

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jussi Gröhn

Rakentamisen uusi aikakausi – CLT-rakenteet puukerrostalossa

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 600

Tekijä
Jussi Gröhn

Nimeke
Rakentamisen uusi aikakausi – CLT-rakenteet puukerrostalossa

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää puurakenteisen kerrostalon rakennetyypit ja pohtia mahdollisia uusia rakennetyyppejä ja rakenneratkaisuja. Tässä opinnäytetyössä esitellään Suomen puukerrostalorakentamista ja merkittävimpiä CLT-kerrostalokohteita. Työssä kerrotaan myös Suomen puukerrostalorakentamisen historiasta ja vaiheista nykypäivään. Opinnäytetyössä kerrotaan CLT-levyn ominaisuuksista ja valmistuksesta sekä miksi sen käyttöä pitäisi lisätä kerrostalorakentamisessa.

Rakennetyyppien kohdalla otettiin huomioon muun muassa palonkesto ja ääneneristävyys. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin erityisesti CLT-rakenteisiin ja niiden käyttöön kerrostalorakentamisessa. Rakennetyyppien kohdalla esitellään P2-luokan rakennetyypit, jotka soveltuvat 5-8 kerroksisiin asuin- tai työpaikkarakennuksiin.

Kieli
suomi

Sivuja 33

Asiasanat
CLT, puukerrostalo, rakennetyypit



THESIS
May 2014
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
(013) 260 600

Author
Jussi Gröhn

Title
New Era of Construction – CLT Structures in a Wooden Multi-Storey Building

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The purpose of this thesis was to study wooden multi-storey building structure types and consider possible new structural types and solutions. This thesis presents Finnish construction of wooden blocks of flats and also presents notable CLT blocks of flats in Finland. The thesis also describes the history and the phases of wooden apartment building construction in Finland. The thesis describes the CLT-plate features and manufacturing, as well as reasoning and advantages for use in multi-storey building.

Considering the structure types, fire resistance and sound insulation were taken into account. This thesis focused on CLT-structures in particular and using them in blocks of flats. The presented structure types were P2 types and which are suitable for 5-8 storey residence or workplace buildings.

Language
Finnish

Pages 33

Keywords

CLT, wooden multi-storey building, structural element

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Miksi CLT?	6
3	Perustietoa CLT:stä	7
3.1	Mikä CLT?	7
3.2	Levyn ominaisuudet	9
3.3	CLT-levyn valmistus	10
4	CLT-rakenteet puukerrostalossa	12
4.1	Yleistä rakenteista	12
4.2	Ulkoseinät	13
4.3	Väliseinät	16
4.4	Välipohjat	17
4.5	Yläpohjat	20
5	Merkittävimmät CLT-puukerrostalokohteet Suomessa	21
5.1	Puukerrostalorakentamisen historiaa	21
5.2	Valmistuneet kohteet	22
5.3	Käynnissä olevat kohteet	25
6	Mahdollisuudet	27
7	Pohdintaa	30
	Lähteet	32

1 Johdanto

Betonirakentamisella on vahva jalansija suomalaisessa kerrostalorakentamisessa. Suomessa on tehty vuosikymmeniä kerrostaloja betonista ja sitä osataan myös hyvin käyttää ja suunnitella. Suomessa kasvaa enemmän puuta, kuin mitä sitä ehditään käyttää. Niinpä Suomen suurin luonnonvara, puu, olisi oivallinen tapa vähentää hiilijalanjälkeä ja lisätä ekologista ajattelutapaa. Suomen metsistä riittäisi raaka-ainetta puhtaaseen ekologiseen rakentamiseen useiksi vuosikymmeniksi tai sadoiksi, jatkuvasti uusiutuvan luonnonvaran takia. Puun käyttö kerrostalorakentamisessa on lisääntymään päin ja uusia hankkeita ja rakenneratkaisuja kehitellään jatkuvasti.

Kaavoituksen ja palomääräysten uudistus on mahdollistanut yhä korkeampien puukerrostalojen rakentamisen Suomeen. Puuteollisuus on myös kehitellyt uusia tekniikoita helpottamaan puukerrostalorakentamista. Tässä tärkeässä osassa on RunkoPES eli PuuElementtiStandardi, jota esitellään myöhemmin tässä opinnäytetyössä. Nykyisin puukerrostalorakentaminen on vielä lapsen kengissä Suomessa, mutta sitä pyritään jatkuvasti lisäämään ja kehittämään. Nykyiset suunnittelutoimistot ovat keskittyneet betonielementtien suunnitteluun ja heidän on varmasti vaikea lähteä muuttamaan omia toimintatapojaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja selvittää miten CLT-rakenteita käytetään puukerrostaloissa. Työssä tutkitaan millaisilla CLT-rakenteilla saavutetaan palo- ja äänitekniset vaatimukset. Tässä työssä keskityttiin erityisesti ulkoseinä-, väliseinä- ja välipohja- sekä yläpohjarakenteisiin. Perustus ja alapohjarakenteita ei otettu huomioon työtä tehdessä.

Työn tavoite oli saada tietoa erityisesti CLT-runkoisten puukerrostalojen runkorakenteista, mutta myös puukerrostalojen yleisistä vaatimuksista ja periaatteista. Tavoitteena oli myös lisätä omaa ammattitaitoa puukerrostalojen osalta ja näin ollen lisätä omaa kilpailukykyä tiukoilla työmarkkinoilla.

2 Miksi CLT?

Suomessa puurakentamista pystyttäisiin lisäämään reilusti, ilman että se aiheuttaisi metsillemme ongelmia. Suomen pinta-alasta 78 % on metsää ja sitä käytetään nykyään noin 55 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Metsiemme käyttöä pystyttäisiin lisäämään noin 75 miljoonaan kuutiometriin vuodessa, ilman että se aiheuttaisi metsien pienenemistä. Puurakentamisen kasvumahdollisuudet ovat erityisesti kerrostalorakentamisessa. (Tolppanen 2013, 12.)

Itävallassa ja Saksassa alun pitäen kehitetty CLT-levy on noussut Suomessa esille uusien palomääräysten ja puurakentamisen kehitysprojektin mukana. CLT-levyjen käyttö on nopeasti yleistymässä Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. (FPInnovations. 2011a.) Suomen näkökulmasta CLT-levyjen valmistus ja käyttö olisi maantieteellisesti kannattavaa ja erityisesti ympäristöystävällistä. Kiinnostus ekologista rakentamista kohtaan on kasvamaan päin ja hiilipäästöjä yritetään jatkuvasti vähentää. (Kiintopuu. 2015.)

Betonielementteihin verrattuna CLT-elementit ovat paljon kevyempiä ja helpottavat ja nopeuttavat asennusta työmaalla. Elementit suunnitellaan paljon pidemmälle, mitä perinteisessä betonikerrostalohankkeessa. Rakennustyömaalla ei välttämättä tarvita suuria nostureita, vaan suurelementit voidaan nostaa autonostureilla paikoilleen. Näin ollen rakennustyömaa voidaan rakentaa kokonaan teltan alla, eikä näin ole riippuvainen sään vaihteluista. Puukerrostalon suuri etu on, että sisätyövaihe voidaan aloittaa heti, kun suurelementit ovat paikallaan. Erityisesti tilaelementit nopeuttavat työmaa-aikaa ja näin ollen vähentävät työmaakustannuksia. Elementit tehdään tehtaalla kuivissa sisätiloissa, jolloin kosteutta ei pääse rakenteiden väliin ja aiheuttamaan kosteusongelmia.

CLT-levy toimii rakennuksen kantavana rakenteena pientaloista korkeisiin kerrostaloihin saakka. CLT on luja, jämerä ja turvallinen rakenne. CLT-levyn raaka-aine, puu, on uusiutuva luonnonvara sekä sitä voidaan myös kierrättää tehokkaasti. CLT on myös innovatiivinen rakenne ja antaa uusia mahdollisuuksia arkkitehtuurille. Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus on todettu hyväksi CLT-

rakenteisessa puukerrostalossa. Puupinta voidaan tarvittaessa jättää paljaaksi, jolloin puun luonnonläheinen ulkonäkö ja rauhoittava vaikutus pääsevät esille. (Kiintopuu. 2015.)

Puukerrostaloista puhuttaessa tulee ensimmäiseksi mieleen paloturvallisuus, joka CLT-levyllä massiivirakenteen ansiosta on erinomainen. Palotilanteessa massiivipuurakenne ei pala, vaan hiiltyy ja sprinklerijärjestelmä lisää myös paloturvallisuutta edelleen. CLT-levyjen palosuojauksena käytetään lisäksi kipsilevyä. Suomen palomääräykset vaativat, että kaikkiin yli kaksi kerroksisiin puukerrostaloihin tulee asentaa automaattinen palonsammutusjärjestelmä eli sprinkleri-järjestelmä. Näin ollen puurakenteisesta kerrostalosta tulee jopa turvallisempi kuin perinteisestä betonirakenteisesta kerrostalosta. (Tolppanen 2013, 137.)

3 Perustietoa CLT:stä

3.1 Mikä CLT?

Cross Laminated Timber, eli lyhennettynä CLT on ristiinliimattu massiivipuulevy. CLT-levyt koostuvat ristikkäin liimatuista puukerroksista, mitkä voivat olla joko 3, 5, 7 tai 8 kerroksisia. Kuvassa 1 näkyy CLT-rakenteen kerroksellisuus. CLT-levyn yleinen koko on 2,95 x 16 metriä ja sen paksuus voi olla enintään 40 senttimetriä. Levyt työstetään yleensä valmiiksi haluttuihin mittoihin ja ikkuna- ja oviaukot tehdään valmiiksi tehtaalla. Menetelmästä riippuen levyt voivat olla syrjäliimattu tai vain lapeliimattu. Syrjäliimauksella saadaan levystä vielä tiiviimpi ja se toimii siten ilman- ja höyrynsulkuna. CLT-levyjen liimauksessa käytetään polyuretaani liimaa, joka on hieman normaaleja formaldehydi liima-aineita kalliimpaa ja ominaisuuksiltaan parempaa sekä ympäristöystävällisempää. Levyn ristikkäisyyden ansiosta CLT-levy on tiivis ja luja materiaali. (Stora Enso. 4/2015.) Ristikkäisyyden ansiosta myöskään erillistä jäykistystä ei tarvita, koska CLT toimii itsessään jäykisteenä. CLT-levyrakennetta käyttäen voidaan rakentaa jopa 30-kerroksisia taloja.

(Tolppanen 2013, 44.) Tällä hetkellä korkein CLT-kerrostalo löytyy Norjasta, jossa on rakenteilla 14-kerroksinen CLT-runkoinen kerrostalo (kuva 2).



Kuva 1. 5-kerroksinen CLT-levy. (Hybrid Build Solutions. 2013.)



Kuva 2. 14-kerroksinen CLT-kerrostalo. (World Conference on Timber Engineering. 2014.)

3.2 Levyn ominaisuudet

Tulevaisuuden rakenteena CLT on erittäin hyvä tuote. Nykyään on tärkeää ajatella rakentamisen ympäristöystävällisyyttä ja siinä puu kestää vertailun muihin rakennusmateriaaleihin. Puu on uusiutuva ja kierrätettävä materiaali, joka lisäksi sitoo ilmakehän hiilidioksidia ja toimii hiilinieluna. (Stora Enso. 4/2015.)

CLT-levy on erittäin luja ja antaa uusia mahdollisuuksia arkkitehtuurille. CNC-koneella pystytään tekemään minkä tahansa muotoisia reikiä helposti, vaikuttamatta CLT-levyn kestävyysmerkkivästi. Ristikkäisyyden ansiosta kuormat jakautuvat kahteen suuntaan. Samanlaista kuorman jakautumista kuten teräsbetonirakenteilla. CLT-levyjen hyvä kantavuus tulee poikkisuuntaisista lamelleista. CLT-levyllä päästään 5-6 metrin jänneväliin välipohjissa, riippuen levyn paksuudesta. CLT-runkoinen kerrostalo vaatii siis hieman enemmän kantavia väliseinälinjoja, kuin betonirunkoinen kerrostalo. Koska CLT koostuu ristikkäisistä lamelleista, niin lujuuslaskennassa ei voida käyttää tavanomaisia taulukoita ja mitoitusohjelmia. CLT:lle on olemassa omia mitoitusaulukoita, mutta ne kertovat vain suuntaa antavia arvoja. Jokainen kohde täytyy tarkastella ja mitoittaa erikseen. (Stora Enso. 2015 Statiikka)

CLT-levyä on myös testattu paloa vastaan eri tutkimuksissa. Stora Enso on teettänyt Holzforschung Austria nimisellä tutkimuslaitoksella laajamittaisia polttokokeita 80 millimetrin paksuisille CLT-levyille (Kuva 3). Polttokokeessa testattiin CLT-levyn kestävyttä 60 minuutin palotilanteessa. Kyseisessä polttokokeessa CLT-levy oli suojattu kipsilevyllä. Kuvassa 3 näkyy musta, hiiltynyt alue ja tummanruskea alue eli pyrolyysi alue sekä vahingoittumaton puu. Niin kuin kuvasta 3 näkyy, vahingoittumattoman puun osuus on lähes 80 % koko puulevyn paksuudesta.



Kuva 3. CLT-levy polttokokeen jälkeen. (Stora Enso. 1/2014. CLT Fire Protection.)

3.3 CLT-levyn valmistus

CLT-valmistajia on nykyään useita. Saksassa KLH Massivholz GmbH käyttää risiin laminoidulle puulevyille nimitystä KLH. Suomeen tuotavat CLT-levyt valmistetaan nykyisin Itävallassa Stora Enson Ybbsin ja Bad St. Leonhardin tehtaissa. (Stora Enso. 4/2015.) Myös Kemissä Ammattiopisto Lappian tiloissa on käynnistetty CLT-levyjen valmistus. Siellä toiminta keskittyy opetuskäyttöön sekä uusien innovatiivisten tuotteiden kehitykseen. Varsinainen Suomen ensimmäinen CLT-levyn valmistaja ja toimittaja löytyy Kuhmosta. CrossLam:in tehdas aloitti toimintansa 1.12.2014. (CrossLam Oy. 2014.)

Pääsin tutustumaan tuoreeltaan avattuun Kuhmossa sijaitsevaan CrossLam:in CLT-tehtaaseen huhtikuussa 2015. Levyjen tuotanto aloitetaan tuomalla lautatavara hyvissä ajoin sisälle halliin, niin sanottuun tasautumistilaan, ennen kuin sitä ryhdytään työstämään. Tällöin puun kosteus tasoittuu optimaalisiin lukemiin ja puun eläminen ja halkeilu vähenee valmiissa tuotteessa. Ensimmäisenä tuotantolinjalla on puutavaran sormijatkaminen, jonka jälkeen se menee höyläämön

läpi. Pinnan höylääminen poistaa puutavarasta epätasaisuudet ja tekee liima-
saumasta tiiviin. Seuraavaksi puutavara katkaistaan oikean pituiseksi ja sen jäl-
keen se siirtyy laminointi paikalle. Kun pohjakerros on aseteltu, liimauskone levit-
tää liiman, jonka jälkeen asetellaan ristikkäiset laudat liiman päälle. Levyn pak-
suudesta ja kerroksista riippuen tätä jatketaan tarvittavan verran. Viimeisen ker-
roksen syyt ovat yleensä samoin päin, kuin ensimmäisen kerroksen. Kun ristiin
laminointi on tehty, levy kuljetetaan puristimeen, jossa se puristetaan joka suun-
nasta tiiviiksi yhtenäiseksi levyksi. Puristuksen jälkeen levyyn tehdään tarvittavat
työstöt CNC-koneella. Tämän jälkeen levyyn voidaan tarvittaessa asentaa eris-
teet ja muut materiaalit ulkoverhoukseen saakka.



Kuva 4. CLT-levyn valmistus. (Puuinfo.)

4 CLT-rakenteet puukerrostalossa

4.1 Yleistä rakenteista

Suomen Rakennusmääräyskokoelma E1 uudistettiin vuonna 2011, jolloin mahdollistettiin puurunkoisten ja puujulkisivulla olevien kerrostalojen rakentaminen aina 8 kerrokseen asti. Suomessa 3-8 kerroksiset asuinpuukerrostalot kuuluvat paloluokkaan P2. (Tolppanen 2013, 136.) Vuonna 2011 tullut uudistus mahdollistaa nykyisin 4 kerroksen sijasta, aina 8 kerrokseen asti taulukoituihin arvoihin perustuvan mitoituksen. (Rakennustieto. 1/2012.) Joissakin kohteissa palomääräykset rajoittavat rakennuksen rakenteiden suunnittelua, jolloin toiminnallisella palosuunnittelulla pystytään osoittamaan rakennuksen hyvä turvallisuus palotilanteessa.

CLT-rakenteita käytetään paljon tilaelementtijärjestelmällä eli elementit tehdään tehtaalla itsenäisiksi lohkoiksi. Elementteihin asennetaan usein valmiiksi ikkunat, ovet ja kiintokalusteet sekä LVIS-asennukset. Tilaelementtien suunnittelussa tulee ottaa huomioon tilaratkaisut ja kuljetusten asettamat rajoitteet. Myös asennuksen aikainen jäykistys ja elementtien suojaaminen säältä tulee ottaa huomioon. Tilaelementtitekniikalla puukerrostalo valmistuu vauhdilla, koska jopa 90 % valmiusasteessa olevat elementit nostetaan ja asennetaan paikoilleen nopeasti. Tilaelementtijärjestelmä sopii myös lisäkerrosrakentamiseen. CLT:stä voidaan tehdä myös suurelementtejä. (Tolppanen 2013, 48.)

RunkoPES eli Puu Elementti Standardi on avoin puurakentamisen teollisuusstandardi. Sen tavoite on yhtenäistää rakenneperiaatteet ja helpottaa suunnittelua ja erityisesti kilpailua. RunkoPES:in etuna on, että rakennus voidaan toteuttaa usean valmistajan elementeillä, koska liitosratkaisut ja periaatteet ovat yhtenevät kaikkien valmistajien kesken. Siten esimerkiksi runkojärjestelmien kilpailutuksen vertailu helpottuu. (Tolppanen 2013, 34.)

Seuraavissa kappaleissa on esitetty esimerkki rakennetyypit, jotka täyttävät 15.4.2011 voimaan tulleet palomääräykset. Myös 1.7.2012 voimaan tulleet energiatehokkuusvaatimukset täyttyvät. Rakenteet soveltuvat P2-luokan asuin- ja työpaikkarakennuskohteisiin, joissa on 5-8 kerrosta. (Puuinfo. 1/2012. Yleinen rakennetyyppikirjasto.)

4.2 Ulkoseinät

CLT-runkoisessa ulkoseinässä lämmöneristys laitetaan aina kantavan rungon ulkopuolelle. Jos eristys laitetaan sisäpuolelle, on vaarana, että kosteus tiivistyy eristeen ja kantavan rungon väliin. CLT-rakenteita käytettäessä voidaan eristeen paksuutta hieman vähentää, sillä CLT-levy itsessään toimii lämmöneristeenä. Lämmönläpäisyn vertailuarvolla 0,17 (W/m²K) normaalissa rankarakenteisessa seinässä tulee käyttää muista rakenteista riippuen 225–260 millimetriä lämmöneristettä. CLT-runkoa käytettäessä riittää 200–225 millimetrin lämmöneristekerros saman vertailuarvon täytyessä. (Tolppanen 2013, 56.)

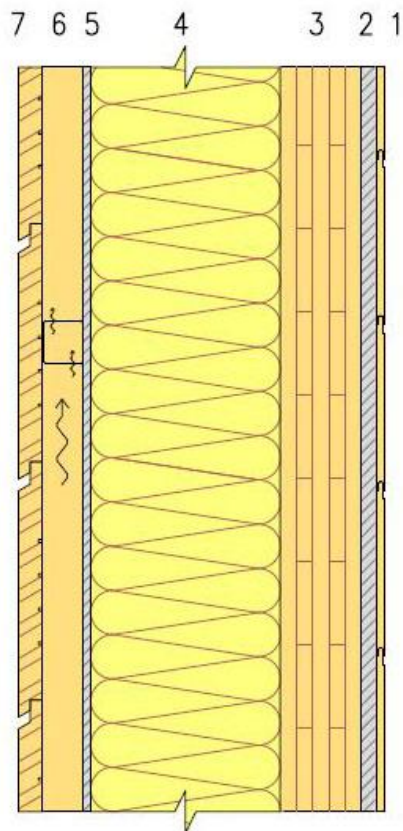
Jos CLT-levyt eivät ole syrjäliimattuja tulee CLT-levyn ja lämmöneristeen välissä käyttää ilman- tai höyrynsulkumuovia. Jos taas CLT-levyt ovat lape- ja syrjäliimattu, ei erillistä ilman tai höyrynsulkumuovia tarvita. (Puuinfo. 1/2012. Yleinen rakennetyyppikirjasto.) Stora Enson CLT-levyt ovat yleensä syrjä- sekä lapeliimattuja ja näin toimivat höyrynsulkuna. Kuhmossa toimivan CrossLam:in levyt ovat taas pelkästään lapeliimattuja ja vaativat erillisen höyrynsulun. CrossLam perustelee syrjäliimauksen puuttumisen puun elämisellä. Levy kestää paremmin puun elämisen, eikä halkeilua tapahdu niin paljoa, kun lamellit ovat vain lapeliimattuja. (CrossLam Oy. 2014)

Ulkoseinässä sisäpuolella käytetään 18 millimetrin paksuista kuitukipsilevyä kantavan rungon palonsuojauksena. Materiaali tulee olla K230 luokan täyttävä suojaverhous. Vaatimuksena on myös, että tuote täyttää ominaisuudet A2-s1, d0. Tämä tarkoittaa, että tarvikkeen osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu ja savun tuotto on erittäin vähäistä eikä palavia pisaroita synny. Ulkoverhouksen ja tuulensuojalevyn välissä olevassa tuuletusraossa käytetään palokatkoja 1 kpl /

kerros. Palokatkon tarkoituksena on estää palon leviäminen tuuletusraon kautta. Puuverhotun ulkoseinärakenteen massa on 109–125 kg/m². Kuvassa 5 esitetyn rakenteen U-arvo on 0,16 W/m²K ja hiiltymämitoituksen perusteella paloluokitus REI 60. (Puuinfo. 1/2012. Yleinen rakennetyyppikirjasto.)

Ulkoseinärakenteet:

1. Sisäverhous
2. Kuitukipsilevy 18 mm
3. CLT-levy 95–121 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
4. Mineraalivilla 223 mm
5. Tuulensuoja, kipsilevy 9 mm
6. Tuuletusrako/palokatkot 48 mm
7. Ulkoverhous

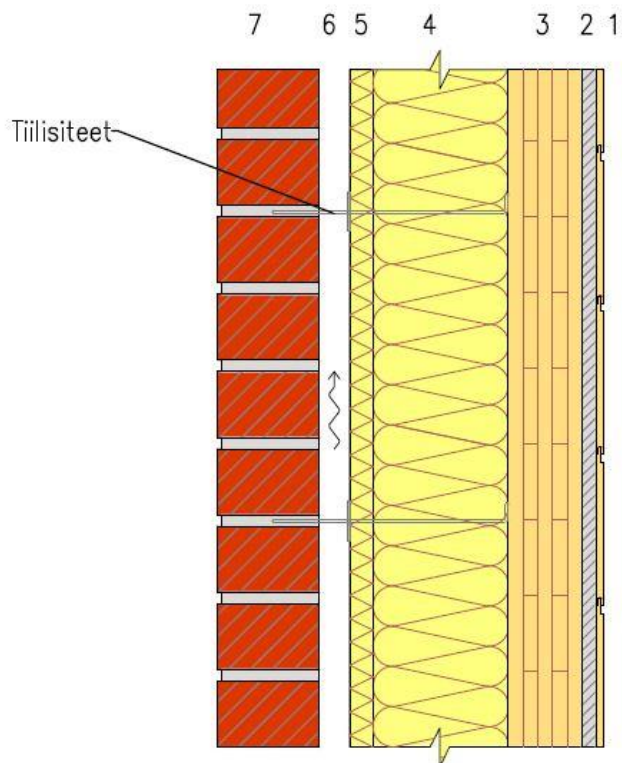


Kuva 5. Ulkoseinärakenne. (Puuinfo. 1/2012.)

Ulkoseinässä julkisivumateriaalina voidaan käyttää myös tiiliverhous. Tällöin lämmöneristeen ulkopinnassa käytetään jäykkää tuulensuojamineraalivillaavillaa 30 millimetriä, joka kiinnitetään tiilisteillä kantavaan CLT-runkoon. (Kuva 6) Tiiliverhotun ulkoseinän massa kasvaa kaksinkertaiseksi verrattuna puujulkisivulla olevaan. Tiilijulkisivulla olevan elementin massa on 209–225 kg/m². (Puuinfo. 1/2012. Yleinen rakennetyyppikirjasto.)

Tiiliverhottu ulkoseinärakenne:

1. Sisäverhous
2. Kuitukipsilevy 18 mm
3. CLT-levy 95–121 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
4. Mineraalivilla
5. Jäykkätuulensuojamineraalivilla 30 mm
6. Tuuletusrako 40 mm
7. Julkisivutiili 130 mm



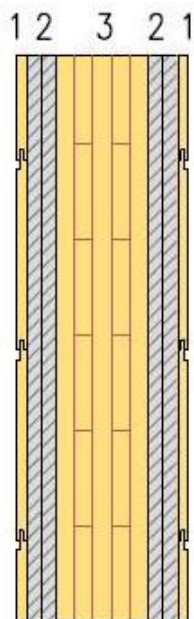
Kuva 6. Tiiliverhottu ulkoseinärakenne. (Puuinfo. 1/2012.)

4.3 Väliseinät

Kantavilla väliseinillä rakenteen paksuus riippuu sille tulevista kuormista. CLT-rakenteisissa väliseinissä kestävyyttä lisätään massiivipuulevyä paksuntamalla. Ylemmissä kerroksissa voidaan käyttää ohuempia levyjä pienempien kuormien takia. Kantavissa väliseinissä käytetään kaksinkertaista 15 millimetrin paksuista palokipsilevyä kantavan rungon palosuojauksena. Huoneistojen välisissä seinissä (Kuva 8) käytetään 18 millimetrin paksuista kuitukipsilevyä kantavan rungon palosuojauksena. Väliseinän ääneneristeenä käytetään 50 millimetriä mineraalivillaa. (Tolppanen 2013, 60.) Kuvassa 8 esitetyn huoneistojen välisen rakenteen ääneneristävyys $R'w$ on 55 dB, kun käytetään 95 millimetriä paksua CLT-levyä. (Puuinfo. 1/2012.)

Väliseinärakenteet:

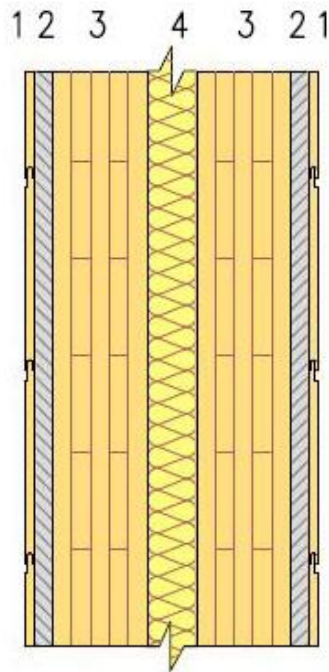
1. Sisäverhous
2. Palokipsilevy 2x15 mm
3. CLT-levy 95–121 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)



Kuva 7. Kantava väliseinä. (Puuinfo. 1/2012.)

Huoneistojen välisen kantavan seinän rakenteet:

1. Sisäverhous
2. Kuitukipsilevy 18 mm
3. CLT-levy 95–121 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
4. Ääneneristys, Mineraalivilla 50 mm



Kuva 8. Huoneistojen välinen kantava seinä. (Puuinfo. 1/2012.)

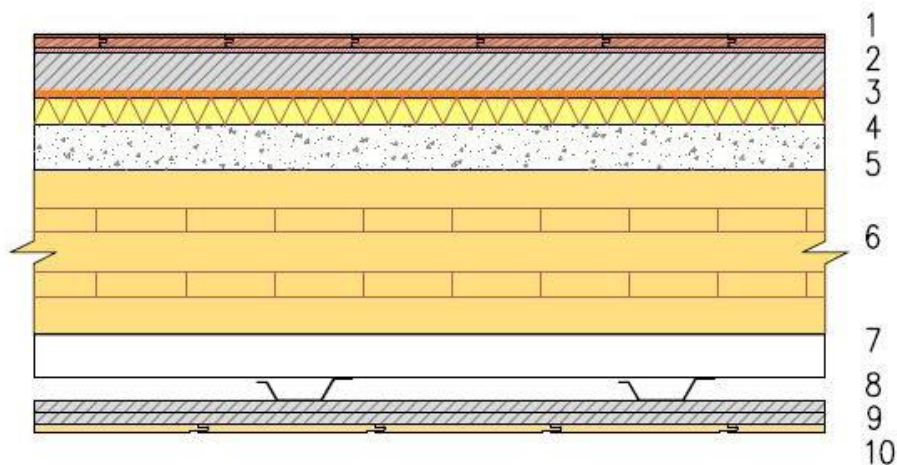
4.4 Välipohjat

Puukerrostalojen välipohja rakenteisiin on olemassa useita ratkaisuja. Usein käytetään yhdistelmä rakenteita parempien palo- ja äänieristyksen vuoksi. Pelkkä CLT-välipohja ei itsessään täytä kerrostalon palomääräyksiä. Betonivalulla saadaan lisää massaa välipohjaan, joka lisää ääneneristävyttä. Myös taipuma- ja värähtelymitoitus tulee ottaa huomioon välipohjarakennetta suunniteltaessa. Kerroskorkeus on yleensä myös hieman betonirakenteista kerrostaloa korkeampi, johtuen hieman paksummista rakenteista. Kerroskorkeutta on 3100 tai 3200 millimetriä, johtuen 2500 millimetrin huonekorkeuden vaatimuksesta. (Tolppanen 2013, 62.)

Äänitekniisiä ratkaisuja mietittäessä on tärkeää, että yläkerran askeläänet eivät kantautuisi alakerran huoneistoon. Tähän on kehitetty akustinen jousiranka, jolla kiinnitetään huoneiston sisäkattomateriaali kantavaan välipohjaan. Akustisen jousirangan periaate on, että ylhäältä tuleva välipohjan värähtely vaimenee ikään kuin jousen periaatetta käyttäen. Akustinen jousiranka on esitetty kuvassa 9 kohdassa 8.

Rakenteet:

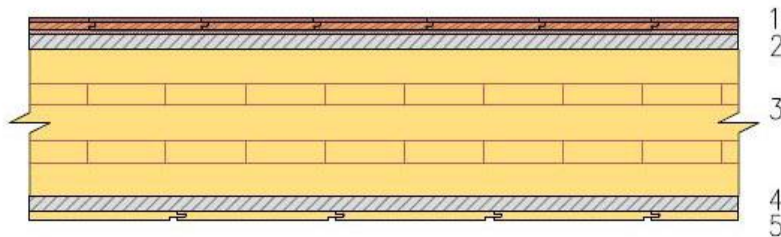
1. Lattiapinnoite
2. Betoni 50 mm
3. Valusuoja
4. Askeläänieristysvilla 30–50 mm
5. Ääneneristys, kalkkikivirouhe 50 mm
6. CLT-levy 138–296 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
7. Koolaus 48 mm
8. Akustiset jousirangat k400 25 mm
9. Kuitukipsilevy 2x10 mm
10. Sisäverhous



Kuva 9. Huoneistojen välinen välipohja. (Puuinfo. 1/2012.)

Huoneiston sisäisen välipohjan rakenne:

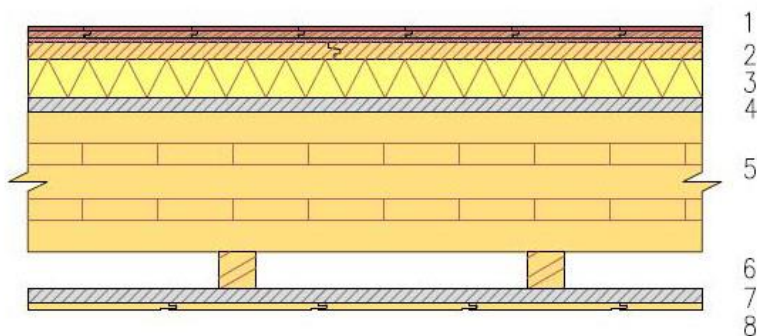
1. Lattiapinnoite
2. Kuitukipsilevy 18 mm (kantavan rakenteen palonsuojaus)
3. CLT-levy 138–296 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
4. Kuitukipsilevy 18 mm (kantavan rakenteen palonsuojaus)
5. Sisäverhous



Kuva 10. Huoneiston sisäinen välipohja. (Puuinfo. 1/2012.)

Toinen esimerkkirakenne huoneiston sisäiseen välipohjaan:

1. Lattiapinnoite
2. Lastulevy
3. Askeläänieristevilla 30–50 mm
4. Kuitukipsilevy 18 mm
5. CLT-levy 138–296 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
6. Koolaus
7. Kuitukipsilevy 18 mm
8. Sisäverhous



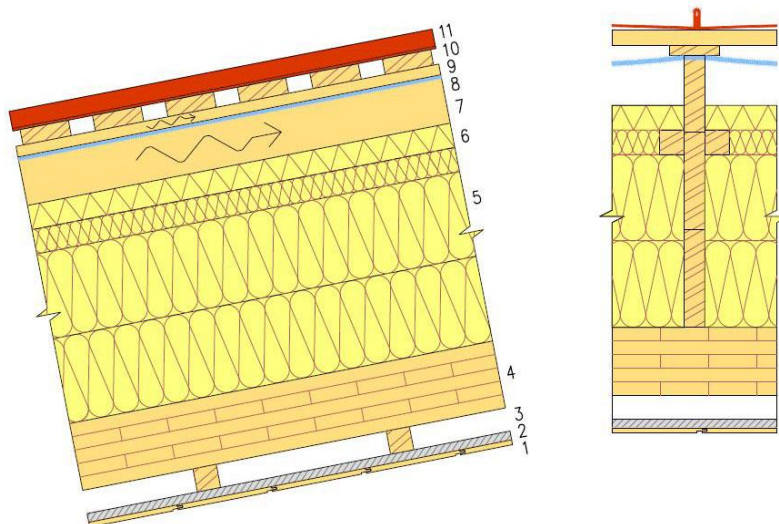
Kuva 11. Huoneiston sisäinen välipohja. (Puuinfo. 1/2012.)

4.5 Yläpohjat

Yläpohjat voidaan toteuttaa CLT-tekniikalla, joko viistosti tai vaakasuoraan. CLT-levy toimii hyvin rakenteen jäykistävänä osana. Yläpohjan eristeiden tulee olla palamattomia P2-luokan puukerrostaloissa. Normaalisti yläpohjassa käytetään 500 millimetrin paksuista eristekerrosta, mutta CLT:tä käytettäessä riittää 400 millimetriä. Yläpohjan (kuva 12) lämmönläpäisykerroin on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aluskatteena käytetään diffuusioavointa kuitukangaskatetta. (Tolppanen 2013, 67–70.)

Yläpohjarakenne alhaalta ylöspäin:

1. Sisäverhous
2. Kuitukipsilevy 18 mm
3. Koolaus 48 mm
4. CLT-levy 138–296 mm (tulee mitoittaa tapauskohtaisesti)
5. Mineraalivilla 400 mm (NR-palkit RAK suunnittelun mukaan)
6. Tuulensuoja 50 mm
7. Yläpohjan tuuletus 100 mm
8. Aluskate
9. Tuuletusrako ja aluskatteen kiinnitys
10. Vesikatteen kiinnitysalusta (riippuu kuormituksesta ja vesikatteesta)
11. Vesikate



Kuva 12. Yläpohja. (Puuinfo. 1/2012.)

5 Merkittävimmät CLT-puukerrostalokohteet Suomessa

5.1 Puukerrostalorakentamisen historiaa

Suomessa puukerrostalojen rakentamista rajoittivat pitkään rakentamismääräykset. 1800-luvulta lähtien Suomessa rakentamismääräykset ja erityisesti palomääräykset kielsivät yli kaksikerroksisten rakennusten rakentamisen puurunkoisena. 1990-luvun alkupuolella ryhdyttiin kehittämään uusia käyttökohteita puulle. Suomessa alkoi 1995 puukerrostalorakentamisen koerakentamisvaihe, joka kesti kaksi vuotta. Tuolloin kehiteltiin uusia puupohjaisia tuotteita ja testattiin puukerrostalorakentamisen työmaa- ja asennustekniikkaa. Vuonna 1997 esiteltiin uudet paloturvallisuusmääräykset, jotka mahdollistivat nyt nelikerroksiset puurunkoiset rakennukset. Puukerrostalorakentaminen ei tehnyt läpimurtoa vielä 90-luvulla, eikä vielä 2000-luvun alussakaan. Ruotsista kantautui hyviä kokemuksia puukerrostalorakentamisesta vuonna 2009, jolloin Suomessakin herättiin uudelleen ja ryhdyttiin uudelleen kehittämään teollista puukerrostalorakentamista. Vuonna 2011 julkaistiin uudet palomääräykset, jotka mahdollistivat nyt aina kahdeksaan kerrokseen asti rakentamisen. (Tolppanen 2013, 17.)

Nykyään Suomessa on 40 puukerrostaloa ja ne sisältävät yhteensä 811 asuntoa. (Helsingin Sanomat. 2/2015.) Suomessa puukerrostalorakentamiselle on asetettu 10 % tavoite, joka tarkoittaa noin 1500 asuntoa vuodessa, josta ollaan vielä tällä hetkellä ainakin reilusti jäljessä. (Kekki, T. 2015.) Suomessa puukerrostalorakentamisen kasvamista on hidastanut voimakas betonirakentaminen. Betoniteollisuudella on ollut käytössä jo 45 vuotta BES-järjestelmä (Betoni Elementti Standardi), joka on edistänyt betonirakentamista Suomessa. Vastaava puurakentamisen standardi eli RunkoPES julkaistiin vasta vuonna 2013.

5.2 Valmistuneet kohteet

Joensuussa, Noljakassa sijaitsee kuuden pienkerrostalon alue. Alueelle valmistui lähes 100 opiskelija-asuntoa. Alueen kerrostalot ovat valmistettu CLT-elementtitekniikalla Stora Enson Pälkäneen tehtaalla. Rakennuksien kantavat rakenteet kuuluvat Urban MultiStorey-konseptiin, joka on Stora Enson oma CLT rakennustyyppijärjestelmä. Lähes passiivitasoiseen puukerrostalohankkeeseen on käytetty 870 m³ CLT:tä, joka oli valmistuessaan Suomen suurimpia puukerrostalokohteita. Joensuun Ellin opiskelija-asunnot valmistuivat kesällä 2013. Kohde valittiinkin vuoden 2013 maakunnalliseksi rakennuskohteeksi. Kohde on toteutettu lähes täysin pohjoiskarjalalaisin voimin. Ainoastaan CLT-levyjen suunnittelu, valmistus ja asennus tulivat muualta. (Stora Enso. 2013. Projektit: Joensuun Elli.)



Kuva 13. Joensuun Elli, Noljakka, Joensuu. (Stora Enso. 2013. Projektit: Joensuun Elli.)

CLT-tekniikkaa on käytetty myös Seinäjoella sijaitsevassa Lintuviita-kohteessa, joka oli valmistuessaan 2013 Suomen korkein puukerrostalo (Kuva 14). Kuusi-kerroksinen, CLT-tekniikkaa hyödyntävä rakennus on toteutettu tilaelementtijärjestelmällä. Tehtaalla pitkälle esivalmistetut elementit nopeuttivat asennusta huomattavasti ja CLT-tilaelementtien asentamiseen kului aikaa 2,5 kuukautta. CLT-levyä kohteeseen on käytetty yhteensä 1300 m³. Rakennus on tehty yhteistyössä Lakea Oy:n kanssa, joka on ollut mukana useissa muissakin CLT-kohteissa esimerkiksi Puukuokan rakennuttamisessa. (Stora Enso. 2013. Projektit: Lintuviita.)



Kuva 14. Lintuviita 2, Seinäjoki. (Stora Enso. 2013. Projektit: Lintuviita.)

Suomen korkein puukerrostalo sijaitsee Jyväskylässä Kuokkalan kaupunginosassa. Puukuokka (kuva 15) on kahdeksankerroksinen rakennus, jonka rakenteena on CLT-levyistä valmistetut tilaelementit. CLT-levyjen paksuus on 140 millimetriä. Rakennukseen kuuluu 58 asuntoa. Rakennuksen erikoinen arkkitehtuurinen ratkaisu on, että kolme julkisivua on maalattu tummaksi ja yksi on puunvärisen. Rakennus todistaa, että puukerrostalotkin voivat olla todella näyttäviä rakennelmia. Puukuokan rakentamiseen on käytetty 1700 m³ CLT-levyä. Kerrostalon kerrosala on noin 12 000 k-m². Kerrostalo valmistui joulukuussa 2014. Puukuokka on erinomainen esimerkki CLT-rakentamisesta ja sen mahdollisuuksista. Alueelle on suunnitteilla lisää CLT-kerrostaloja. Kaiken kaikkiaan suunnitteilla on yhteensä 150 asuntoa sisältävä kompleksi. (Stora Enso. 2013. Projektit: Puukuokka.)



Kuva 15. Puukuokka, Jyväskylä. (Stora Enso. 2013. Projektit: Puukuokka.)

5.3 Käynnissä olevat kohteet

Helsinkiin valmistuu neljä 5-7-kerroksista CLT-asuinkerrostaloa. Eskolantien hankkeessa lähtökohtana pidettiin, että rakenteiden tuli olla puuta. Kokonaistaloudellisimmaksi ratkaisuksi valittiin CLT-tilaelementtijärjestelmä. CLT-kerrostaloihin tulee yhteensä 93 asuntoa. Yhden talon julkisivu on esitetty kuvassa 16. CLT-tilaelementti tekniikkaa käyttävät rakenteet pyritään suunnittelemaan taloudellisesti ja ekologisesti sekä lähiympäristö huomioon ottavasti. Elementteihin on asennettu valmiiksi ikkunat, pintamateriaalit ja kalusteet. Puukerrostalojen rakentamiseen on suunniteltu käytettäväksi noin 2500 m³ verran CLT-levyä. Kerrostalojen rakentaminen alkoi toukokuussa 2014. (Stora Enso. 2013. Projektit: Eskolantie.)



Kuva 16. Eskolantie, Helsinki. (Stora Enso. 2013. Projektit: Eskolantie.)

Helsinkiin on suunnitteilla myös toinen CLT-tekniikalla oleva puukerrostalokortteli. Kaksi erillistä asuintaloa pitää sisällään yhteensä 98 asuntoa. Havainnekuva kohteesta esitetty kuvassa 17. 8-kerroksiset kerrostalot tulevat olemaan Suomen korkeimpia puukerrostaloja. Rakentaminen tullaan aloittamaan Helsingissä lähitulevaisuudessa. CLT:tä on suunniteltu käytettäväksi 2500 m³ ja näin ollen siitä on tulossa yksi Suomen suurimmista CLT-kerrostalokohteista. (Stora Enso. 2013. Projektit: Wood City.)



Kuva 17. Wood City, Helsinki. (Stora Enso. 2013. Projektit: Wood City.)

6 Mahdollisuudet

CLT tarjoaa useita kehittämismahdollisuuksia rakennusalan mitä erinäisimpiin kohteisiin. Puu sopii hyvin yhteen myös muiden rakennusmateriaalien kanssa. CLT:n ja betonin liittolaattarakenteet ovat toimivia ja hyviä ratkaisuja. CLT:n minimaalinen eläminen antaa mahdollisuudet käyttää puuta myös teräksen ja lasin kanssa. (Puumerkki. 2014. Rakentamisen ratkaisut.) CLT:stä on myös kehitetty moottoriteiden meluaitoja. Massiivisuuden ja puun pehmeiden vuoksi moottoriteiden äänet eristyvät hyvin. Elementtien keveyden vuoksi myös asentaminen on helppoa. (Kekki, T. 2015.) CLT:stä voidaan tehdä myös nopeasti hätämajoituskäytöksi katastrofialueille. Nopea pystytysaika ja erinomainen kestävyys maanjäristyksiä vastaan tuovat esille CLT:n mahdollisuudet. (CrossLam Oy. 2014. Maanjäristys- ja hätätilarakentamien.)

CLT-kerrostaloille on tehty kattavia tutkimuksia liittyen rakenteen toimivuuteen seismisellä eli maanjäristysalueella. Tutkimukset ovat osoittaneet, että CLT-levyt ottavat hyvin vastaan vaakasuuntaista voimaa ja ovat näin ollen hyviä rakenteita maanjäristysalueille. Maanjäristyksen sattuessa muodonmuutokset tapahtuvat CLT-levyjen liitoskohdissa ja näin ollen seinärakenteet pysyvät stabiilina ja rakennus kestää voimakkaitakin järjestyksiä. Viime aikoina paljon uutisissa olleet maanjäristykset ja sitä seuranneet rakennusten romahtamiset laittavat miettimään betonisten kerrostalojen kestävyden seismisellä alueella. Tulevaisuudessa CLT-kerrostaloille voisi olla paljon kysyntää seismisille alueille rakennettaessa. (FPInnovations 2011b.)

Halkeilu on yksi CLT-levyn ongelmista, jota voitaisiin estää levyn liimauksen uudelleen suunnittelulla. Pelkällä lapeliimauksella saadaan aikaan, että jokaisen lamellin syrjään muodostuu ikään kuin pieni liikuntasärmä. Tämä antaa periksi hieman levyn elämistä, eikä halkeilua pitäisi syntyä niin paljon. Haittapuolena tietysti on, että rakenteessa joudutaan käyttämään erillistä höyrynsulkua. Levyn

lamellien asetellullakin voisi olla jotakin merkitystä. Jos lamellit aseteltaisiin esimerkiksi 45 asteen kulmaan toisiinsa nähden, saataisiinko tällä aikaan halkeilun voimien jakautuminen tasaisemmin ja näin pystyttäisiin vähentämään levyn halkeilua. Levyjen pinnan uritus ja ohuempien lamellien käyttö voisivat myös vähentää levyjen halkeilua.

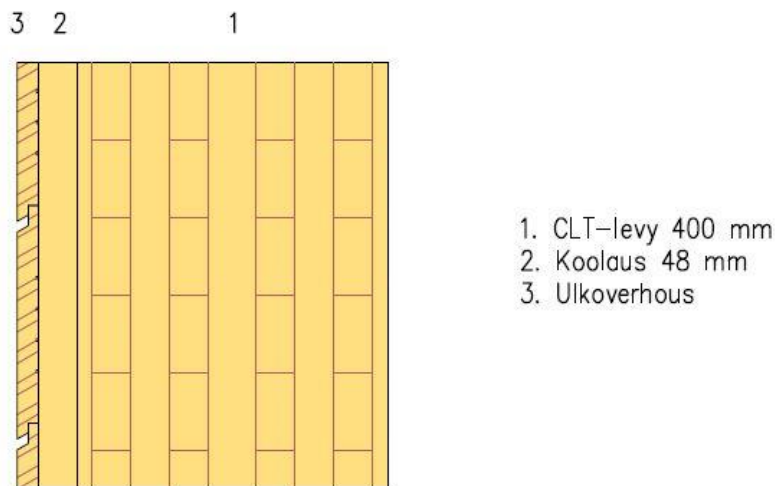
Suomessa on paljon 3-4 kerroksisia betonikerrostaloja, jotka mahdollisesti ovat kattoremontin tarpeessa. Kattoremontin yhteydessä pystytään suhteellisen helposti lisäämään kerrostalon asuntokapasiteettia yhden kerroksen verran lisäkerrosrakentamisella. Lisäkerrosrakentaminen on yksi CLT:n suurista mahdollisuuksista. Vanhan betonisen kerrostalon päälle voidaan tehdä lisäkerros esimerkiksi CLT-tilaelementeistä. CLT-elementin keveys antaa mahdollisuuden tällaiseen lisäkerrosrakentamiseen. Tosin ei lisäkerroksia pysty kaikkiiin vanhoihin betonikerrostaloihin tekemään. Jokainen kohde täytyy erikseen tutkia vanhojen kantavien betonirakenteiden osalta. Uusi kerros lisää vanhoille rakenteille tulevaa kuormaa ja se tuleekin ottaa suunnittelussa huolellisesti mukaan.

Kerrostalojen julkisivuremontit voivat olla myös yksi CLT:n mahdollisuuksista. Julkisivuremonteilla voidaan hakea uudempaa ilmettä kerrostalolle tai syy voi olla energiatehokkuudessa. CLT-elementti toimii lisäeristeenä ja tarvittaessa toimii kantavana rakenteena esimerkiksi lisäkerroksille. Tässä tulee ottaa huomioon, että rakenteeseen ei tule kahta tiivistä kerrosta. Jos vanhassa rakenteessa on käytetty höyrynsulkumuovia, niin CLT-levyn tulee olla vain lapeliimattu.

Parvekerakenteena CLT-levy toimii erittäin hyvin. Niin sanottu sisäänvedetty parveke voidaan toteuttaa CLT-levyllä ilman kylmäsiltoja. Verrattuna betonirakenteisiin taloihin, parvekerakenteissa tarvitaan erilaisia eristyksiä katkaisemaan kylmäsilta. CLT-levyllä toteutettaessa levy toimii kantavana rakenteena ja eristeenä sekä se johtaa huonosti lämpöä, eikä kylmäsiltaa pääse syntymään.

CLT-rakenteen ominaisuuksia mietittäessä tulee mieleen voisiko puolilämpimän tuotantohallin rakentaa esimerkiksi pelkästä CLT-levystä. Hieman paksumpaa levyä käytettäessä CLT-levy alkaa toimimaan jo hyvänä lämmöneristeenä, eikä

tuotantohallin sisätiloissa välttämättä tarvitse olla kovinkaan lämpimät olosuhteet. Rakenne olisi yksinkertaisuudessaan 400 millimetrin CLT-levy ja koolauksella kiinnitetty ulkoverhous. Tällaisella rakenteella päästään U-arvoon 0,25 W/m²K, joka täyttää puolilämpimän tilan rakennusosavaatimuksen. Puurakenteiset seinät tasoittavat kosteusvaihteluita sekä parantavat sisäilmaa. Paloturvallisuuteen pitäisi kiinnittää erityistä huomiota kyseisen rakenteen käyttöä ajatellen. Elementin voisi suojata sisäpuolelta 18 millimetriä paksulla kuitukipsilevyllä, jolla saadaan elementille hyvä palonsuojaus. Tietysti kustannuksia ajateltaessa CLT-levyn hinta nousee esille. CLT-elementtiin, jonka paksuus on 40 senttimetriä, menee kohtuullisen paljon raaka-ainetta, joka lisää elementin hintaa. Jos seiniltä ei haeta suurta kantavuutta, voitaisiin CLT-levyn sisäosissa käyttää hieman huonompi laatuista puutavaraa. Kokonaistaloudellisesti ajatellen näin paksu CLT-levy voisi tulla edullisemmaksi, koska hallin elementtien valmistamisen ja asentaminen olisi yksinkertaista ja nopeaa sekä tarvittaessa elementteihin voidaan tehdä myöhemmin helposti muutoksia. Tällaisella rakenteella saadaan aikaan ekologinen hallirakennelma, joka toimii suurena hiilinieluna.



Kuva 18. Puolilämpimän rakennuksen seinärakenne.

7 Pohdintaa

Opinnäytetyöprosessi lähti sujumaan suunnitelmien mukaan, vaikka aluksi aiheen valitseminen ja rajaaminen tuotti hieman päänvaivaa. Opinnäytetyön aiheita pyöriteltiin useaan otteeseen opinnäytetyöpalavereissa ja lopulta aihe alkoi selvitä. CLT:stä on suhteellisen vähän tietoa ja kokemuksia tarjolla. Lähteiden ja aineistojen valintaan ei ole hirveästi valinnanvaraa, kun saatavilla olevia lähteitä on suhteellisen vähän. Itselleni tuotti hieman hankaluuksia löytää luotettavia lähteitä teorian tietojen kirjoittamiseen.

Lähtökohdat tämän opinnäytetyön tekemiseen oli haasteelliset, koska minun opetussuunnitelmassa ei ollut juurikaan syventävää puurakentamista, eikä minulla ollut juurikaan tietoa puukerrostaloista. Minun täytyi lähteä selvittämään alusta alkaen mikä CLT on ja mitä siitä tehdään. Opinnäytetyöprosessin aikana kyllä selvisi paljon uutta asiaa ja opin uusia asioita. Uskon, että tästä opinnäytetyöstä on paljon hyötyä oman jatkon kannalta. Tulevaisuudessa puun käyttöä pyritään lisäämään ja puurakenteiden osajista on pulaa suunnittelutoimistoissa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena olikin, että saan valmiudet puukerrostalojen suunnitteluun, joka taas lisää omia työmahdollisuuksia ja osaamista. Vaikkakin tämä työ ei anna minulle pätevyksiä suunnitella korkeita puukerrostaloja, mutta se antaa tietoperustaa ja lähtökohtia suunnittelulle.

CLT-levyt ovat oivallisia rakenteita omakotitaloista korkeisiin kerrostaloihin. CLT-levyissä on paljon hyviä rakenteellisia ominaisuuksia, jotka lisäävät niin sanottua terveellistä rakentamista. Ekologinen ajattelutapa ja kasvihuonepäästöjen vähentäminen ovat CLT-levyjen kilpailuvaltti. Levyjen valmistus tuottaa vähiten kasvihuonepäästöjä verrattuna teräkseen ja betoniin. Levyt ovat tiiviitä, mutta kuitenkin hengittävät tarpeeksi, joten homeongelmia ei pitäisi tulla. Toisaalta CLT-levyn heikkona puolena pidetään sen hintaa. Tämä johtuu siitä, että CLT-rakentamisesta ei ole vielä tarpeeksi tietoa. Esimerkiksi työkustannusten arviointi on hankalaa, koska valmistuneita kohteita ei ole vielä montaa. Elementit tehdään

tehtaalla lähes valmiiksi, joten työmaa-aika lyhenee merkittävästi. Tämä taas merkitsee, että työmaan kustannukset pienenevät. Se, että miten paljon ne pienenevät, on vielä arvailua. Tulevaisuudessa saadaan kokemuksia erilaisista CLT-kerrostalokohteista ja näin ollen pystytään laskemaan tarkemmin jokainen työvaihe, joka taas merkitsee, että pystytään tekemään edullisempia tarjouksia. Tämä lisää taas CLT-levyjen kilpailukykyä kerrostalohankkeiden rakennejärjestelmien valitsemisessa.

Lähteet

- 1 Tolppanen, J. 2013. Suomalainen Puukerrostalo. Helsinki: Opetushallitus.
- 2 Kekki, T. 2015. Tehtaan esittely CrossLam Oy, Kuhmossa 8.4.2015.
- 3 FPInnovations. 2011a. CLT-handbook Chapter 1: Introduction to cross laminated timber, Quebec, QC: Special Publication SP-528E.
- 4 Kiintopuu. 2014. <http://www.kiintopuu.fi/fi/etusivu.html>. 13.4.2015.
- 5 Stora Enso. 2013. CLT info. <http://www.clt.info/fi/produkt/clt-das-massivholz/>. 22.4.2015.
- 6 Stora Enso. 2013. CLT info. <http://www.clt.info/fi/produkt/>. 26.4.2015.
- 7 Stora Enso. 2013. CLT info. <http://www.clt.info/fi/produkt/haufige-fragen/>. 26.4.2015.
- 8 Stora Enso. 2013. Statiikka. CLT info. <http://www.clt.info/fi/produkt/technische-daten-3/statik/>. 27.4.2015.
- 9 CrossLam Oy. 2014. <http://www.crosslam.fi/keita-olemme.html>. 4.4.2015.
- 10 Stora Enso. 2013. Projektit: Joensuun Elli. <http://www.clt.info/fi/projekte/detail/?slideId=6140&category>.
- 11 Stora Enso. 2013. Projektit: Lintuviita. <http://www.clt.info/fi/projekte/detail/?slideId=3337&category>.
- 12 Stora Enso. 2013. Projektit: Puukuokka. <http://www.clt.info/fi/projekte/detail/?slideId=6429&category>.
- 13 Stora Enso. 2013. Projektit: Eskolantie. <http://www.clt.info/fi/projekte/detail/?slideId=3335&category>.
- 14 Stora Enso. 2013. Projektit: Wood City. <http://www.clt.info/fi/projekte/detail/?slideId=4532&category>.
- 15 Rakennustieto. 1/2012. <http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/69l8i5mLz.html>. 16.4.2015.
- 16 Puuinfo. 1/2012. Yleinen rakennetyyppikirjasto. <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluty%C3%B6kalut/p2-paloluokan-max-8-krs-asuin-jaty%C3%B6paikkarakennuksen-clt-rakennetyypit>. 15.4.2015.
- 17 Hybrid Build Solutions. 2013. Kuva CLT-levystä. <http://hybrid-build.co/solutions/clt/>. 15.4.2015.
- 18 World Conference on Timber Engineering. 2014. Kuva Norjan 14-kerroksisesta CLT kerrostalosta. <http://wood-works.ca/wp-content/uploads/5-rune-abrahamsen-bergen-in-a-wood-construction-fever.pdf>
- 19 Puuinfo. Kuva CLT-elementistä. <http://www.puuinfo.fi/tuote/stora-enson-clt-levyt-cross-laminated-timber>. 15.4.2015.
- 20 Stora Enso. 1/2014. CLT Fire Protection. Kuva polttokokeesta. <http://www.clt.info/fi/wp-content/uploads/sites/11/2013/04/Stora-Enso-CLT-Documentation-on-fire-protection-english.pdf>. 16.4.2015.
- 21 CrossLam Oy. 2014. Maanjäristys- ja hätätilarakentamien. <http://www.crosslam.fi/filosofia/nykyajan-rakennusalan-lupaus.html>
- 22 Puumerkki. 2014. Rakentamisen ratkaisut. http://www.puumerkki.fi/rakentamisen_ratkaisut/clt-elementit.html. 15.5.2015.
- 23 FPInnovations 2011b. CLT-handbook Chapter 4: Seismic performance of cross-laminated timber building, Quebec, QC: Special Publication SP-528E

24 Helsingin Sanomat. 2/2015. Puukerrostaloasuntojen määrä moninkertaistuu lähivuosina. Tuomo Tarvas. <http://www.hs.fi/koti/a1424425700370>. 21.5.2015