Tampereen yliopisto

Heikki Kaila

CLT SUOMALAISESSA KERROSTALORAKENTAMISESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Joulukuu 2019

TIIVISTELMÄ

Heikki Kaila: CLT suomalaisessa kerrostalorakentamisessa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Joulukuu 2019

Tässä kandidaatintyössä selvitettiin CLT:n ominaisuuksia rakennusmateriaalina sekä sen käyttöä suomalaisessa kerrostalorakentamisessa. Tutkimus pohjattiin seuraaviin tutkimuskysymyksiin: 1) Mikä on puun ja tarkemmin CLT:n asema suomalaisessa kerrostalorakentamisessa? 2) Mitä hyötyjä saavutetaan CLT:n käytöllä kerrostalon runkomateriaalina? 3) Mitä haasteita CLT-rakentamiseen kuuluu? Kysymyksiin pyrittiin vastaamaan mahdollisimman laaja-alaisesti käsittelemällä CLT:n valmistusprosessia ja materiaalin käyttöä sekä toteutuneissa, että suunnitteilla olevissa kohteissa. Myös CLT:n tuomiin rakennusaikaisiin ja suunnitelmallisiin haasteisiin, sekä sen hyötytekijöihin perehdyttiin tarkastelemalla aiempia tutkimuksia, standardeja, sekä käytännön kokemuksia toteutetuista rakennushankkeista.

CLT-tekniikan hyödyntäminen rakentamisessa on verrattain uutta kansallisessa mittakaavassa, mikä näkyy toistaiseksi vähäisessä toteutettujen kohteiden määrässä. Tämä on osittain seurausta 1800-luvun alusta lähtien voimassaolleista paloturvallisuusmääräyksistä, jotka estivät yli 2-kerroksisen puurakentamisen 1990-luvun loppuun saakka. Vuonna 2018 viimeisen päivityksen saaneet rakennusmääräykset ovat kuitenkin entisestään tasoittaneet kerrostalorakentamisen kenttää puurakentamisen osalta. Massiivipuuelementtien paloturvallisuus onkin paremmalla tasolla, kuin yleinen käsitys tai aiemmat kokemukset perinteisestä puurakentamisesta antavat ymmärtää.

Puun käyttöä rakentamisessa puoltavat nykyään tiukentuneet päästötavoitteet sekä valtadiskurssissa korostunut ympäristöajattelu, eritoten tavoitteet ihmisen tuottamien hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Puu on hiilinegatiivinen rakennusmateriaali, eli se sitoo painoonsa nähden enemmän ilmakehän hiilidioksidia, kuin sen jalostaminen vapauttaa. Tämän kannalta puu voidaan nähdä puhtaampana rakennusmateriaalina kuin betoni tai teräs, joiden kummankin valmistus kuluttaa merkittävästi energiaa, sekä aiheuttaa suuria määriä hiilidioksidipäästöjä. Puurakenteilla voidaan myös tutkimusten mukaan parantaa sisäilmanlaatua, sekä pienentää parempien lämmöneristävyysominaisuuksien ansiosta kerrostalon energiankulutusta.

Puurakennustekniikan kehittyessä kansainvälisen tutkimustyön ja hyväksi koettujen rakenneratkaisujen myötä CLT on vakiintunut suosituimmaksi puukerrostalojen runkomateriaaliksi varsinkin monikerroksisissa kohteissa. Massiivipuulevyjen keveys ja jäykkyys mahdollistavat aiempaa korkeamman puukerrostalorakentamisen, sekä myös nopeuttavat sitä huomattavasti. Puurakenteen keveys ei kuitenkaan ole ainoastaan eduksi, sillä erityisesti välipohjien askeläänneneristävyyden kannalta on jouduttu kehittämään useamman materiaalin liittorakenneratkaisuja, jotta kerrostaloasuntojen akustiset vaatimukset saataisiin täytettyä. CLT-tekniikan uutuus tuo mukanaan haasteita osin pienistä tuotantomääristä aiheutuvan korkean hinnan lisäksi myös kokemuksen puutteen muodossa. Tämä näkyy niin suunnittelussa, kokoonpanossa, kuin rakennuksen ylläpitoteknisissäkin seikoissa. Edellä mainituista hidastavista tekijöistä huolimatta CLT jatkaa uusimpien selvitysten mukaan vakaasti markkinaosuutensa kasvattamista suomalaisessa kerrostalorakentamisessa.

Avainsanat: CLT, CLT-kerrostalo, Puukerrostalo.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Heikki Kaila: CLT in multi-storey construction in Finland
Bachelor's thesis
Tampere University
Civil Engineering
December 2019

This bachelor's thesis analyses the attributes of CLT as a construction material, as well as it's useage in Finnish multi-storey building applications. The research was founded on the following research questions: 1) What is the current state of CLT use in Finnish multi-storey construction? 2) What are the advantages obtained in the use of CLT as a structural material in multi-storey construction? 3) What challenges are involved with the use of CLT in construction? These questions were attempted to be addressed as diversely as possible by considering the manufacturing process of CLT, the use of CLT in completed projects as well as the use in future projects. The challenges and advantages involved in CLT were viewed not only from construction and design standpoints, but also by examining previous publications, standards and recorded knowledge from finished projects.

The utilization of CLT technology is quite new in Finnish construction, which can be seen from the small number of existing CLT buildings. This is partly due to the restrictive fire safety regulations dating back to early 19th century. The building code limited the maximum floor number of timber buildings to two until the late 1990's. The most recent update to these regulations in 2018 helped to pave the way for timber construction. Afterall, fire safety of solid wood elements is better than the general perception or previous experience of traditional wood construction suggests.

Today, the use of wood in construction is supported by stricter emission targets and environmental thinking emphasized in the public discourse, especially the goals of reducing man-made carbon dioxide emissions. Wood is a carbon-negative building material, meaning that it binds more atmospheric carbon dioxide to its weight than its production releases. Hence wood can be seen as a cleaner building material than concrete or steel, both of which consume significant amounts of energy and cause increased carbon dioxide emissions. According to studies, timber structures can also improve indoor air quality and, thanks to their thermal insulation properties, reduce the energy consumption of a block of flats.

With the advancement of timber construction technology, international research and proven structural solutions have established CLT as the most popular frame material for wood apartment buildings, especially in multi-storey applications. The lightness and stiffness of the solid wood panels enable higher timber construction and accelerate the building process significantly. However, the lightness of the wooden structure is not only an advantage. When it comes to the soundproofing of the floor slabs, composite solutions of several materials have been developed to meet the acoustic requirements of apartment buildings. The novelty of CLT technology brings with it not only high costs due to small production volumes, but also a lack of experience in design, assembly and technical maintenance of the building. Despite these challenges, surveys indicate that CLT will continue to increase its market share in Finnish apartment building construction.

Key words: CLT, CLT block of flats, Timber block of flats

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty osana Tampereen yliopiston rakennustekniikan tutkinto-ohjelmaa. Työn aiheena oli CLT suomalaisessa kerrostalorakentamisessa. Aiheen valintaan vaikutti sen ajankohtaisuus kasvavana trendinä sekä kiinnostus selvittää valloilla olevan betonirakentamisen vaihtoehdon ominaishaasteita ja -etuja. Työn ohjaajana toimi yliopisto-opettaja TkT Jussi Savolainen, ketä haluankin kiittää asiantuntevasta sekä joustavasta työn ohjauksesta.

Tampereella 16.12.2019

Heikki Kaila

SISÄLLYSLUETTELO

1.JOHDANTO 1
1.1 Tutkimuksen tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet 2
1.3 Kandidaatintyön rakenne 2
2.CLT MATERIAALINA 3
2.1 CLT:n valmistusprosessi 4
2.2 Samankaltaisia materiaaleja 5
3.PUUKERROSTALORAKENTAMISEN NYKYTILA 7
3.1 Rakennetut kohteet Suomessa 7
3.2 Suunnitteilla olevat kohteet 9
3.3 Hankemäärän kehitys 10
3.4 Kasvun hidasteet 11
4.RAKENNUSAIKAISET HAASTEET 13
4.1 Työmaalogistiikka 13
4.2 Sääsuojaus 13
5.SUUNNITELMALLISET HAASTEET 16
5.1 Rakennesuunnittelu 16
5.2 Akustiikka 16
5.3 Paloturvallisuus 17
5.4 Säärasitukset 19
6.HYÖTYTEKIJÄT 20
6.1 Ekologisuus 20
6.2 Käytönaikaiset hyödyt 21
6.3 Eristävyysominaisuudet 21
6.4 Rungon pystyttäminen 22
6.5 Esivalmistaminen 23
7.YHTEENVETO 24
LÄHTEET 26

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CLT	Ristiinliimattu puulevy (cross-laminated timber)
CNC-jyrsin	Tietokoneohjattu jyrsin (computerized numerical control)
EPI-liima	Puuliimatyyppi (emulsion polymer isocyanate adhesive)
GLT	Liimapuu (glued laminated timber)
LVL	Viilupuulevy (laminated veneer lumber)

.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomen kaikista asunnoista 46 % on kerrostaloasuntoja, minkä johdosta Suomessa ollaan kerrostaloasumisen suosiossa Euroopan toisella sijalla Espanjan jälkeen. Suomalaisesta asuntotuotannosta noin puolet kohdistuu kerrostaloihin, joiden runkomateriaalina betoni on säilyttänyt ylivoimaisen suosion viimeisten 60 vuoden ajan. Vuonna 1997 vanhentuneita paloturvallisuusmääräyksiämme kuitenkin päivitettiin siten, että puun käyttö mahdollistettiin rakennusten julkisivuissa ja rungoissa 4-kerroksisiin rakennuksiin asti. Myöhempien 2011 ja 2018 tapahtuneiden päivitysten myötä puukerrostaloja voidaan nyt rakentaa 8 kerroksen korkeuteen saakka, sekä toiminnallisella paloturvallisuusmitoituksella tätäkin korkeammiksi.

Yhä useampi nykyään rakennettavista puukerrostaloista hyödyntää kantavana rakenteena joko yksinomaan CLT-elementtejä (cross-laminated timber), tai samankaltaisen puuviilulevy LVL:n (laminated veneer lumber), sekä CLT:n liittorakennetta. Suomen puukerrostalorakentamisessa on myös yleistynyt voimakkaasti CLT- ja LVL-runkoa hyödyntävä tilaelementtitekniikka. Tämä kevyt, kuiva, nopea, sekä pitkälti tehtaalla esivalmistettu rakentamistapa vähentää merkittävästi työmaavaiheeseen käytettyä aikaa sekä alentaa rakennusurakan kokonaiskustannuksia. CLT:n kehityksen voimakkaimpana edistäjänä voidaan Suomessa nähdä Stora Enso, joka alkoi myös valmistaa omaa LVL-massiivipuulevyään Varkaudessa vuonna 2016. Kotimaisen CLT-tuotannon on käynnistänyt Crosslamin tehdas Kuhmossa 2014 ja sitä tehdään nykyään myös kahden muun tehtaan toimesta Alajärvellä sekä Kauhajoella.

Puukerrostalojen asukkaille ja rakennuttajille suunnatut kyselytutkimukset ovat antaneet varsin positiivisen kuvan kummankin tahon tyytyväisyydestä puurakenteen tuomiin ominaisuuksiin. Asukkaiden mukaan puukerrostalon etuina tavanomaisiin kerrostaloihin verrattuna ovat muun muassa parempi ilmaääneneristävyys, hyvä sisäilma, viihtyisyys sekä kodikkuus. Rakennuttajat taas näkevät valmistuneet puukerrostalokohteensa onnistuneina ja aikovat myös jatkossa toteuttaa uusia puukerrostalohankkeita. Puukerrostalohankkeet voidaankin nähdä varteenotettavana ja vakiintuvana

rakennusmuotona myös valtion jatkamien ja hyvin onnistuneiden tukihankkeiden johdosta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tässä kandidaatintyössä selvitettiin verrattain uuden rakennusmateriaalin, ristiinliimatuista lautalevyistä koostuvan CLT:n, käyttöä suomalaisessa kerrostalorakentamisessa. Työssä tarkasteltiin myös tämän materiaalin ominaisia hyötyjä sekä haittoja perinteisiin runkomateriaalivaihtoehtoihin verrattuna. Tarkasteluun kohdistui juuri CLT siksi, että se on noussut lähivuosina korostetusti esille mediassa eräänlaisena tulevaisuuden rakennusmateriaalina.

Tutkimuksen pääkysymys on esitetty seuraavasti: Minkälainen on CLT:n asema suomalaisessa kerrostalorakentamisessa? Päätutkimuskysymykseen pyritään hakemaan pohjustusta ja taustoittavaa tietoa seuraavien alakysymysten avulla: 1) Mitä hyötyjä saavutetaan CLT:n käytöllä kerrostalon runkomateriaalina? 2) Mitkä ovat CLT-kerrostalorakentamisen erityishaasteet?

1.3 Kandidaatintyön rakenne

Tämä kandidaatintyö on toteutettu kvalitatiivisena kirjallisuustutkimuksena, jossa on analysoitu olemassa olevaa kirjallisuutta, ohjekirjoja ja tietoja toteutuneista hankkeista. Työn alussa on käsitelty CLT:n materiaaliominaisuuksia, sekä valmistustekniikkaa, ja kuvailtu tavanomaisia tyyppejä.

Alustavan osion jälkeen on selvitetty CLT-rakentamisen taustoja, sekä sen roolia toteutuneissa hankkeissa ja suomalaisessa kerrostalorakentamisessa yleisesti. Lisäksi on kuvattu CLT-rakentamiseen ja rakennesuunnitteluun liittyviä erityishaasteita, sekä materiaalin tuomia etuja. Tutkimuksen päätteeksi on esitetty yhteenveto, jossa eritellään ilmenneet johtopäätökset.

2. CLT MATERIAALINA

CLT on massiivipuulevyä, joka muodostuu ristiin liimatuista lautakerroksista. Kerroksien lukumäärä vaihtelee yleisimmin kolmen ja seitsemän välillä, mutta jopa kymmenen kerroksen levyjä valmistetaan. Ristiin liimaamalla saadaan aikaan hyvin kantava, eri suuntiin jäykkä ja pitkään paloa kestävä puulevy, joka on sen ominaisuudet huomioon ottaen myös kevyt. (Puuinfo) CLT-levyn ristikkäisen lamellirakenteen voi havaita levyn leikkauspinnoista (kuva 1).

CLT:n valmistustekniikka ja mittarajoitukset vaihtelevat eri valmistajien välillä. Yleisimmät levyjen paksuudet vaihtelevat noin 50 mm:stä 400 mm:iin, kun pituus on enintään 20 m ja leveys korkeintaan 4,8 m (Puuinfo). Esimerkiksi suomalaisen Crosslamin Kuhmon-tehtaalla pystytään valmistamaan 3,2 m levyisiä ja 12 m pituisia CLT-levyjä (Crosslam 2018). Kokoa rajoittaa leveyden osalta elementtien valmistukseen käytettyjen koneiden työstöleveys, kun taas pituuden osalta rajoittavana tekijänä on usein elementtien kuljetus rakennuskohteeseen (Ravenscroft 2017).

Kuva 1. Valmista CLT-levyä, jossa päällekkäiset puukerrokset ovat syysuunnaltaan 90° kulmassa toisiinsa nähden. (Kiilto 2018)

Tavallisimmin CLT-levyn raaka-aineena käytetään kuusta tai mäntyä, mutta näkyvät pinnat voidaan tehdä myös erikoisempia puulajeja käyttäen yksilöllisen ulkonäön aikaansaamiseksi. Jotta elementistä saadaan tasalaatuinen, lajitellaan levyn valmistuksessa käytettävät laudat lujuuden mukaan sekä tehdään jatkokset sormiliitoksella. (Puuinfo)

Levyt sopivat käytettäväksi seinien ja lattioiden kantavina sekä jäykistävinä rakenteina. Sisätiloissa ne voidaan pinnoittaa tai jättää puun oma pinta näkyviin, mikäli palomääräykset sen sallivat. Hyvän jäykkyys-tiheyssuhteensa lisäksi yksi huomattava CLT-levyjen etu on niiden helppo työstettävyys monikäyttöisiksi rakennuselementeiksi. Esimerkiksi ovien ja ikkunoiden sijoittaminen julkisivuihin on vapaampaa kuin tavanomaisia rakennevaihtoehtoja käytettäessä. Puun betonia huomattavasti suuremman vetolujuuden ansiosta CLT ei myöskään tarvitse lisävahvistuksia yksinkertaisissa ulokerakenteissa, mikä mahdollistaa esimerkiksi kulmaikkunoiden valmistamisen. (Puuinfo)

Levyt eristetään ulkoseinissä normaaliin tapaan, jossa eriste sijoitetaan seinän ulkopuolelle. Elementit liitetään toisiinsa yleisimmin pitkiä ruuveja ja metallikiinnikkeitä hyödyntämällä. Levyjä voidaan käyttää välipohjissa sekä sellaisenaan, että yhdistämällä puupalkiston kanssa tai liittorakenteena betonin kanssa. Puu toimii palosuojana, betonivalu ääneneristeenä ja kummatkin yhdessä muodostavat kantavan liittorakenteen. Liittorakenne voidaan myös korvata uivilla lattiakerroksilla ja jäykistää levyä palkeilla. Pelkän CLT-levyn käyttö sopii parhaiten kohteisiin, joissa askeleääneneristävyydelle ei ole määritelty tiukkoja vaatimuksia. (Puuinfo)

2.1 CLT:n valmistusprosessi

CLT-levy voidaan valmistaa useammalla eri menetelmällä. Yleisin tapa Keski-Euroopassa levyjen toisiinsa liittämiseen on vakuumiliimaus. Liimausta on alettu nykyisin tekemään myös puristamalla levyt toisiinsa hydraulisesti prässäämällä. Liimausmenetelmiä on kaksi. Syrjäliimatussa levyssä liimataan ensin lautakerrokset toisiinsa syrjistään ja tämän jälkeen päällekkäin tasot syysuunnaltaan ristiin ladottuna. Vaihtoehtoisesti syrjäliimaus taas voidaan jättää tekemättä. Tällöin laudat ladotaan normaaliin tapaan lautatasoa syrjistä puristaen mutta liimaa levitetään ainoastaan levypintojen väliin. (Puuinfo)

Liimausmenetelmä vaikuttaa valmiin levyn rakenteellisiin ominaisuuksiin. Esimerkiksi ilmatiiveydeltään edellä mainitut kaksi menetelmää ovat erilaisia. Syrjäliimattu levy on ilmatiivis, kun taas syrjistään liimaamaton päästää ilmaa lävitse. Etuna syrjiltään liimaamattomassa levyssä on kosteuselämisen sijoittuminen liimaamattomiin saumoihin, kun syrjäliimatun tapauksessa se saattaa aiheuttaa levyn halkeilua. (Puuinfo) Stora Enso käyttää CLT-levyissään formaldehydittömiä liimoja. Syrjien liimaamiseen käytetään EPI-liimaa (Emulsion polymer isocyanate adhesive) ja lamelleihin sekä sormiliitoksiin polyuretaaniliimoja (Stora Enso).

Kuva 2. Tanskalaisen Kallesoe Machineryn valmistama CLT-elementtien kokoonpanolinjasto. (Lähde: Kallesoe Machinery A/S)

Levyt työstetään liimauksen jälkeen oikean kokoisiksi ja muotoisiksi CNC-jyrsimellä. Kaikki ikkuna- ja oviaukot sekä kiinnitysten, nostojen ja talotekniikan tarvitsemat lävistykset tehdään levyihin tehtaalla. Mittatarkkuus puuelementtejä työstettäessä on nykyaikaisilla koneilla +/– 1 mm, ja usein automatisoitu kokoonpanolinjasto toteuttaa suurimman osan vaiheista tietokoneohjauksella (kuva 2). Levy voidaan pintakäsitellä tai kuvioida tilaajan toiveiden ja käyttökohteiden mukaan hyvin vapaasti. (Puuinfo)

2.2 Samankaltaisia materiaaleja

LVL-viilupuu (laminated veneer lumber) on CLT:n kaltainen runkorakenteissa käytettävä puulevy, jota valmistetaan pääasiassa kuusesta. Stora Enson Suomessa valmistama LVL koostuu 3 mm paksuista tukista sorvatuista puuviiluista, jotka liitetään toisiinsa lämmön ja paineen alaisena fenolipohjaisella liimalla. Näkyvien pintojen viilusaumat liimataan läpinäkyvällä melamiini-formaldehydihartsilla. LVL-levyn maksimipituus on 24 m ja maksimileveys 2,5 m. (Stora Enso) LVL-levyjen paksuus vaihtelee tyypillisesti 25 mm:n ja 75 mm:n välillä (Puuinfo).

Kuva 3. LVL-viilupuulevyä, jonka leikkauspinnoista voi erottaa yksittäiset viilukerrokset vanerin tapaan. (Stora Enso)

Yleisimpiä LVL-levyn käyttökohteita ovat pilarit, palkit, kehät, ristikot sekä ovi- ja ikkunateollisuuden komponentit. LVL-levy on keveyteensä nähden erittäin lujaa, mutta helposti työstettävä materiaalina. (Metsä Wood) Viilupuulevyssä ei CLT:stä poiketen ole näkyviä pintaliimaussaumoja (kuva 3). Myös GLT:stä (glued laminated timber) eli liimapuusta voidaan valmistaa palkkeja ja pilareita, mutta se ei sovellu levynä runkorakenteeksi samoin kuin CLT tai LVL, joiden ristikkäinen syysuunta tekee niistä leikkaus- ja taivutuskestävyydeltään tasalaatuisempia (Puuinfo).

3. PUUKERROSTALORAKENTAMISEN NYKYTILA

3.1 Rakennetut kohteet Suomessa

Puurunkoisten kerrostalojen rakentamista ovat Suomessa rajoittaneet pitkään tiukat paloturvallisuusmääräykset. 1800-luvulta lähtien puurunkoisten talojen korkeus on rakennusmääräyksissä rajoitettu vain kahteen kerrokseen. Vuonna 1995 aloitettiin kuitenkin kaksivuotinen puukerrostalojen koerakentamisvaihe, jonka aikana kehitettiin puupohjaisia rakennusmateriaaleja ja niiden vaatimaa työmaa- ja asennustekniikkaa. (Tolppanen 2013, Gröhn 2015 mukaan)

Kokeilun jälkeen 1.9.1997 esiteltiin päivitetyt paloturvallisuusmääräykset, joiden ansiosta puurunkoiset rakennukset voitiin rakentaa neljän asuinkerroksen korkeuteen. Suomalainen puukerrostalorakentaminen ei kuitenkaan alkanut yleistyä ennen kuin 2000-luvun lopulla Ruotsista saatujen hyvien kokemusten siivittämänä. Nykyiset palomääräykset otettiin käyttöön 15.4.2011 voimaan tulleen rakennusmääräyskokoelman uudistetussa osassa E1, ja ne mahdollistavat kahdeksan kerroksen korkuisten puurukokerrostalojen rakentamisen tavallisella taulukkomitoituksella. (Tolppanen 2013, Gröhn 2015 mukaan)

Vuosina 1990–2010 Suomeen on rakennettu yhteensä 11 puukerrostalokohdetta, joissa rakennusten määrä vaihtelee kohteittain 1 ja 7 välillä. Yhteensä tällä aikavälillä valmistuneiden rakennusten määrä on 31. (Ijäs 2013) Tämä on häviävän pieni luku samalla aikavälillä rakennettujen kerrostalojen kokonaismäärään verrattuna.

Tällä hetkellä Suomen ja Pohjoismaiden korkein puurunkoinen kerrostalo on Joensuuhun vuonna 2019 valmistunut 14-kerroksinen opiskelijatalo Joensuu Lighthouse. 117 asuntoa sisältävän puuelementtirunkoisen tornitalon rakennuttajana toimi Opiskelija-asunnot Oy Joensuun Elli. Rakennus on perustettu betonipaaluille ja sen rungon kantavat rakenteet on tehty LVL-viilupuusta sekä välipohjat CLT-levystä. (Tekniikan Maailma 2019)

Kuva 4. Penttilänkulman 14-kerroksinen puurunkoinen opiskelijatalo Joensuussa runkovaiheen valmistuttua. (Tekniikan Maailma 2019)

Rakennuksen julkisivu päädyttiin verhoamaan suurimmilta osin kivipohjaisella kuitulevyllä paloturvallisuusmääräyksistä johtuen (kuva 4). Myös kosteusriskien minimoimiseksi jouduttiin käyttämään rakennusvaiheessa erityisratkaisuja, ja valmistuttuaan jokainen kerros katettiin väliaikaisella sääsuojakatolla. (Tekniikan Maailma 2019)

3.2 Suunnitteilla olevat kohteet

Ympäristöministeriö julkaisi marraskuussa 2019 päivitetyn selvityksen suomalaisesta puukerrostalohankekannasta. Selvitys esittelee 63 suunnitteilla ja rakenteilla olevat puukerrostalohankkeen perustiedot sekä havainnekuvat. Selvitys on jaettu kolmeen osaan, joihin on koottu varmat, todennäköisesti toteutuvat ja mahdolliset hankkeet. Luvut koostuvat vähintään 3-kerroksisten puukerrostalojen hankkeista. (Ympäristöministeriö 2019) Hankemäärä on kasvanut 25 % viime vuoden selvityksestä (Ympäristöministeriö 2019b).

Kuntien arvion mukaan Suomessa aloitetaan vuosina 2018 – 2020 yhteensä 186 uuden puukerrostalon rakentaminen. Tämä on noin kaksi kertaa enemmän kuin 2010-luvulla on ennen tätä rakennettu. Eniten puukerrostaloja on määrä rakentaa Turkuun. (Ympäristöministeriö 2019b) Pääosin CLT-elementeistä rakennettavia puukerrostaloja on kaupunkiin kaavoitettu 20 kappaletta, joista suurin osa tullaan rakentamaan jo osittain valmistuneeseen puukaupunginosa Linnanfälttiin (Turun Kaupunki). Helsinkiin on suunnitteilla 15 puukerrostaloa, joista myös suuri osuus sijoittuu osaksi vastaavanlaista hankekokonaisuutta nimeltään Wood City (Ympäristöministeriö 2019b). Alla olevaan taulukkoon 1 on koottu hankeselvityksen avaintiedot varmuusasteittain.

Taulukko 1. Taulukko 1. Ympäristöministeriön tilaamasta selvityksestä koottuja tietoja puukerrostalo-hankkeiden keskeisistä luvuista. *lukumäärät ovat arvioita. (Ympäristöministeriö 2019)

	Varmat	Todennäköiset	Mahdolliset	Yhteensä
Hankemäärä	18	31	14	63
Asukkaiden lkm.	3 250	6 940	4 960	15 150
Asuntojen lkm.*	2 370	5 070	3 630	11 070
Kerrosala yht.	165 533	353 830	253 122	772 485

Näistä hankkeista seitsemän on erikseen ilmoitettu toteutettavan CLT-elementein ja kolmessa hankkeessa on kerrottu käytettävän LVL-elementtejä. Monen hankkeen osalta urakointisopimuksia taikka lopullista materiaalivalintaa ei ole vielä vahvistettu. (Ympäristöministeriö 2019)

Yksi valtion aiemman puurakentamisohjelman 2004 – 2010 pilottihankkeista on Turun Linnanfältin puukaupunginosa. Alueen rakentaminen aloitettiin syksyllä 2017 ja sen

arvioidaan valmistuvan 2020-luvun alkuvuosina. Hanke koostuu useista 2-5-kerroksisista puukerrostaloista, joista suuri osuus toteutaan Stora Enson Itävallassa valmistamin CLT-elementein. Linnanfältin alueelle valmistuu puukerrostaloasuntoja noin 1 000 asukkaalle (kuva 5). (Turun Sanomat 2017)

Kuva 5. Turun Linnanfältti -hankkeen havainnekuva Linnankadun varteen valmistuvista CLT-kerrostaloista. (Turun Kaupunki 2019)

3.3 Hankemäärän kehitys

Suomalainen puukerrostalorakentaminen on toistaiseksi marginaalisessa asemassa, mutta se on lähtenyt kasvuun muun muassa viime vuosien määräysmuutosten siivittämänä. Erityisesti puuelementtien osuus puurakentamisesta on kasvussa, vaikka se ei vielä aiemmin olekaan osoittautunut vahvaksi kilpailijaksi betonille. Tämä tulee todennäköisesti olemaan suunta myös tulevaisuudessa. (Törmänen 2019)

Vuonna 2018 kerrostalokohteille myönnettyjen rakennuslupien kokonaismäärä on säilynyt lähestulkoon samalla tasolla kuin edeltävän vuoden aikana. Betonikerrostalojen lupamäärä on tippunut 8 % ja betonielementtikerrostalojen 13 %. Samanaikaisesti puukerrostalojen luvissa on ollut 17 %:n määrällinen lisäys. Suurin kasvu on nähtävissä nimenomaan puuelementtikerrostalojen luvissa, joita on myönnetty 20 % enemmän vuoteen 2017 verrattuna. (Tilastokeskus 2019) Crosslamin Kuhmon tehtaalla on havaittu puunkäytön lisääntyminen kerrostalorakentamisessa. CLT-elementtejä on valmistettu kerrostaloihin tiiviiseen tahtiin joka viikko vuoden 2018 aikana. (Crosslam 2018)

Ympäristöministeriön puurakentamisohjelman vetäjän Petri Heinon mukaan puun käyttöä rakentamisessa on lisättävä, jotta ilmastotavoitteisiin päästäisiin. Kunnat alkavat

vaihe vaiheelta toimia tämän mukaisesti, vaikka tehtävää on yhä laajalti. Puun käyttö on tehokas tapa vähentää hiilijalanjälkeä, mikäli otetaan huomioon koko elinkaari materiaalin valmistuksesta rakentamiseen, käyttöön ja kierrätykseen. Puu onkin pitkään ollut omakotirakentamisen kentällä suosituin materiaali, mutta se sopii yhtä lailla myös moninaiseen kaupunkirakentamiseen. (Ympäristöministeriö 2019c)

Metsä ja puuteollisuudella on lisäksi suuri vaikutus Suomen taloudelle, jonka vientituloista se tuottaa noin 20%, työllistäen noin 200 000 suomalaista (Tolppanen 2013, Narko 2015 mukaan). Tämän valossa puukerrostalorakentamisen kehittäminen Suomessa on eduksi niin taloudelle kuin teollisuudellekin. CLT-elementtejä on kuitenkin tuotu Suomeen usein ulkomaisilta tehtailta. Toisaalta Ijäs (2013) toteaa, että aluerakentamiskohteiden synnyttämä verrattain vähäinen puuelementtikysyntä ei vielä aiemmin ole ollut riittävää vastaamaan suuren tehtaan tuotantokapasiteettiin.

Ympäristöministeriön (2019) selvityksen mukaan Suomeen on rakentumassa lähivuosina lähes 7500 uutta puukerrostaloasuntoa, mistä voidaan nähdä noin 1500 asunnon määrällinen kasvu edeltävään vuoteen verrattuna. CLT-elementtien kotimaisen tuotannon suhteen on nähtävissä kehitystä ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelmapäällikkö Petri Heinon (2019) mukaan. Hän kertoo lukujen osoittavan, että Suomen teollisessa puurakentamisessa ollaan pääsemässä vauhtiin. Viime vuosien aikana on perustettu monta puuelementtitehdasta, ja rakennuttajat ovat kasvavissa määrin alkaneet käyttää puuta kerrostalojen runkorakenteena. CLT-elementtien käyttö on kasvussa myös rivitalorakennuksissa, joita kunnat arvioivat toteuttavansa välillä 2018 – 2020 yhteensä 60 kappaletta joko hirsistä tai CLT:stä. Tämä määrä on noin nelinkertainen 2010-luvun jo valmistuneisiin rakennuksiin verrattuna (Ympäristöministeriö 2019b)

3.4 Kasvun hidasteet

Puurakentamista pyrkii edistämään valtioneuvoston ja ympäristöministeriön käynnistämä ohjelma vuosille 2016 – 2021. Puurakentamisohjelman tavoitteena on saada lisättyä puun käyttöä kaupunkirakentamisessa, julkisissa kohteissa sekä suurissa puurakenteissa, kuten halleissa ja silloissa. Ohjelma pyrkii sekä monipuolistamaan puun käyttöä kuin kasvattamaan sen jalostusarvoa. Tärkeimpinä keinoina tälle on asetettu alan osaamisen vahvistaminen, puurakentamisen säädösten kehittäminen sekä puurakentamisen keskeisen faktatiedon tarjoaminen. Päämääränä on, että puun rakentamiskäytöstä on vuonna 2020 tullut luontevaa Suomessa. Hanke on mahdollistettu muun muassa hallituksen kärkihankerahoituksen, sekä energia- ja ilmastorahoituksen avulla. (Ympäristöministeriö 2019c)

Vaikka puukerrostaloihin kohdistunut kiinnostus onkin lisääntynyt nopeaan tahtiin, kiinteistöalan on kasvun edellyttämiseksi pystyttävä myös osoittamaan kiinnostuksensa puukerrostalorakentamiseen. Rakennuttajat ovat moittineet tarjonnan vähyyttä, kun taas valmistava teollisuus valittelee kysynnän puutetta. Tästä hitaasti muuttuvan rakennusalan tukemasta oravanpyörästä tulisi päästä, jotta puurakentaminen kiihdyttäisi kasvuaan. (Haapio 2013) Rakennusliike Reponen Oy:n toimitusjohtajan Mika Airakselan mukaan Suomessa ollaan puurakentamistekniikan osaamisen suhteen Keski-Eurooppaa, sekä muita pohjoismaita jäljessä. (Holopainen 2015)

Kotimaisen puutuotekysynnän kasvumahdollisuudet ovat kuitenkin rajalliset suhteellisen pienen sekä hitaasti muuttuvan rakennusalan johdosta. Kasvua tulisikin tämän vuoksi hakea viennistä, esimerkiksi Aasian ja Itä-Euroopan mahdollisuuksien kautta (Enroth & Valtonen 2012) CLT:n on osoitettu kestävän maanjäristysten aiheuttamat rasitukset erinomaisesti (Malczyk, 2017), mikä lisää sen houkuttelevuutta seismisesti epävakailla alueilla (kuva 6).

Kuva 6. 7-kerroksinen CLT-kerrostalo maanjäristyssimulaattoritestissä Japanissa (Hyogo Earthquake Engineerin Research Center 2007)

4. RAKENNUSAIKAISET HAASTEET

4.1 Työmaalogistiikka

Nykyaikainen kerrostalorakentaminen painottuu kaupunkialueille, jossa tontit ovat suhteellisen ahtaita. Tämä aiheuttaa ongelmia varastotilan puutteen takia varsinkin runkovaiheessa, jolloin monikerroksisessa rakennuksessa tarvittavia elementtejä ei juuri voida säilyttää työmaalla. Urakoitsijoiden on tällöin erittäin tärkeää suunnitella toimitukset tuotannon tahdissa. (Skanska 2016, Kiviniemi 2016 mukaan) Rakennusliike Reposen työnjohtaja Matti Mäkitalo kuvaa puuelementtien asennusten rytmitystä hektiseksi. CLT-elementeillä rakentaessa ei ole valuja tai kuivumisaikoja jaksottamassa, eikä myöskään hidastamassa, runkotyövaihetta. (Holopainen 2015)

CLT-elementtejä voidaan niiden keveyden ja jäykkyyden ansiosta valmistaa ja kuljettaa suurempikokoisina kuin vastaavia betonielementtejä. Varsinkin tilaelementtien kuljetukset ovatkin usein erikoiskuljetuksia. Kuljetukset on hyvä tahdittaa niin, että elementit voidaan nostaa suoran kuormasta asennuspaikalleen. Jollei tämä ole mahdollista, tulee kuitenkin pyrkiä mahdollisimman lyhyeen välivarastointiaikaan työmaalla. Näin menetellessä vältytään tilanpuutteelta ja edistetään puuelementtien kuivaketjun toimivuutta. (Ratu 0425, s. 9.)

CLT-tilaelementtien nostotyö on käytännöllisintä suorittaa ilman ylimääräisiä kiinnikkeitä elementin alta kierrettävien liinojen ja elementin yläpuolisen nostopalkin avulla. Tämän tapaisissa nostoissa on olennaista varmistaa elementin tasapainoinen nousu työturvallisuuden takaamiseksi sekä asentamisen helpottamiseksi. Sääolosuhteet tulee myös ottaa huomioon, sillä suuren pinta-alansa ja verrattain kevyen rakenteensa ansiosta puinen tilaelementti reagoi helposti tuuleen. Tilaelementtien pohjissa on oltava työstöt, jotka mahdollistavat nostoliinojen helpon poistamisen asennuksen yhteydessä, sekä estävät niiden noston aikaisen liukumisen sivusuunnassa. (Korhonen & Nuutinen 2017)

4.2 Sääsuojaus

Puu on hygroskooppinen materiaali, eli se imee vettä huokosiinsa. Vesi pääsee puuaineksen sisään kolmella eri tavalla: höyrynä soluonteloiden kautta, nesteenä kapillaarisesti soluonteloiden välityksellä, sekä molekylaarisena diffuusiona soluseinämän pinnoista. Rakentaessa puun kosteus tulee aina huomioida, sillä

kosteusvaihtelusta aiheutuvat tilavuudenmuutokset saattavat aiheuttaa rungon painumista. Puutavara saattaa tämän takia myös halkeilla. (Puuinfo)

Mikäli puun kosteus pysyy yli 20%:ssa pitkiä aikoja, se alkaa vaurioitua. Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden on tällöin oltava noin 80 – 90 %. Tällä kosteustasolla puu alkaa homehtua muutamassa kuukaudessa. Suhteellisen kosteuden ylittäessä 90 % alkaa puu myös lahota. Niin homehtumisen kuin lahoamisenkin edellytyksenä on kuitenkin 0 – 40 celsiusasteen lämpötila. (Puuinfo) Näistä tekijöistä johtuen puuelementtien varastoinnissa on tärkeää huomioida sääsuojaus, ja rungon pystytyksessä varmistaa, että rakenteisiin päätynyt kosteus pääsee myös kuivumaan mahdollisimman nopeasti. Tuupalan koulun työmaalla koko rakennus katettiin sääsuojan alle kuvan 7 mukaisesti (Jylhänlehto 2016).

Kuva 7. Tuupalan koulun CLT-elementtien pystytystyötä Kuhmossa sääsuojateltan alla. (Fali 2016)

Ijäksen (2013) suorittaman haastattelututkimuksen mukaan 72 % rakennuttajien edustajista valitsi kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen puukerrostalon rakentamisen merkittävimmäksi virheriskin muodostajaksi betonirakenteeseen verrattuna. Heistä 20 % näki rungon ja lämmöneristyksen olevan suurin virheriskin lähde, kun taas 6 % valitsi LVIS- ja talotekniikan. Ainoastaan yksi kaikista 61 haastatellusta ei kokenut betoni- ja puukerrostalojen välillä olevan eroa rakentamisvaiheen riskitekijöissä.

Tehokkain tapa kosteusriskien minimointiin työmaalla on käyttää sääsuojatelttaa, jonka sisällä kaikki rakennusvaiheet saadaan suoritettua. Teltta voidaan toteuttaa siten, että

rakennustöiden edetessä se pystytään nostamaan aina keskeneräisen kerroksen katteeksi nosturin avulla. Suomessa teltalla toteutettu sääsuojaus on hyvin yleinen ja varinkin puurakentamisessa toimivaksi todettu ratkaisu. Telttasuojauksen haittapuolena on kuitenkin työmaakustannusten nousu, mikä saattaa tapauksesta riippuen olla hyvin merkittävääkin. (Mölsä 2014)

Suomen korkeimman puukerrostalon Lighthouse Joensuun rakentamisessa kosteudenhallinta on otettu huomioon hankkeen alkuvaiheesta lähtien erityisellä huolellisuudella. Runkovaihe toteutettiin siten, että uuden kerroksen pystytyksen jälkeen se katettiin välittömästi. LVL-seinäelementit toimitettiin kohteeseen julkisivulevyt ja ikkunat valmiina, eikä elementtien asennusta tehty sateella. (Kortelainen 2018) Helsingin Jätkäsaareen rakennetuissa Wood City –hankkeen taloissa taas kokeiltiin tilanpuutteen takia sääsuojatonta rakentamista puuelementein. Tuulisen ja sateisen kesän seurauksena kosteusvaurioilta ei voitu välttyä. Aiheesta on tehty kaksi diplomityötä Tampeen Teknilliselle yliopistolle. (Mölsä 2017)

5. SUUNNITELMALLISET HAASTEET

5.1 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelun määrä puukerrostalossa on lähes 50 % suurempi kuin vertailukelpoisessa betonikerrostalossa. Kokemusta ja standardikäytäntöjä on CLT-tekniikan kannalta ehtinyt kertyä tavanomaisia rakennetyyppejä vähemmän, mikä saattaa lisätä suunnitteluun kohdistuvaa työmäärää sekä ongelmakohtia. (Ijäs 2013) Vaikka CLT-levyn työstö jälkikäteen työmaalla on mahdollista, suunnitelmien muuttamista levyjen valmistuttua ei suositella. Esimerkiksi LVIS-asennusten, valaisinpaikkojen sekä sähköjohtojen reititysten tekeminen jälkikäteen voi olla haasteellista. (Rautiainen 2018)

Lisätyöstöt aiheuttavat ylimääräisiä viivytyksiä ja lisäkustannuksia, minkä johdosta suunnittelu on tehtävä erityisen tarkasti. Suunnittelu- ja valmistuskustannuksia voidaan karsia toistuvia rakenteita suosimalla. Levyjen tyyppi ja paksuus kannattaa pitää yhtenevänä rakennuksen eri osissa, kuten esimerkiksi ulkoseinissä. Rakentaminen on kokonaisuutena sujuvampaa ja edullisempaa käytettäessä yleisimpiä levykokoja, -tyyppejä, sekä valmiita ratkaisuja. (Rautiainen 2018)

Rakennesuunnittelussa on otettava huomioon puun materiaalina asettamat erityishaasteet. Puulla on korkea lujuus-painosuhde betoniin ja teräkseen nähden, mutta se ei ole rakenteeltaan yhtä tasalaatuista. Sen ominaisuudet vaihtelevat materiaalin sisäisesti, jolloin esimerkiksi puristus- ja vetolujuus kohtisuoraan syitä vastaan on verraten heikompi. (Puuinfo) Puun kimmomoduuli on myös huomattavasti pienempi, kuin betonilla ja teräksellä (Niemi 2019).

5.2 Akustiikka

Massa ja absorptio ovat suurimmat CLT-elementtiseinien ja –lattioiden ääneneristävyyteen vaikuttavat ominaisuudet. Mitä suurempi massa rakenteella on, sitä parempi sen ilmaääneneristävyys on. (CLT Handbook 2013) Kuten taulukosta 2 voidaan havaita, betonin tiheys on viisinkertainen CLT:n tiheyteen verrattuna. Tämä hankaloittaa erityisesti matalien äänien sekä askeläänien eristystä asuntojen välisissä puurakenteissa. (Niemi 2019)

Taulukko 2. CLT:n ja betonin rakennusakustiikkaan vaikuttavia ominaisarvoja. (Niemi, 2019)

Ominaisuus	Puu (CLT)	Betoni
Tiheys	500 kg/m^3	2 500 kg/m^3
Kimmomoduuli	11 600 MPa	27 000 MPa
Paksuus 60 mm – koinsidenssin rajataajuus f_{cr} – ilmaääneneristävyys R (500 Hz) – ilmaääneneristysluku R_w	 220 Hz 21 dB 26 dB	 320 Hz 39 dB 44 dB
Paksuus 120 mm – koinsidenssin rajataajuus f_{cr} – ilmaääneneristävyys R (500 Hz) – ilmaääneneristysluku R_w	 110 Hz 32 dB 35 dB	 160 Hz 50 dB 54 dB

Ellei rakennetta toteuteta välipohjasta joustinkannakkein ripustetulla alakatolla, joudutaan CLT-välipohja yleensä pinnoittamaan puuta raskaammalla massakerroksella, esimerkiksi betonivalulla. Pinnoitus lisää merkittävästi rakenteen pintamassaa ja laskee sen ominaisvärähtelytaajuuden alle 9 Hz raja-arvon. Käytännön kokemusten perusteella vastaava alin ominaistaajuus saattaa aiheuttaa kävellessä epämukavaa värähtelyä, vaikka suuremi massa lisääkin lattian jäykkyyttä. Ilmiöltä voidaan välttyä toteuttamalla kevytrakenteiset CLT-välipohjat lyhyemmillä jänneväleillä. (CLT Handbook 2013)

5.3 Paloturvallisuus

Itävaltalaisen tutkimuslaitoksen Holzforschung Austrianin Stora Ensolle teettämästä tutkimuksesta (2016) selviää, että puu on paloturvallisuuden kannalta muita yleisiä runkomateriaaleja haasteellisempi, sillä se syttyy suojaamattomana herkemmin palamaan. Mikäli puu altistetaan tulipalolle ja siten voimakkaalle ulkoiselle energianlähteelle, sen lämpötila nousee herkästi. Stora Enson mukaan tyypillisen 12 %:n kosteuspitoisuuden omaava CLT-puu syttyy, on sen sisältämän veden ensin haihduttava (Stora Enso).

200 – 300 celsiusasteen lämpötilassa puun soluseinämien pitkäketjuiset molekyylit hajoavat vapauttaen syttyviä kaasumaisia yhdisteitä. Yhdisteiden päästessä puun pinnalle ne reagoivat hapen kanssa ja syttyvät. Tämä pyrolyysiksi kutsuttu prosessi jättää levitessään puun pinnalle hiiltyneen kerroksen, jonka vähäinen tiheys ja korkea

permeabiliteetti tekevät siitä lämmöneristeen. Hiiltynyt pintakerros suojaa näin alapuolista puukerrosta vaurioitumiselta (kuva 8). (Holzforschung Austrian, 2016)

Rakennusliike Reponen Oy:n toimitusjohtaja Mika Airakselan mukaan yksi

Kuva 8. Poikkileikkaus polttotesitin jälkeisestä 80 mm paksusta kipsilevyllä pinnoitetusta CLT-elementistä. (Holzforschung Austrian 2016)

puurakenteisten kerrostalojen suurimpia haasteita ovat kalliit palovakuutukset. ”Korkeamman riskin puukohteissa vaaditut spriklerijärjestelmät ovat myös kustannustekijä, jonka voidaan sanoa toimivan betonirakentamisen hyväksi.” Psykologista pelkoa ei hänen mukaansa puuasumista kohtaan kuitenkaan juuri tavata. (Holopainen 2015)

Nykyiset palomääräykset estävät suurelta osin paljaan CLT-elementtipinnan jättämisen näkyville, joten kerrostalojen rappukäytäviin ja asuntojen sisäpintoihin joudutaan käyttämään suuria määriä kipsilevyä palonsuojaustarkoituksessa. Tampereen Vuoreksen CLT-kerrostaloja suunnitelleen Arkkitehti Marco Casagranden mukaan säädökset ovat tässä suhteessa Keski-Euroopan maita jäljessä. (Kortela 2017)

5.4 Säärasitukset

Varsinkin korkeassa sekä rannikolle kohdistuvassa rakentamisessa tuulen ja viistosateen vaikutukset korostuvat. (Pajunen 2012) Kevyellä ja kosteusherkällä puulla rakentaessa tähän tuleekin kiinnittää erityistä huomiota. Helsingin Wood Cityn puukerrostalojen elementtinostot ja kosteudenhallinta eivät sujuneet juuri tuulen ja sateen ansiosta suunnitelmien mukaan. Elementtien kosteuspitoisuutta seurattiin niiden sisään sijoitetuilla jatkuvasti mittaustietoa lähettävillä antureilla (kuva 9). (Lättilä 2017)

Norjassa 85-metrisen CLT-rakenteisen Mjøstårnetin suunnittelussa päädyttiin lisäämään tornin ylimpiin kerroksiin ylimääräistä betonia tuulesta aiheutuvan huojumisen hidastamiseksi. Työpäällikkö Erik Tveitin mukaan Välipohjarakenteisiin lisätyn betonin on tarkoitus lisätä tornin yläkerrosten massaa, tehden tuulen aiheuttamista liikkeistä hitaampia ja vähemmän häiritseviä tornissa oleilevien näkökulmasta. (De Juan 2018) Betonirakennuksia kevyempien ja joustavampien puukerrostalojen korkeuden jatkuvasti kasvaessa onkin tärkeää tehdä suunnitteluvaiheessa Kiviluoman (2005) korostama värähtelyrajatarkastelu asukkaiden kokemien haitallisten kiihtyvyyksien suhteen.

Kuva 9. LVL-puulevystä leikattu testikappale, johon on upotettu elektroninen kosteusanturi. (Gustafsson 2017)

6. HYÖTYTEKIJÄT

6.1 Ekologisuus

Puu on kerrostalon runkomateriaalina ympäristöystävällinen elinkaarensa alusta lähtien, minkä lisäksi se voidaan muusta rakennuksen purkujätteestä poiketen uusiokäyttää helposti esimerkiksi voimalaitoksissa lämmöntuotantoon. Raaka-aineesta ei vielä toistaiseksi ole pulaa, sillä Suomen metsät tuottavat vuosittaisen 100 miljoonan kuutiometrin kasvun, josta voitaisiin käyttää kestävästi noin 75 miljoonaa kuutiometriä. Vuotuinen kulutus on kuitenkin jäänyt viime aikoina noin 55 miljoonaan kuutiometriin, joten hakkuita on varaa lisätä rakennusmateriaalituotantoa varten huomattavasti. (Tolppanen et al. 2013, Narko 2015 mukaan)

CLT-levyjen haittavaikutuksista sisäilmanlaatuun on tehty Yhdysvalloissa tutkimus, jossa mitattiin VOC-yhdisteiden (volatile organic compounds) vapautumista. Viittä eri CLT-tuotetta eri paksuuksin ja liimakerroksin testattiin laboratoriossa 24 tunnin ajan ja kävi ilmi, ettei mikään näistä vapauttanut huomioitavaa määrää haitallisia yhdisteitä. Levyjen paksuus tai liimakerrosten määrä ei myöskään korreloinut vapautuneiden VOC-yhdisteiden määrän kanssa. (CLT Handbook 2013)

CLT:n voidaan sanoa edistävän tehokasta resurssien käyttöä, sillä esivalmistettuna tuotteena se synnyttää pienemmän määrän työmaajätettä ja lyhentää ylipäätään työmaavaiheeseen kuluvaa aikaa. Valmistusaikana syntynyt jäte taas minimoidaan automatisoimalla, ja se voidaan syöttää takaisin tuotantolaitoksen biopolttoainetehtaaseen käytettäväksi hiileneutraalina energialähteenä. (CLT Handbook 2013)

Erityisesti puun käyttö rakennusmateriaalina tuo etuja verrattuna sen energiatuotantokäyttöön. Kuten lukuisat tutkimukset ovat osoittaneet, puutuotteet sisältävät tyypillisesti enemmän sitoutunutta hiilidioksidia kuin hakkuun, valmistuksen, logistiikan ja loppukäytön seurauksena vapautuu. Tämä hiilidioksidi on peräisin ilmakehästä, josta puu sitoo sitä noin tonnin verran kuutiometriä kohden yhteyttämisprosessin seurauksena. (CLT Handbook 2013)

Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna hiilidioksidin varastointi puurakenteisiin tosin vain viivästyttää aiheutuvia päästöjä, sillä sitoutunut hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään poltettaessa, tai puun kompostoituessa kaatopaikalla. (CLT Handbook 2013) On kuitenkin huomioitava, että CLT:n käytöllä vältetään sen korvaamien betoni- tai teräsrakenteiden valmistuksesta syntyvä merkittävä määrä välittömiä

hiilidioksidipäästöjä. Jos käytetty puu poltetaan elinkaarensa lopussa fossiilisten polttoaineiden asemesta, saadaan edelleen luotua säästöjä niin kustannuksissa kuin hiilidioksidipäästöissäkin (CLT Handbook 2013).

6.2 Käytönaikaiset hyödyt

Puumateriaaleista vapautuvia kemiallisia yhdisteitä on tutkittu ja näistä esimerkiksi pineeneillä on todettu olevan yhteys ihmisen stressitasojen laskuun. Rakennusmateriaaleista vapautuvat yhdisteet kuitenkin häviävät melko nopeasti, eikä tutkimus niiden vaikutuksista ole vielä ollut kattavaa. (Holopainen 2015) Osasyynä stressitasoa laskevaan vaikutukseen pidetään luonnonmukaisen puupinnan näkymistä asuinrakennuksen sisäseinissä (Puurakentajat 2019).

Puun käytöstä on löydetty positiivisia vaikutuksia myös muilla hyvinvoinnin osa-alueilla. Rakennuksen sisäilmanlaatu pysyy paremmalla tasolla, kun sen rakenteissa käytetään kosteutta sitovia ja hengittäviä materiaaleja sekä eristeitä. Näiden tekijöiden avulla vähennetään samalla myös home- ja kosteusongelmien syntymisen riskiä. (Puurakentajat 2019)

On tieteellisesti todistettu, että puulla on yhteys oppimisen tehostumiseen ja keskittymisen parantumiseen luokkahuoneissa. Myös sairaalailoja koskeneissa tutkimuksissa on havaittu potilaiden parantuvan nopeammin puisissa sairaalatiloissa. Crosslamin suunnittelijoiden mukaan nämä ovat seurausta puun akustisista, lämpöteknisistä, sekä rauhoittavista ominaisuuksista. (Pulkkinen 2016)

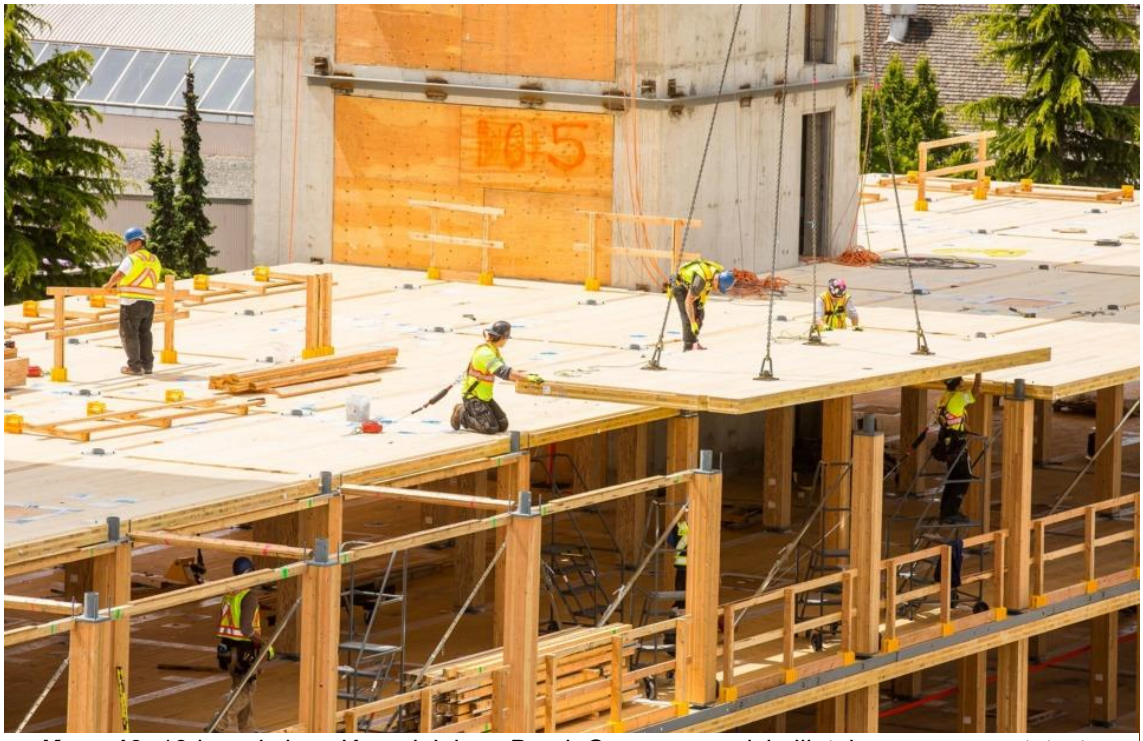
6.3 Eristävyysominaisuudet

Puun lämmönjohtavuus on sen huokoisen solurakenteen ansiosta huomattavasti matalampi kuin esimerkiksi tiilellä tai betonilla. Puun lämmönjohtavuutta kuvaava λ-arvo on syitä vastaan noin 0,14 W/mK ja syiden suuntaisesti noin 0,22 W/mK. (Puuinfo) Tiilelle tämä arvo on noin 0,6 W/mK ja betonille 2,0 W/mK (Väisänen 2003; Haapio 2013).

Puurakenteiden akustiset ominaisuudet ovat sen keveyden takia heikommat matalataajuisemmilla äänillä. Korkeampitaajuiset äänet, kuten puhe, saadaan sen sijaan eristettyä varsin tehokkaasti, ja puurakenteisen asuinrakennuksen äänimaailmaa kuvaillaankin useasti miellyttäväksi verrattuna muihin rakennetyyppeihin. (Woodfocus 2004, Pulkkinen 2016 mukaan)

6.4 Rungon pystyttäminen

Arvostetun rakennusalan kouluttajan ja Paloniitty Oy:n toimitusjohtajan Sauli Paloniityn mukaan on ilmeistä, että CLT tulee korvaamaan betonirakenteiden ohella myös hirsirakenteisia ja puurankarunkoisia taloja. Hän perustelee väitettään materiaalin monipuolisuudella; CLT:stä voi rakentaa esimerkiksi hirsistä poiketen koko talon rungon. (Tompuri 2016) Norjassa sijaitseva 85-metrinen maailman korkein puutornitalo rakennettiin CLT-elementeistä ja liimapuupilareista yhden kerroksen viikkovauhdilla, 35 – 40 % nopeammin kuin paikallavalubetonilla (Moelven Limtre AS 2019). Vastaavia kokemuksia saatiin myös Kanadan Brock Commons-opiskelijatalon työmaalta (kuva 10). (Canadian Architect 2017; Fast & Jackson 2017)



Kuva 10. 18-kerroksisen Kanadalaisen Brock Commons-opiskelijatalon rungon pystytystä, joka valmistui yhdeksässä viikossa. (Lähde: Canadian Architect 2017)

CLT-levyillä rakentaminen vertautuu periaatteeltaan betonielementtirakentamiseen, jonka ansiosta se on huomattavasti nopeampaa, kuin perinteinen kappaletavara- tai hirsirakentaminen. Kuivien liitosten tuoman pystytysnopeuden ansiosta CLT-elementtirunko vähentää työmaavaiheessa syntyviä kustannuksia. (Rautiainen 2018) CLT:n mahdollistama rakenteiden yksinkertaisuus on suuri etu myös työmaavaiheen virheiden välttämisen kannalta (Tompuri 2016).

6.5 Esivalmistaminen

Yksi CLT:n suurimmista eduista perinteiseen rakentamiseen nähden on pystyttämisvaiheen nopeus. Elementtien valmistus tapahtuu olosuhteiltaan hallituissa tuotantotiloissa, jolloin työmaavaihe on verrattain lyhyt. Esimerkiksi betoniin verrattuna CLT-elementein toteutettava runkovaihe on niin sanotusti kuivaa rakentamista, eikä se näin ollen tarvitse erillisiä kuivumisjaksoja. Liitokset tehdään metallikiinnikkein ja pitkin ruuvein. Elementti on valmis pinnoitukseen heti asennusvaiheen jälkeen. (Stora Enso 2012)

Kansainvälisen kaupan yhdistyksen Structural Building Component Associationin mukaan Yhdysvalloissa rakennettavista asunnoista yli 60 % tehdään esivalmistetuilla rakenneosilla. Yhdistys vertaili rinnakkain kahta vastaavaa rakennushanketta, joista toinen hankkeista käytti perinteistä platform-frame –järjestelmää, kun toinen hyödynsi valmiita rakenneosia, kuten välipohja- ja seinäelementtejä. Esivalmistettuja rakenneosia käyttäneellä työmaalla työ sujui 67 % nopeammin. (Ijäs 2013)

7. YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön aiheena oli CLT:n käyttö kerrostalorakentamisessa. Työn tavoitteena oli kartoittaa massiivipuuelementtien käyttöä jo toteutuneissa kohteissa, sekä tulevaisuuden hankkeissa. Tarkastelun kohteena olivat myös CLT-tekniikan tuomat ominaisedut sekä –haasteet. Työssä selvitettiin, miten CLT:tä valmistetaan, kuinka laajasti sitä on käytetty, sekä miten se vertautuu rakennusmateriaalina perinteisiin vaihtoehtoihin kerrostalorakentamisessa.

CLT-tekniikka sopii moninaisten etujensa ansiosta kerrostalon rakenneratkaisuksi erinomaisesti. Kantavana ja jäykistävänä rakenteena siinä yhdistyy puumateriaalin parhaat puolet, kuten muotoiltavuus ja keveys, mutta se ei kuitenkaan kärsi tavanomaisille puurunkoratkaisuille tyypillisestä painumasta juuri lainkaan. CLT-elementein kootut rakenneratkaisut ovat puurankoja nopeampia asentaa ja liitokset ovat kuivina betonielementtejä yksinkertaisempaa toteuttaa. Levymäinen CLT poistaa perinteiseen puurakenteeseen nähden suuren osan liitoksista ja kylmäsilloista parantaen myös ilmatiiveyttä, jolloin höyrynsulkuakaan ei usein tarvita. CLT-rakenne tasaa lämpötilojen sekä ilmankosteuden vaihteluita ja parantaa siten koettua asumismukavuutta. Puulla on tutkitusti todettu olevan myös antibakteerisia, sekä stressiä vähentäviä vaikutuksia.

Yksi CLT:n suurimmista eduista on sen tuoma mahdollisuus hyvin korkeaan esivalmistusasteeseen. Tarvittavat aukot sekä talotekniikan läpiviennit voidaan työstää levyihin millin tarkkuudella tietokoneohjatusti. CNC-jyrsimillä voidaan muotoilla levyjä hyvin vapaasti, jolloin esimerkiksi asunnon persoonallisia sisäseiniä koristeellisia julkisivuja pystytään muovaamaan tilaajan pyynnöstä. Esivalmistusaste on pisimmillään tilaelementtitekniikassa, jossa kokonaisia asuntolohkoja tuotetaan valmiiksi olosuhteiltaan kontrolloiduissa tehdasoloissa. Suurempi esivalmistusaste mahdollistaa tehokkaamman laadunvalvonnan, mutta vaatii toisaalta ammattitaitoista ja huolellista suunnittelua.

CLT:n raaka-aine puu on uusiutuvana luonnonvarana ympäristöystävällinen rakennusmateriaali sen vaihtoehtoihin verrattuna. Sitä voidaan lisäksi tuottaa monissa tapauksissa paikallisesti. Tämä aspekti tosin menettää osin merkityksensä, mikäli CLT tuodaan ulkomailta. Teräksen ja sementin valmistaminen aiheuttaa lähes 90 % Suomen rakennusmateriaalivalmistuksen hiilidioksidipäästöistä. Puu taas sitoo kasvaessaan ilman hiilidioksidia, joka pysyy sen rakenteessa koko käyttöiän ajan. Näin ollen

puumateriaalien käyttö auttaa vähentämään hiilidioksidipäästöjä. Kokonaisuutena tarkasteltuna ympäristövaikutusta heikentävät kuitenkin massiivipuuelementtien valmistuksessa käytettävät liimat, sekä varsinkin tilaelementtien sääsuojauksen synnyttämä muovijätemäärä.

Suomessa puukerrostalorakentaminen on kuitenkin toistaiseksi varsin marginaalisessa asemassa betonirakentamiseen verrattuna. CLT:n käyttöön liittyy muuhunkin kehittyvään rakentamiseen rinnastettavia haasteita. Uutuudestaan johtuen puukerrostaloja koskevat rakenneratkaisut eivät ole vielä ehtineet vakiintua, minkä vuoksi suunnittelulliset haasteet esimerkiksi paloturvallisuuden ja värähtelymitoituksen osalta vaativat verrattain laajaa ammattitaitoa. Kokeneita suunnittelijoita on yhä varsin vähän, kuten elementtivalmistajia ja urakoitsijoitakin. CLT:n valmistus on Suomessa vasta pienimuotoista, ja sitä tuodaan usein Keski-Euroopan suuremmilta valmistajilta maahan, mikä edelleen lisää kustannuksia. Puukerrostalorakentamisen hintaa nostaa myös paloturvallisuusmääräysten vaatima automaattinen sammutusjärjestelmä. Tämä toteutetaan usein kaikki tilat kattavalla sprinklerijärjestelmällä, jonka on määrä sammuttaa palo sen alkuvaiheessa autonomisesti.

On kuitenkin hyvä tarkastella asiaa laajemmin kuin suoralla kustannusvertailulla. Automaattisen sammutusjärjestelmän tuoma paloturvallisuus, valmistusprosessin työturvallisuus, ympäristöedut, puun terveysominaisuudet, sekä imagokysymykset ovat kuitenkin tekijöitä, joille on vaikea asettaa hintaa. Edellä mainitut tekijät saattavatkin antaa lisäetua puulle, sillä uusimpien selvitysten mukaan puukerrostalorakentaminen on kasvussa, ja 98 % kunnista aikoo lisätä puurakentamista tulevien hankkeiden osalta. Suomalaisen puurakentamisen tukena on varsin positiivinen imago, joka peilautuu niin median tavassa uutisoida siitä, kuin ihmisten asenteissakin sitä kohtaan. Tulevaisuus saa näyttää, kuinka merkittäväksi osaksi kerrostalorakentamista puu, ja eritoten CLT, tulee kasvamaan.

LÄHTEET

CLT Handbook. 2013. CLT-ohjekirja USA:n markkinoille. Haettu 12.12.2019. Saatavissa: https://info.thinkwood.com/thank-you-for-downloading-the-clt-handbook-think-wood?submissionGuid=03fa51e7-cd0e-4243-9293-3f15b90e6406

Crosslam. 2018. Uutiset. Crosslamin CLT:stä on rakennettu tänä vuonna useita puukerrostaloja (6.11.2018). Luettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/crosslamin-cltsta-on-rakennettu-tana-vuonna-useita-puukerrostaloja.html

De Juan, A. 2018. World's tallest wooden building mjøsa tower voll arkitekter. Metalocus. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.metalocus.es/en/news/worlds-tallest-wooden-building-mjosa-tower-voll-arkitekter

Enroth, R.R. & Valtonen, K. 2012. Puutuotemarkkinat ja puun kilpailuetujen hyödyntäminen. Teoksessa: Verkasalo, E. ja Karvinen, L. (toim.). 2012. Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki. PKM-tutkimusohjelman tulokset ja niiden hyödyntäminen. Metlan työraportteja 251. Metla. Luettu 13.12.2019 Saatavilla: http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp251.pdf

Fast, P. & Jackson, R. 2017. Brock Commons. Structuremag.org. Luettu 16.12.2019. Saatavissa: https://www.structuremag.org/?p=11624

Haapio, A. 2013. Puurakentamisen tulevaisuudennäkymät. Haastattelututkimus. VTT. Haettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T141.pdf

Holopainen, R. 2015. Puurakentaminen ja onnellisuus. Rakennustaito. Luettu 9.12.2019. Saatavissa: https://rakennustaito.fi/reportaasi/

Holzforschung Austrian. 2015. Fire Protection of CLT. Stora Enso. Luettu 12.12.2019. Saatavissa: https://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Documentation-on-fire-protection-EN.pdf

Ijäs, V. 2013. Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet. Keskeisten suomalaisten rakentamis- ja kiinteistöalan sidosryhmien vertaileva asennemittaus. (Tampere University of Technology. Publication; Vuosikerta 1142). Tampere University of Technology. Saatavissa: https://tutcris.tut.fi/portal/files/2652042/ijas.pdf

Jylhänlehto, S. 2016. Paikalliset voimat rakentavat Kuhmoon aivan uudenlaisen koulun – kunnan puuelementtitehdas päihitti latvialaisen ja itävaltalaisen. Maaseudun Tulevaisuus. Luettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/paikalliset-voimat-rakentavat-kuhmoon-aivan-uudenlaisen-koulun-kunnan-puuelementtitehdas-päihitti-latvialaisen-ja-itävaltalaisen-1.171889

Kiviluoma, R. 2005. Tuulen vaikutus. Rakennustieto. Luettu 22.9.2019. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070501.pdf

Kiviniemi, R. 2016. Korkean rakentamisen haasteet. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Luettu 22.9.2019. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/119506/Kiviniemi_Rami.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Korhonen, R. & Nuutinen, H. 2017. CLT-tilaelementtien suunnittelu. Kuopio: Savonia-Ammattikorkeakoulu. Diaesitys. Haettu 8.12.2019 Saatavissa: https://docplayer.fi/106037992- Clt-tilaelementtien-suunnittelu.html.

Kortela, A. 2017. Puukaupunkirakentaminen vihdoin käyntiin Turussa. Turun Sanomat. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.ts.fi/koti/1279290686/Puukaupunkirakentaminen+vihdoin+kayntiin+Turussa

Kortelainen, M. 2018. ”Oikea puurakentamisen irvikuva” – Suomen korkeimman puukerrostalon rakennuttaja arvostelee hanketta rajusti. Rakennuslehti. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.rakennuslehti.fi/2018/02/oikea-puurakentamisen-irvikuva-suomen-korkeimman-puukerrostalon-rakennuttaja-arvostelee-hanketta-rajusti/

Lättilä, H. 2017. Uusi anturijärjestelmä kertoo puuelementin kosteuden. Rakennuslehti. Luettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.rakennuslehti.fi/2017/11/uusi-anturijarjestelma-kertoo-puuelementin-kosteuden/

Malczyk, R. 2017. CLT offers seismic durability against earthquakes. REMI Network. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.reminetwork.com/articles/clt-offers-seismic-durability/

Metsä Wood. Kerto LVL. Luettu 7.12.2019. Saatavissa: https://www.metsawood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto.aspx

Mölsä, S. 2014. Sääsuoja on tarpeen puutalolle, mutta olisi turha lisäkustannus betonitalolle. Rakennuslehti. Luettu 11.12.2019. Saatavissa:

https://www.rakennuslehti.fi/2014/11/saasuoja-on-tarpeen-puutalolle-mutta-olisi-turha-lisakustan- nus-betonitalolle/

Mölsä, S. 2017. Sateinen ja tuulinen kesä koetteli Wood Cityn rakentajia Jätkäsaaressa. Rakennuslehti. Luettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.rakennuslehti.fi/2017/11/sateinen-ja-tuulinen-kesa-koetteli-wood-cityn-rakentajia-jatkasaaressa/

Niemi, H. 2019. Akustiikkasuunnittelun luentokalvot. Tuni Moodle. Haettu 14.12.2019. Saatavissa: https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/192276/mod_page/content/11/RAK-32501 2019syksy Osa 4 Akustiikka luentokalvot.pdf

Pajunen, V. 2012. Rantarakentamisen julkisivurakenteiden suunnittelun haasteita. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 14.12.2019. Saatavissa https://docplayer.fi/2882844-Vesa-pajunen-rantarakentamisen-julkisivurakenteiden-suunnittelun-haasteita-kandidaatintyo.html

Pulkkinen, H. 2016. CLT:n ominaisuudet ja käyttö rakennusmateriaalina. Opinnäytetyö. Centria-ammattikorkeakoulu. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/106068/pulkkinen_hanna-liisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Puuinfo.fi – Monikerroslevy (CLT). Luettu 27.10.2019. Saatavissa: https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinooripuutuotteet/monikerroslevy

Puurakentajat. CLT-rakenteet. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.puurakentajat.fi/clt-rakenteet

Ratu 0425. 2019. Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Rakennustieto Oy. Haettu 8.12.2019. Saatavissa: https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/Ratu%200425. (vaatii käyttäjälisenssin.)

Rautiainen, E. 2018. CLT-käyttöopas. Haettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/145780/Rautiainen_Esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ravenscroft, T. 2017. What is cross-laminated timber (CLT)? B1M. Luettu 28.10.2019. Saatavissa: https://www.theb1m.com/video/what-is-cross-laminated-timber-clt

Stora Enso. LVL. Luettu 7.12.2019. Saatavissa: https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/massive-wood-construction/lvl

Stora Enso. 2012. Puurakentamisen läpimurto tilaelementeillä. Youtube. Haettu 11.12.2019. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=UT-P4nyn5ys

Tekniikan Maailma. 2019. Teknologia. Luettu 7.12.2019. Saatavissa: https://tekniikanmaailma.fi/suomen-korkein-puukerrostalo-nousee-harjakorkeuteen-talta-14-kerroksinen-talo-nayttaa-nyt/

Tilastokeskus. 2019. Rakennustuotannon tilastoja. Luettu 11.12.2019. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/ras/2019/09/ras_2019_09_2019-11-26_tie_001_fi.html

Tompuri, V. 2016. CLT tulee rakentamiseen. Rakennustaito. Luettu 13.12.2019. Saatavissa: https://rakennustaito.fi/clt-tulee-asuinrakentamiseen/

Törmänen, E. 2019. Tylyt luvut puurakentajille – ”Rakentamisen nousu ei ole koskenut puurakentamista”. Tekniikka & Talous. Luettu 9.12.2019. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/tylyt-luvut-puurakentajille-rakentamisen-nousu-ei-ole-koskenut-puurakentamista/519dcc91-82fe-4bf9-91b4-6e8cd5da0ac1

Väisänen, P. 2003. Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. Aalto-yliopisto. Luettu 14.12.2019. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/827970/mod_resource/content/1/Tiili - Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle.pdf

Ympäristöministeriö. 2019a. Suomalainen puukerrostalohankekanta 11/2019. Luettu 8.12.2019. Saatavissa: https://www.ym.fi/download/noname/%7B9D017D99-BB81-471A-80C8-0C3F11329645%7D/153063

Ympäristöministeriö. 2019b. Maankäyttö ja rakentaminen. Luettu 12.12.2019. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Ohjelmat_ja_strategiat/Puurakentamisen_toimenpideohjelma/Selvitys_Suomeen_suunniteltujen_puukerro(53077)

Ympäristöministeriö. 2019c. Puurakentamisen ohjelma. Luettu 13.12.2019. Saatavissa: https://www.ym.fi/puurakentaminen

Kuva 1: Kiilto. 2018. Cision News. Haettu 28.10.2019. Saatavissa: https://news.cision.com/kiilto/r/kiilto-and-clt-plant-open-a-new-chapter-in-the-success-story-of-finnish-wood-construction,c2926450

Kuva 2: Kallesoe Machinery A/S. Haettu 28.10.2019. Saatavissa: http://kallesoemachinery.dk/cases/2-clt-anlæg-til-hasslacher-norica-timber.aspx

Kuva 3: Metsä Wood:n verkkosivusto. Haettu 7.12.2019. Saatavissa: https://www.metsawood.com/fi/Pages/default.aspx

Kuva 4: Tekniikan Maailman verkkosivusto. Haettu 7.12.2019. Saatavissa: https://tekniikanmaailma.fi/suomen-korkein-puukerrostalo-nousee-harjakorkeuteen-talta-14-kerroksinen-talo-nayttaa-nyt/

Kuva 5: Turun Kaupunki. Haettu 14.12.2019. Saatavissa: https://www.turku.fi/linnanfaltti

Kuva 6: Hyogo Earthquake Engineering Research Center. 2007. Haettu 14.12.2019. Saatavissa: http://www.bosai.go.jp/hyogo/ehyogo/research/movie/movie.html

Kuva 7: Fali, P. 2016. Paikalliset voimat rakentavat Kuhmoon aivan uudenlaisen koulun – kunnan puuelementtitehdas päihitti latvialaisen ja itävaltalaisen. Maaseudun Tulevaisuus. Haettu 15.12.2019. Saatavissa: https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/paikalliset-voimat-rakentavat-kuhmoon-aivan-uudenlaisen-koulun-kunnan-puuelementtitehdas-päihitti-latvialaisen-ja-itävaltalaisen-1.171889

Kuva 8: Holzforschung Austrian. 2015. Fire Protection of CLT. Stora Enso. Haettu 12.12.2019. Saatavissa: https://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Documentation-on-fire-protection-EN.pdf

Kuva 9: Gustafsson, S. Uusi anturijärjestelmä kertoo puuelementin kosteuden. Rakennuslehti. Haettu 15.12.2019. Saatavissa: https://www.rakennuslehti.fi/2017/11/uusi-anturijarjestelma-kertoo-puuelementin-kosteuden/

Kuva 10: Canadian Architect. Reaching new heights. 2017. Haettu 15.12.2019. Saatavissa: https://www.canadianarchitect.com/reaching-new-heights-2/