yhteydessä. Teltan sisällä rakenteita voidaan asentaa siltanosturin avulla. Teltan kokoa voidaan myös kasvattaa niin suureksi, että nosturi on teltan sisällä tai teltan katto on avattava, jolloin nosturi on ulkopuolella. Jos nosturi on ulkopuolella, runkoasennus vaatii kuitenkin sateettoman sään. Telttasuojaus on merkittävä lisä rakennusvaiheen kustannuksiin. Siirrettävää suojakattoa käytetään erityisesti tilaelementtirakentamisessa, jossa telttasuojauksen käyttö on haasteellista tilaelementtien koon ja painon vuoksi. Runkoasennustyön edetessä suojakatto siirretään pois ja asennetaan takaisin työvaiheiden etenemisen mukaisesti. Suojakatto voi olla joko väliaikainen tai rakennuksen lopullinen vesikatto. Itseliimaautuvat mikrokuitukankaat ovat myös hyvä vaihtoehto sääsuojaukseen, sillä ne ovat vedenpitäviä, ilmatiiviitä sekä vesihöyryä läpäiseviä. Mikrokuitukangas asennetaan CLT-elementin päälle joko työmaalla tai tehtaalla. (Puuinfo 2020i; Tolppanen ym. 2013, s. 172–173)

Kerrostalorakentaminen painottuu paljolti kaupunkialueille, joissa tontit saattavat olla hyvinkin ahtaita. CLT-kerrostalorakentaminen soveltuu keveytensä vuoksi ahtaille tonteille, mutta edellytyksenä on kuitenkin rakenneosien täsmällinen toimitus niin, että työmaa-aikaiset varastoinnit ja suojaukset sekä niiden aiheuttamat kustannukset jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Rakenneosat on hyvä toimittaa vaiheittain työmaalle, jotta ne voidaan nostaa kuormasta suoraan paikoilleen. Näin vältetään varastoinnin aiheuttamalta tilanpuutteelta sekä saadaan paremmin taattua CLT-elementtien kosteudenhallinta. (Tolppanen ym. 2013, s. 177)

## 5.5 Kysynnän ja tuotannon epävarmuus

Vaikka olemme hyvin tietoisia puun hyödyistä rakennusmateriaalina, puukerrostalorakentaminen etenee edelleen hitaasti "muna-kana-ongelman" vuoksi. Kaupungit ja kunnat eivät ole vielä ottaneet puurakentamista keskeiseksi osaksi kaavoitustaan, koska he pelkäävät, ettei hankkeille löydy riittävästi toteuttajia. Tämä puolestaan johtaa siihen, että puurakentamiselle ei synny suoraa kysyntää, mikä tekee tuotantokapasiteetin kasvattamisesta yrityksille taloudellisesti riskialttiin. Lisäksi puukerrostalorakentamisen kehitystä hidastaa laaja osaamisen puute sekä arkkitehtien, rakennesuunnittelijoiden että rakennuttajien parissa. Tällä on puolestaan suora seuraus siihen, miksi puun suosiota on vaikea kasvattaa. (Demos Helsinki 2022, s. 16)

Rakentamisen ekologisen tarkastelun painopiste on tähän asti keskittynyt pääasiassa energiatehokkuuteen. Kuitenkin nyt on välttämätöntä siirtää huomio rakennusmateriaaleihin, jotta voimme vähentää rakennusten kokonaispäästöjä. Aiemmin rakennuslainsäädännössä, kaavamääräyksissä ja muissa rakentamista koskevissa vaatimuksissa ei ole otettu huomioon tarvetta vähentää rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia. Tämä puute ei ole kannustanut muutoksiin, ja päätökset rakennusmateriaaleista ovat usein perustuneet pääasiassa kustannustehokkuuteen. (Demos Helsinki 2022, s. 19) Sanna Marinin hallitus valmisti uuden rakentamislain, jonka mukaan rakennuksille tulee laatia ilmastaselvitys. Selvitysten tulee arvioida rakennusten hiilijalanjälkeä ja niiden ympäristövaikutuksia koko elinkaaren ajan. Hiilijalanjäljen raja-arvo ja yhtenäinen arviointimenetelmä määritellään erikseen asetuksilla. Hiilijalanjälkilaskelmat tulee suorittaa osana rakennuslupaprosessia. Eduskunta hyväksyi lain helmikuussa vuonna 2023. Tämä uusi rakentamislaki on keskeinen tekijä puurakentamisen ”muna-kana-ilmion” ratkaisemisessa, sillä tehokas ohjaus asettaa markkinoille suunnan. (Demos Helsinki 2023, s. 7)

Tällä hetkellä ohjaus ja regulaatio painottuu liikaa betonirakentamiseen sekä kunnissa näistä totutuista käytännöistä ei ole haluttu luopua. Ilmastaselvityksen myötä kunnille avautuu mahdollisuus ohjata rakentamisen suuntaa kaavoituksen ja tontinluovutuksen yhteydessä asettamalla hiilijalanjäljen raja-arvot kansallisia standardeja tiukemmiksi. Puurakentamisen toteuttaminen kunnissa edellyttää, että rakentajat otetaan mukaan suunnitteluprosessiin riittävän varhaisessa vaiheessa. Muussa tapauksessa on vaarana, että hankkeen kustannukset nousevat liian korkeiksi tai valmiille suunnitelmille ei löydy

toteuttajia, koska rakentajat eivät pysty sovittamaan omia tuoteosiaan suunnitelmiin. Lisäksi kunnat voivat edistää puurakentamista suosimalla sitä omassa julkisessa rakentamisessaan, kuten kouluissa ja päiväkodeissa. Julkiset puurakennushankkeet toimivat myös suunnannäyttäjinä yksityisille rakennussektoreille. Julkisella sektorilla on kuitenkin huoli siitä, että puun käyttö nostaa kustannuksia ja poliittisia riskejä. Puurakentamisen valtavirtauksen edistäminen vaatiikin tällä hetkellä erityisesti kunnilta selkeää poliittista tahtoa. (Demos Helsinki 2023, s. 7–9)

Kysynnän kasvattamiseksi on tärkeää saada puurakentamisesta houkuttelevaa myös yksityisten sijoittajien ja kuluttajien silmissä. Sijoittajat etsivät pääomalleen parhainta mahdollista tuottoa. Kyseinen tuotto muodostuu sijoitustuottojen ja kustannuksien erotuksesta. Näin ollen sijoittajien kiinnostusta puurakentamista kohtaan voidaan lisätä sillä, että puukerrostalon rakennuttamiseen sekä omistamiseen ei liity mitään suurempia riskejä ja kustannuksia kuin esimerkiksi betonikerrostaloon. Kuluttajalla tärkeimpinä asioina asuntomarkkinoilla ovat hinta ja asunnon sijainti. Puukerrostaloasuntojen vetovoimaa voivat kuitenkin kasvattaa kuluttajalle muodostuneet myönteiset mielikuvat puukerrostalon ympäristöystävällisyydestä, terveysvaikutuksista ja laadusta. Tulevaisuudessa positiiviset brändi- ja statusarvot saattavat lisätä kuluttajien valmiutta maksaa puukerrostaloasunnosta enemmän kuin perinteisestä kerrostaloasunnosta. Kuluttajan luottamusta puukerrostaloja kohtaan nousee myös sen myötä, kun puurakentaminen saadaan yleistymään isommassa mittakaavassa. (Demos Helsinki 2023, s. 9–10)

Puurakentamiseen erikoistuneet yritykset ovat pääsääntöisesti pieniä, mikä luo tilaajille pelkoa toteuttajien riittävyydestä. Tästä syystä hankkeiden toteuttamiseen liittyy liian suuria riskejä tilaajan näkökulmasta. Jotta tilaajan huolta tuotannon riittävyydestä saadaan vähennettyä, tulisi toimijoiden välille muodostaa yhteistyöverkosto, jonka avulla tietoa ja taitoa saadaan jaettua puolin ja toisin. Puukerrostalorakentamisen etupainoisuus suunnittelussa sekä valmistuksessa vaatii paljon yhteistyötä työmaaprosessin kanssa. Avoimen yhteistyön myötä saadaan muodostettua puurakentamisen ekosysteemi, jonka avulla saadaan puurakentamiseen ja suunnitteluun toimivia käytäntöjä. (Demos Helsinki 2022, s. 42–43)

Kerrostalojen ja muiden rakennusten betonielementtipainotteisuus on vallinnut alalla pitkään, ja tämä on heijastunut myös ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen



koulutusohjelmiin. Rakennusalan projektiluonne vaikeuttaa uusien materiaalien ja menetelmien leviämistä myös koulutussektoriin. Vaikka viime vuosina puurakentamisen kurssitarjontaa on lisätty, on tarpeen painottaa puurakentamisen opetusta entisestään, jotta tavoitellut muutokset voidaan saavuttaa. Jotta teollinen puurakentaminen tulisi laajemmin osaksi valtavirtaa, pitäisi yhteistyötä lisätä rakennustekniikan ja tuotantotalouden koulutusohjelmien välillä, sillä teollinen rakentaminen vaatii paljon uudenlaista tuotantoprosessin suunnittelua ja hallintaa. Puurakentamiseen erikoistuneet arkkitehdit, rakennesuunnittelijat ja rakennuttajat keskittyvät pääsääntöisesti pieniin toimijoihin, jotka ovat erikoistuneet puurakentamiseen. Tämä luo haasteita, sillä suuremmat toimijat eivät siirry puurakentamiseen, koska alan asiantuntijoita on vähän saatavilla. Koulutusohjelmien muuttaminen tai lisääminen on hidas prosessi, eikä se yksistään ole riittävä ratkaisu puurakentamisen osaamisen lisäämiseen. Osaamista tulisi kasvattaa pitkään rakennusalalla työskennelleiden ammattilaisten keskuudessa täydennyskoulutuksilla, joiden avulla heillä on kyky sopeutua puun tuomiin erilaisiin haasteisiin, prosesseihin ja teknologioihin. (Demos Helsinki 2023, s. 10–12)

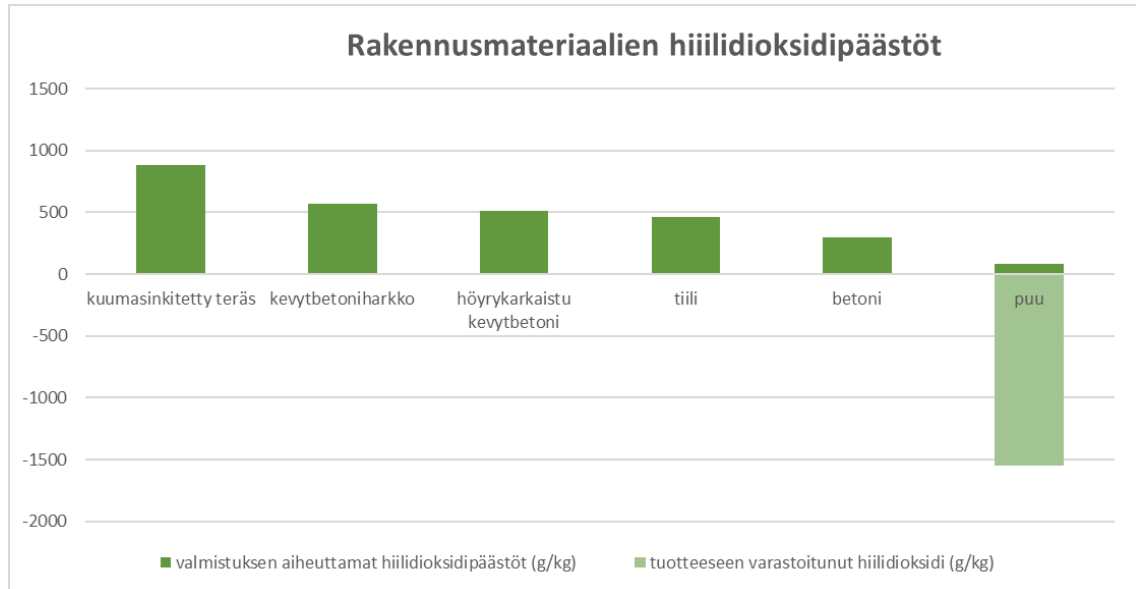
## 6 EDUT CLT-KERROSTALORAKENTAMISESSA

### 6.1 Ekologisuus

Suomessa aiheutuneista ilmastopäästöistä seitsemän prosenttia on peräisin rakentamisesta, ja näistä 70 prosenttia johtuu rakennusmateriaaleista, pääasiassa betonin ja teräksen tuotannosta. Vähäpäästöisten teräksen ja betonin kehittäminen tulee olemaan isossa osassa rakentamisen tulevaisuutta, mutta vielä tällä hetkellä nämä ratkaisut ovat erikoistuotteita, joiden hinta on korkea. Jos haluamme vähentää nopeasti rakentamisen päästöjä, emme voi odottaa uusien teknologioiden laajamittaista käyttöönottoa. Puurakentaminen tarjoaa tehokkaan tavan vähentää rakentamisen päästöjä lyhyellä aikavälillä ja samalla estää hiilipiikin voimakasta kasvua, joka uhkaa tällä hetkellä ilmastotavoitteitamme. (Demos Helsinki 2022, s. 12) Suomessa tuotetaan arviolta 10,9 miljoonaa kuutiota sahatavaraa vuodessa eikä raaka-aineesta ole ollut vielä toistaiseksi pulaa. Vaikka puurakentamista lisättäisiin kunnianhimoisesti, sahatavaran määrä lisääntyisi vain 0,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, mikä tarkoittaa 6,5 prosenttia nykyisestä Suomessa tuotetusta sahatavarasta. On kuitenkin huolehdittava, että puurakentamisen arvolupaus ekologisimmasta vaihtoehdosta toteutuu vastuullisen metsätalouden avulla. Ekologisuuden pohjana on se, että metsästä kaadettujen puiden tilalle kasvatetaan uutta sekä huolehditaan metsien monimuotoisuuden säilymisestä. (Demos Helsinki 2022, s. 44–45)

CLT:tä pidetään ympäristöystävällisenä ja kestäväenä rakennusmateriaalina, sillä se valmistetaan puusta, joka on uusiutuva luonnonvara ja sitä voidaan hyödyntää koko sen elinkaaren ajan. Kasvaessaan puulla on erinomainen kyky sitoa ilmakehän hiilidioksidia itseensä, mikä auttaa vähentämään kasvihuonepäästöjä. (Stora Enso 2016a, s. 10–11). Kuvasta kaksi nähdään, että puusta valmistettuihin rakennustuotteisiin tarvitaan vähemmän energiaa, jonka vuoksi valmistusprosessi aiheuttaa huomattavasti vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin muiden vaihtoehtoisten rakennusmateriaalien valmistusprosessi. Lisäksi valmistusprosessissa tarvittava energia on peräisin uusiutuvista energialähteistä, kuten esimerkiksi CLT-levyjen hukkapaloista, puun kuoresta tai sahanpurusta (Tolppanen ym. 2013, s. 131). Puu on myös kuvan kaksi rakennusmateriaaleista ainut, jolla on kyky varastoida hiilidioksidia itseensä. Tämän vuoksi CLT toimii rakennuksissa pitkäaikaisena hiilivarastona jopa satojen vuosien ajan.

CLT:stä valmistetun rakennuksen tullessa elinkaarensa päähän, rakenteet voidaan joko kierrättää tai hyödyntää energiantuotannossa. (Stora Enso 2016a, s. 10–11) Ekologisuutta tarkastellessa on kuitenkin huomioitava, ettei puutuotteet ole pysyvä hiilidioksidin poistomekanismi, vaan hiilidioksidi vapautuu ilmakehään pitkällä aikavälillä. Tämä vähentää kuitenkin uudisrakentamisessa syntyviä hiilipiikkejä, mitä esimerkiksi betonin valmistaminen aiheuttaa välittömästi ilmakehään.



Kuva 2. Kaavio rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöistä (Mukaiillen Stora Enso 2016a, s. 11).

## 6.2 Esivalmistus ja nopea työmaa-asennus

CLT:stä voidaan rakentaa kahdella eri tavalla: paikallarakentamalla tai tilaelementtitekniikalla. CLT-levyt esivalmistetaan tehdasoloissa, missä ne saadaan automatisaatiolla työstettyä sekä aukotettua millimetrin tarkkuudella suunnittelijan laatimien elementtipiirustuksien mukaan. Tehdasoloissa valmistettujen rakenteiden laatu on helpompi taata, mikä nopeuttaa rakennustyömaalla vaadittavia viimeistelyvaiheita. Tehtaalta CLT-levyt kuljetetaan työmaalle sovittuna ajan kohtana. CLT-levyn keveys mahdollistaa suurempien elementtien kuljetuksen ja yhdessä kuormassa voidaan tuoda jopa 250 neliometriä valmista seinäpintaa. Tämä vähentää kuljetuksesta aiheutuvia ympäristöpäästöjä verrattuna raskaampien rakenneosien kuljetukseen. (Crosslam CLT; Puurakentajat)

Työmaalla nosturi tai trukki purkaa kuorman ja CLT-levyt voidaan nostaa suoraan perustusten päälle. Ne voidaan myös tarpeen mukaan varastoida työmaalla myöhempää asennusta varten. CLT-levyjen liitoksissa käytetään pitkiä sekä järeitä ruuveja ja lopuksi liitokset tiivistetään huolellisesti käyttäen tiivistysmassaa. CLT-levyjen soveltuminen sekä pysty- että vaakarakenteisiin vähentää pystyttämiseen vaadittavien detaljien määrää ja näin ollen tekee rakennusprosessista yksinkertaisempaa ja nopeampaa. Kun rakennuksen pystytysvaihe on saatu päätökseen, voidaan siirtyä suoraan tekniikan asentamiseen ja muihin viimeistelytöihin. CLT-rakentamisen etuna on mahdollisuus suorittaa monia eri työvaiheita rinnakkain pystytyksen jälkeen, mikä edistää tehokasta ja aikaa säästävää rakennusprosessia. CLT-levyjen paikallarakentamista käytetään lähtökohtaisesti enemmän pientalorakentamisessa. (Crosslam CLT; Puurakentajat)

Suomessa 26 prosenttia puukerrostaloista on rakennettu CLT:stä moduuli- eli tilaelementtitekniikalla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, s. 42). Tilaelementtitekniikka soveltuu erinomaisesti kerrostalorakentamiseen ja muihin hankkeisiin, joissa toistuu samanlainen yksikkö (Stora Enso 2016a, s. 8–9). Tilaelementti koostuu seinistä, lattiasta sekä katosta. Tilaelementtiin voidaan lisäksi asentaa valmiiksi kaikki tarvittavat talotekniikat, kuten esimerkiksi ovet, ikkunat, sisäverhoilu, kylpyhuone- ja keittiökalusteet sekä sprinklerijärjestelmä. Suunnitteluvaiheessa on kuitenkin otettava mitoituksessa huomioon kuljetuksen asettamat rajoitteet. Korkean esivalmistusasteen vuoksi CLT-tilaelementit ovat työmaalla täysin asennusvalmiita, jolloin ne voidaan nostella nosturilla paikoilleen 3D-palapelin tavoin. Tilaelementeillä rakennetun kuusikerroksisen kerrostalon pystyttämisenopeus on parhaimmillaan noin kaksi kuukautta. Se on jopa puolet vähemmän kuin perinteisellä tavalla rakennettu kerrostalo. Tulevaisuudessa CLT-kerrostalojen rakentamisnopeutta voidaan vieläkin kasvattaa, kun suunnittelijoiden, rakennuttajien ja urakoitsijoiden välinen yhteistyö kehittyy ja rakentamiskokemusta karttuu entisestään. (Crosslam CLT; Tolppanen ym. 2013, s. 174)

### **6.3 Arkkitehtuurilliset mahdollisuudet ja visuaalisuus**

Rakennusteollisuudessa etsitään jatkuvasti innovatiivisia tapoja lisätä asumismukavuutta ja esteettisyyttä samalla kun pyritään ympäristöystävällisiin ja kestäviin rakennusratkaisuihin. CLT-levyjen käyttö rakennusmateriaalina luo paljon

mahdollisuuksia arkkitehtuurissa ja rakennuksien visuaalisuudessa sen rakenneominaisuuksien sekä puupinnan vuoksi.

CLT-levyjen käyttö luo tilallisia etuja, sillä ne mahdollistavat ohuemmat ulko- ja sisäseinät verrattuna esimerkiksi perinteisiin tiiliseiniin. Tämä merkitsee rakennuksessa jopa 6–10 % mahdollisuutta suurempaan asuintilaan, joka voi olla kaupunkiympäristössä merkittävä lisäys, sillä tilaa on rakennuksille rajallisesti. CLT-levyistä tehty runkorakenne itsessään avaa mahdollisuuden pitkille jänneväleille, kalteville pinnoille sekä monipuolisille aukotusratkaisuille. CLT-levyjen lujuusominaisuuksien vuoksi on mahdollista toteuttaa erilaisia rakenteen läpi ulkotilaan meneviä rakenteita kokonaan ilman suuria tukirakenteita, jotka saattaisivat rakennuksessa katkaista arkkitehtuurillisesti tärkeän näkymän. (Stora Enso 2016a, s. 8–9; Rönty ym. 2019, s. 45)

CLT-levyt jo itsessään tarjoavat visuaalisesti poikkeuksellisen houkuttelevan vaikutelman sekä sisä- että ulkotiloihin. Näkyville jäävät puupinnat luovat rakennukselle lämpimän ja luonnollisen ulkonäön. Puunsiyyt luovat kiinnostavia ja ainutlaatuisia kuvioiteja, jotka saavat rakennuksen seinä- ja lattiapintoihin monimuotoisuutta. CLT-levyjä voidaan valmistaa useasta erilaisesta puulajeista, jotka antavat mahdollisuuksia erilaisiin syyrakenteisiin ja värityksiin. CLT:n yleisimmistä puulajeista kuusi luo hieman hillitympää tunnelmaa kuin mänty, sillä sen oksakohdat ovat pienempiä ja vaaleampia. (Crosslam CLT)

## 6.4 Sisäilma ja terveysvaikutukset

Rakennuksen sisäilman laadulla on merkittävä vaikutus viihtyvyyteen sekä ihmisen terveyden säilymiseen. Sisäilman terveyteen vaikuttavat tekijät jaetaan fyysisiin, kemiallisiin ja biologisiin tekijöihin. Liiallinen kosteus sisäilmassa edistää pölypunkkien kasvua. Kosteus myös tiivistyy rakenteisiin aiheuttaen mikrobikasvustoja, kuten sieniä ja hometta. Toisaalta liian kuiva sisäilma aiheuttaa hengitysvaikeuksia ja limakalvojen kuivumista, joka voi johtaa tulehduksille altistumiseen sekä aiheuttaa staattista sähköisyyttä. (Rönty ym. 2019, s. 51–52)

Puu jo itsessään asettaa vankan perustan hyvälle sisäilmalle, koska se on hengittävä rakennusmateriaali ja sillä on kyky tasata sisäilman kosteuden vaihtelua. Varsinkin CLT:n kaltaisissa massiivipuorakenteissa epäpuhtauksien syntyminen on suhteellisesti

vähäisempää, sillä esimerkiksi seinän rakenteissa on vähemmän erilaisia kerroksia, joissa mikrobit pääsevät kasvamaan. On kuitenkin tärkeää huomioida, ettei pelkän puun valinta ole riittävä toimi hyvän sisäilman saavuttamiseksi. Rakennusvaiheessa ilmenevä huolimattomuus saattaa tuoda mukanaan mittavia seuraamuksia, jotka puolestaan johtavat sisäilmaongelmiin. Siksi rakentamisen laatu ja tarkkuus ovat ratkaisevassa roolissa, kun pyritään saavuttamaan rakennuksessa hyvä sisäilma. (Rönty ym. 2019, s. 51–52)

Kosteuden vaihtelu sisäilmassa voi johtua joko vuorokausittaisista vaihteluista tilan käytöstä ja siellä tapahtuvasta toiminnasta riippuen tai pitkäaikaisista vaikutuksista, kuten vuodenaajoista ja sääjaksoista. CLT-rakenteessa käytetyn puun kyky sitoa kosteutta itseensä voi vähentää tarvetta koneelliselle ilmanvaihdolle ja näin ollen parantaa samalla energiatehokkuutta. Tutkimukset ovat osoittaneet, että käsittelemättömät puutuotteet voivat vähentää päivittäisten kosteuden vaihteluiden äärimmäisarvoja jopa 63 prosenttia ja pitää sisäilman kosteutta pidemmän aikaa optimaalisella tasolla verrattuna tilanteeseen, jossa seinä on verhoiltu maalatulla kipsilaastilla. Tämä vaikuttaa positiivisesti sisäilman koettuun laatuun ja lämpömukavuuteen. Puumateriaalien vertailuissa massiivipuulla on parhain kyky tasata suhteellista kosteutta sisäilmassa verrattuna esimerkiksi vaneriin ja kipsilevyyn. CLT:n kykyyn sitoa ja vapauttaa kosteutta vaikuttaa kuitenkin merkittävästi valittu puulaji, puun syysuunta sekä mahdollinen pintakäsittelyaine. Kaikki pintakäsittelyaineet vaikuttavat alentavasti puun kosteuden puskurointiominaisuuksiin. Pintakäsittelyaineen valinnassa olennaisinta on valita aine, jonka höyrynläpäisyaste on mahdollisimman alhainen. (Puuinfo 2020j)

CLT-rakenteen hengittävyys tarkoittaa sitä, että sillä on kyky tasata ilmassa olevien kaasujen osapaineet diffuusiona sen yksiaineisen rakenteen läpi. CLT-rakenteen hengittävyys ei tarkoita sitä, että sen läpi virtaisi ilmaa, vaan hengittävä rakenne on myös ilmatiivis. CLT-rakenteiden terveellisyyden perustana materiaalin hengittävyyden näkökulmasta, on ajatus siitä, että ilmanvaihdon lisäksi sisäilman hiilidioksidi pääsee myös CLT-rakenteiden läpi ulkoilmaan ja vastaavasti happi ulkoilmasta sisäilmaan. (Puuinfo 2020k; Crosslam CLT)

Ihminen viettää sisätiloissa 88 prosenttia ajasta, joten sisätilojen vaikutus hyvinvointiin on merkittävämpi kuin luultavasti osaamme odottaa. Monet maat ovat tutkineet, miksi puun käyttö rakennusmateriaalina aiheuttaa ihmisissä myönteisiä reaktioita niin

fysiologisesti kuin psykologisesti. Tehdyt tutkimukset eivät ole olleet vielä tarpeeksi kattavia ja systemaattisia, mutta niiden tulokset ovat kuitenkin tukeneet toinen toisiaan. Puupinnat luovat lämpimän, kodikkaan ja rauhoittavan tunnelman huonetilaan, joka ylittää tavanomaiset pintamateriaalit näissä ominaisuuksissa. Puun käytöllä on suoranaisia vaikutuksia ihmisen elimistön stressitason alenemiseen. Tämä on todennettu esimerkiksi kokopuisessa luokkahuoneessa, sillä tilassa viettäneiden henkilöiden aamuinen stressipiikki laantui eikä palannut enää päivän aikana uudelleen. Puupinnan koskettaminen on fysiologisesti sekä kokemuksellisesti lempeämpää kuin monen muun materiaalin koskettaminen. Tutkimusten mukaan kosketus huoneenlämpöiseen alumiiniin, viileään muoviin tai ruostumattomaan teräkseen voi aiheuttaa elimistössä stressireaktioita, kuten verenpaineen nousua. Puupinnan koskettaminen sen sijaan ei näytä aiheuttavan elimistössä vastaavaa reaktiota. (Puuinfo 2020l; Puuinfo 2021d)

## 7 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli koostaa laaja ja selkeä tietopaketti CLT:n käytön hyödyistä ja haasteista suomalaisessa kerrostalorakentamisessa. Työssä pyrittiin myös tarjoamaan kattava katsaus CLT:n ominaisuuksiin sekä sen valmistusprosessiin huomioiden kuitenkin se, että nämä ominaisuudet ovat vielä kirjoittamishetkellä valmistajakohtaisia, mikä voi aiheuttaa vaihtelua tuotteiden välillä. Lisäksi kandidaatintyössä tarkasteltiin yleisesti Suomen puukerrostalorakentamisen historiaa ja pohdittiin sitä, millainen puurakentamisen rooli on tulevaisuudessa.

CLT soveltuu erinomaisesti kerrostalojen runkomateriaaliksi, sillä se tarjoaa puumateriaalin parhaat ominaisuudet, kuten lujuuden ja keveyden. Vaikka CLT on kevyt, se toimii rakennuksessa samaan aikaan kantavana ja jäykistävänä rakenteena sekä valmiina seinä- ja lattiapintana. Kerrostalorakentamisen näkökulmasta CLT:n suurin etu on sen korkea esivalmistusaste. CLT-levyt työstetään tehdasoloissa jopa millimetrin tarkkuuteen CNC-jyrsimellä. Tätä esivalmistusta hyödynnetään laajasti moduuli- eli tilaelementtitekniikassa, joka on CLT-kerrostalorakentamisessa yleisin käytäntö. Korkea esivalmistusaste mahdollistaa tehokkaan laadunvalvonnan ja nopeuttaa työmaalla tarvittavia viimeistelyprosesseja. CLT-kerrostalon rakentaminen etenee betonirakentamiseen verrattuna nopeasti, sillä se voidaan luokitella kuivaksi rakentamiseksi. Esivalmistetut tuotteet voidaan nostella kuormasta suoraan omille paikoilleen ikään kuin palapelin tavoin.

CLT:n raaka-aineen käytettävä puu on uusiutuva luonnonvara ja näin ollen ympäristöystävällinen rakennusmateriaali. Puuta voidaan tuottaa paikallisesti, huolehtien kuitenkin vastuullisen metsätalouden sekä metsien monimuotoisuuden säilymisestä. Puulla on kasvaessaan kyky sitoa ilman hiilidioksidia itseensä, jonka vuoksi CLT-kerrostalo toimii hiilinieluna koko sen käytön ajan. Puulla on myös kyky tasata rakennuksen lämpötila sekä ilmankosteuden vaihtelua, mikä parantaa rakennuksen sisäilmaa. On myös tutkittu, että puun käytöllä on myönteisiä vaikutuksia ihmiseen niin fysiologisesti kuin psykologisesti.

Puu luo rakennusmateriaalina kuitenkin haasteita paloturvallisuudessa, sillä palomääräykset edellyttävät automaattisen sammutusjärjestelmän asentamista, mikä lisää



rakennuskustannuksia. CLT:n keveyden vuoksi sen ääneneristävyys on suhteellisen huono, mikä vaatii tarkkaa akustiikkasuunnittelua kerrostaloon. CLT:n kosteuselämisen seurauksena syntyneet halkeamat aiheuttavat myös haasteita. Halkeamat ovat pääsääntöisesti esteettinen ongelma, mutta pahimmassa tapauksessa ne voivat huonontaa CLT:n lujusteknisiä ominaisuuksia. Paloturvallisuus, ääneneristävyys ja halkeilu ovat kuitenkin ongelmia, joita on mahdollista ehkäistä laadukkaalla ja ammattitaitoisella suunnittelulla.

Suomessa puukerrostalorakentaminen on edelleen melko harvinaista verrattuna betonirakentamiseen. CLT:n käytössä kohdataan samankaltaisia haasteita kuin muussakin puukerrostalorakentamisessa. Puukerrostalojen rakenneratkaisut eivät ole vakiintuneita, mikä luo suunnitteluun haasteita, erityisesti paloturvallisuuteen ja värähtelymitoitukseen. Betonirakentamisen painotteisuus näkyy myös puurakentamisen osaamisessa niin arkkitehdeissa, rakennesuunnittelijoissa kuin rakennuttajissakin. Puurakentamiseen keskittyneet yritykset ovat melko pieniä, jonka vuoksi kunnilla ja yksityisillä rakentajilla on pelko siitä, ettei tuotannon kapasiteetti ole riittävä laajempiin rakennusprojekteihin. Tästä johtuen tuottajien on vähäisen kysynnän vuoksi riskialtista kasvattaa tuotannon kapasiteettia.

Puukerrostalorakentamisen ympärillä vallitsee edelleen paljon ennakkoluuloja. Puukerrostalorakentamisen suuntaa tulee lähteä muuttamaan isossa mittakaavassa lainsäädännön ja ohjauksen kautta, jotta rakentamista tarkasteltaisiin laajemmin kuin vain suoralla kustannusvertailulla. Mitä enemmän rakentamisessa aletaan painottamaan ympäristöystävällisyyttä, sitä enemmän puulle ja sen ekologiselle maineelle annetaan arvoa osana rakentamista. Tulevaisuudessa voimme odottaa, että puurakentaminen ja erityisesti massiiviset insinöörituotteet kuten CLT kehittyvät ja tulevat olemaan laajemmin osa kerrostalorakentamista.

## LÄHDELUETTELO

Brander R., Flatscher G., Ringhofer A., Schickhofer G. & Thiel A., 2016. Cross laminated timber (CLT): overview and development [verkkodokumentti]. Berlin: Springer-Verlag. Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5> [viitattu 23.3.2023]. 74:331-351 s.

Crosslam CLT, Ominaisuudet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://crosslam.fi/crosslam-clt/> [viitattu 15.4.2023].

Demos Helsinki, 2022. Nöyrä Puu, Puurakentamisen peruskirja [verkkodokumentti]. Helsinki: Demos Helsinki. Saatavissa: <https://demoshelsinki.fi/wp-content/uploads/2022/11/No%CC%88yra%CC%88-Puu-Puurakentamisen-peruskirja.pdf> [viitattu 20.10.2023]. 58 s.

Demos Helsinki, 2023. Puurakentamisen tulevaisuus -loppuraportti [verkkodokumentti]. Helsinki: Demos Helsinki. Saatavissa: [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/ab767032-1b60-4f24-be97-3bfe1b8c7f56/RAPORTTI\\_20230308111645.pdf](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/ab767032-1b60-4f24-be97-3bfe1b8c7f56/RAPORTTI_20230308111645.pdf) [viitattu 20.10.2022]. 19 s.

Finnlog. Tietoa CLT talosta, Lämmöneristävyys [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://finnlog.fi/tekniset-tiedot/tietoa-clt-talosta/lammoneristavyys/> [viitattu 3.4.2023].

Karjalainen, M., 2002. Suomalainen puukerrostalo puurakentamisen kehittämisen etulinjassa. Oulu: Oulun yliopisto, 422 s. ISBN 951-42-6617-X

KI-Group, 2021a. CLT:n lujuusominaisuudet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.kigroup.fi/post/clt-n-lujuusominaisuudet> [viitattu 1.4.2023].

KI-Group, 2021b. CLT kosteusominaisuudet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.kigroup.fi/post/clt-kosteusominaisuudet> [viitattu 3.4.2023].

KI-Group, 2021c. CLT:n lämpöominaisuudet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.kigroup.fi/post/clt-n-l%C3%A4mp%C3%B6ominaisuudet> [viitattu 3.4.2023].

Puuinfo, 2020a. Puurakentamisen liimat [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/puurakentamisen-liimat/> [viitattu 23.3.2023].

Puuinfo, 2020b. Jännevälit [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/jannevalit/> [viitattu 29.3.2023].

Puuinfo, 2020c. Lujuusteknisiä ominaisuuksia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/> [viitattu 1.4.2023].

Puuinfo, 2020d. Puun kosteuskäyttäytyminen [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/> [viitattu 3.4.2023].

Puuinfo, 2020e. Lämpötekniisiä ominaisuuksia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lamputeknisia-ominaisuuksia/> [viitattu 3.4.2023].

Puuinfo, 2020f. Äänitekniisiä ominaisuuksia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/aaniteknisia-ominaisuuksia/> [viitattu 5.4.2023].

Puuinfo, 2020g. Palotekniisiä ominaisuuksia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/paloteknisia-ominaisuuksia/> [viitattu 6.4.2023].

Puuinfo, 2020h. Puun käyttö rakentamisessa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/> [viitattu 16.10.2023].

Puuinfo, 2020i. Kosteudenhallinta puurakentamisessa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [viitattu 14.10.2023].

Puuinfo, 2020j. Puu sisäilman kosteuden tasaajana [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puu-sisailman-kosteuden-tasaajana/> [viitattu 11.10.2023].

Puuinfo, 2020k. Hengittävä rakenne [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/hengittava-rakenne/> [viitattu 11.10.2023].

Puuinfo, 2020l. Fysiologiset ja psykologiset ominaisuudet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/fysiologiset-ja-psykologiset-ominaisuudet/> [viitattu 11.10.2023].

Puuinfo, 2021a. Palomääräysten muutokset vuoden 2021 alusta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/palomaaraysten-muutokset-vuoden-2021-alusta/> [viitattu 24.2.2022].

Puuinfo, 2021b. Ääneneristys puutalossa [verkkodokumentti]. Helsinki: Puuinfo Oy. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Aanikirja\\_kokonainen-1.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Aanikirja_kokonainen-1.pdf) [viitattu 5.4.2023]. 164 s.

Puuinfo, 2021c. Paloturvallinen puutalo, Asuin ja toimitilarakentaminen [verkkodokumentti]. Helsinki: Puuinfo Oy. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2023/03/Palokirja\\_nettilivittain\\_versio\\_2023.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2023/03/Palokirja_nettilivittain_versio_2023.pdf) [viitattu 14.10.2023]. 102 s.

Puuinfo, 2021d. Puupintojen terveysvaikutukset sisätiloissa – tutkimustuloksia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puupintojen-terveysvaikutukset-sisatiloissa-tutkimustuloksia/> [viitattu 11.10.2023].

Puuinfo, 2022. Korkeat puurakennukset: mahdollisuudet, edut, haasteet ja näkymät [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/10/21/korkeat-puurakennukset-mahdollisuudet-edut-haasteet-ja-nakymat/> [viitattu 28.9.2023].

Puuinfo, 2023a. Suomessa toteutetut puukerrostalot [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/suomessa-toteutetut-puukerrostalot/> [viitattu 8.11.2023].

Puuinfo, 2023b. Monikerroslevy (CLT) [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/> [viitattu 23.3.2023].

Puurakentajat. Massiivipuurakentaminen tekee nyt lopullista läpimurtoa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.puurakentajat.fi/puurakentajan-blogi/massiivipuurakentaminen-tekee-nyt-lopullista-lpimurtoaan> [viitattu 17.4.2023].

Rakennustieto, 2006. Puukerrostalot 1880–2000. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustekniikan keskus -säätiö ja Museovirasto, 288 s. ISBN 13: 978-951-682-794-3 ja ISBN 10: 951-682-794-2

Rönty J., Ala-Kotila P., Stenlund O. & Kuismanen K., 2019. Life city – suomalaisen puurakentamisen kansainvälinen konsepti [verkkodokumentti]. Oulu: VTT. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2018/VTT-R-00334-18.pdf> [viitattu 19.9.2023]. 89 s.

Stora Enso. Cross-laminated timber (CLT) [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt> [viitattu 29.3.2023].

Stora Enso, 2016a. Puu – Maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-imagebrochure\\_final-2016-04-25\\_fi-web.pdf](https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-imagebrochure_final-2016-04-25_fi-web.pdf) [viitattu 21.3.2023]. 19 s.

Stora Enso, 2016b. CLT – Cross Laminated Timber, Fire protection [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.cltsk.info/wp-content/uploads/2019/10/CLT-Documentation-on-fire-protection-EN.pdf> [viitattu 9.4.2023]. 50 s.

Stora Enso, 2021. Construction with cross-laminated timber in multi-storey buildings [verkkodokumentti]. Wien: Holzforschung Austria. Saatavissa: [https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/wood-products/clt-technical/hfa\\_se\\_construction\\_with\\_cross\\_laminated\\_timber\\_ebook\\_en.ashx](https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/wood-products/clt-technical/hfa_se_construction_with_cross_laminated_timber_ebook_en.ashx) [viitattu 29.3.2023]. 147 s.

Tolppanen J., Karjalainen M., Lahtela T. & Viljakainen M., 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus & Puuinfo Oy, 194 s. ISBN 978-952-13-5541-7

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2020. Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit [verkkodokumentti]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM\\_2020\\_16.pdf?sequence=1](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM_2020_16.pdf?sequence=1) [viitattu 8.3.2023]. 54 s.

Viljakainen, M., 1997. Puukerrostalo. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu & Puuinfo Oy, 86 s. ISBN 951-682-458-7

Yle, 2014. Kotimaa, Kuhmossa tehdään puurakentamisen teollisuushistoriaa – CLT-levyihin kohdistuu isoja odotuksia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-7552868> [viitattu 22.3.2023].

Ympäristöministeriö. Puurakentaminen, Puurakentamisen ohjelma [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ym.fi/puurakentaminen> [viitattu 11.3.2023].

Ympäristöministeriö, 2018. Ääniympäristö, Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä [verkkodokumentti]. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E\\_DA43\\_4DCA\\_9CEE\\_47DBB9EFCB08-138568.pdf/5e3efaa4-9566-17ae-83c6-2b5805fc9d/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E\\_DA43\\_4DCA\\_9CEE\\_47DBB9EFCB08-138568.pdf?t=1603260126601](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf/5e3efaa4-9566-17ae-83c6-2b5805fc9d/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf?t=1603260126601) [viitattu 5.4.2023]. 45 s.

Ympäristöministeriö, 2022. Selvitys: Puurakentaminen hienoisessa kasvussa asuinkerrostaloissa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ym.fi/-/selvitys-puurakentaminen-hienoisessa-kavussa-asuinkerrostaloissa> [viitattu 8.3.2023].

Zukunftsinstitut & Stora Enso, 2017. The future of Timber Construction, CLT – Cross Laminated Timber [verkkodokumentti]. Wien: Zukunftsinstitut Österreich GmbH. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download->

center/documents/product-specifications/wood-products/clt-technical/stora-enso-the-future-of-timber-construction-en.ashx [viitattu 22.3.2023]. 108 s.