

# CLT-RAKENTAMISEN EDUT JA HAASTEET

Kiemunki Joni

Opinnäytetyö  
Tekniikan ala  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikan ala  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Joni Kiemunki	Vuosi	2017
<b>Ohjaaja(t)</b>	Juha Vesa		
<b>Toimeksiantaja</b>	Future possibilities for CLT		
<b>Työn nimi</b>	CLT-rakentamisen edut ja haasteet		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	40 + 7		

---

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää CLT:n soveltuvuutta eri rakennusosiin lähinnä pientalorakentamisessa ja siinä ilmeneviä haasteita ja etuja. Haasteisiin ja etuihin valikoitui itsestään CLT:n ominaisuudet materiaalina, käyttökokemukset, suunnittelussa esiin tulevat asiat sekä rakentamisen kustannusvertailu eri rakennusosiin käyttäessä CLT:tä rakennusmateriaalina. Myös ympäristöystävällisyys ja ekologisuus otettiin huomioon.

Tässä opinnäytetyössä tietoa CLT-rakentamisesta koetuista haasteista ja eduista pyrittiin etsimään mahdollisimman laajasti julkaisuista, artikkeleista ja haastattelemalla eri toimijoilta, joilla on käyttökokemuksia CLT:stä. Julkista tietoa oli kuitenkin uuden rakennusmateriaalin takia niukasti saatavilla. Rakennusosien kustannusvertailuun tehtiin taulukkolaskin, jotta vertailu olisi helposti toteutettavissa. Kustannusvertailu tehtiin erikseen eri rakennusosille vertaillen yleisiin käytössä oleviin rakennusmenetelmiin.

Työssä käy ilmi, että CLT on ympäristöystävällisempi kuin monet muut yleisesti käytössä olevat rakennusmateriaalit. Ominaisuuksiltaan rakennusmateriaalina CLT soveltuu kaikkiin rakennusosiin. Rakentamisen kokonaiskustannuksiltaan CLT ei ole kuitenkaan ole kilpailukykyinen valmistuksessa käytettävän korkean liimapuun hinnan takia. Myös nykyiset palosäädökset aiheuttavat ongelmia CLT-rakentamisessa, jos rakennuskohteella on palosuojaamiseen liittyviä vaatimuksia.

Avainsanat

CLT, CLT-rakentaminen, kustannusvertailu, kustannuslaskelma

Technology, Communication and  
Transport  
Civil Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Joni Kiemunki	Year	2017
<b>Supervisor</b>	Juha Vesa		
<b>Commissioned by</b>	Future possibilities for CLT -Project		
<b>Subject of thesis</b>	Benefits and Challenges of CLT-building		
<b>Number of pages</b>	40 + 7		

---

This thesis aimed at discussing if Cross Laminated Timber (CLT) is suitable for different building parts. Main goal was to name the challenges and the benefits of the construction of one-family houses. The material properties, practical experience, the planning and the construction cost comparison was selected as the challenges and the benefits of CLT. In addition, the environmental and the ecological aspects were taken into account.

Information about the challenges and benefits in the CLT building was first searched from publications and articles. In addition, experience in CLT was gathered from those involved in the CLT building. There was only a little public information, because CLT is a new building material. A table calculator was made for the comparison of the building elements, so that the comparison would be easy. The cost comparison was made separately for each part of the building in order to compare them to the general construction methods.

The thesis showed that CLT is more ecological than many other commonly-used building materials. CLT as a building material is suitable for all parts of the building. However, because of the total costs of construction CLT is not compared to other building materials. Mainly the price of the glulam causes the higher total costs. In addition, the current fire regulations cause problems for the CLT building, if the building has safety requirements.

Key words

CLT, CLT building, cost comparison, cost accounting

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	CLT YLEISESTI.....	8
2.1	Rakenne .....	8
2.2	Valmistus .....	9
3	CLT:N ETUJA RAKENNUSMATERIAALINA.....	10
3.1	Rakenteellisia etuja.....	10
3.2	Ympäristöystävällisyys ja terveysvaikutukset.....	11
3.3	Arkkitehtuuriset mahdollisuudet .....	12
4	CLT:N HAASTEITA RAKENNUSMATERIAALINA .....	13
4.1	Palomääräykset.....	13
4.2	Halkeilu .....	14
5	CLT:N KÄYTTÄMINEN RAKENTAMISESSA .....	15
5.1	CLT:n soveltuvuus .....	15
5.2	CLT-levyjen asennus .....	15
5.3	Keskimääräinen toimitusaika .....	17
5.4	Seinärakenteet.....	17
5.5	Ala- ja välipohjat .....	20
5.6	Yläpohjat.....	22
5.7	CLT-rakenteen ylläpito ja huolto .....	24
6	CLT:N SUUNNITTELU .....	25
6.1	Yleistä CLT:n suunnittelusta .....	25
6.2	Suunnittelijan pätevydet ja vaatimukset .....	25
7	CLT-RAKENTAMISEN KUSTANNUKSET .....	27
7.1	Kustannusvertailu .....	27
7.2	CLT:n kustannus rakennusmateriaalina.....	31
7.3	Rakentamisen aikaiset kustannukset.....	32
7.4	Rakentamisen kokonaiskustannukset.....	33
8	POHDINTA.....	37

LÄHTEET .....	39
LIITTEET .....	41

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CLT	Cross Laminated Timber
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
XPS	Suulakepuristettu polystyreeni
EPS	Paisutettu polystyreeni
NR-ristikko	Naulalevyraiteinen kattoristikko
LVIAS	Lämmitys, vesi, ilmastointi, automaatio, sähkö
EN	Euronormi
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin
REI	Palonkestävyys minuutteina
Tth	Työntekijätunti

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on perehtyä CLT-rakentamisessa ilmeneviin etuihin ja haasteisiin. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää CLT:n soveltuvuutta eri rakennusosiin, suunnittelussa huomioon otettavia asioita, rakentamisen materiaali- ja rakennuskustannuksia sekä CLT:n tuomia haasteita ja etuja materiaalina. Näkökulmana työssä on lähinnä pidetty soveltuvuutta pientalorakentamiseen rakennuttajan roolissa. CLT rakennusmateriaalina on Suomessa melko uusi, joten siitä ei juuri ole saatavilla suomenkielistä julkista tietoa.

Uuden rakennusmateriaalin aiheuttamat vähäiset kokemukset ja julkisen tiedon puute aiheuttavat omat haasteensa CLT-rakentamisessa. Tämän takia opinnäytetyössä on pyritty etsimään CLT-rakentamisen käyttökokemuksista mahdollisimman paljon tietoa internetistä, sanomalehdistä ja julkaisuista sekä haastattele-  
malla eri toimijoita, jotka ovat olleet tekemisissä CLT:n kanssa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Lapin ammattikorkeakoulun Future possibilities for CLT -hanke. Hankkeen tarkoituksena on edistää CLT-rakentamista lisäämällä tietoa CLT:n mahdollisuuksista sekä tutkia ja poistaa mahdollisia ongelmia. Lapin ammattikorkeakoulun kanssa mukana hankkeessa on Ruotsin tekninen tutkimusinstituutti (SP), Luulajan tekninen yliopisto, Centria ammattikorkeakoulu Ylivieskasta ja Kemin Digipolis Oy.

## 2 CLT YLEISESTI

### 2.1 Rakenne

CLT (Cross Laminated Timber), eli ristiinliimattu massiivipuu, koostuu useista toisiinsa nähden ristikkäin liimatuista puulevykerroksista (kuvio 1). Puulevykerroksia voi halutusta rakennepaksuudesta ja vaatimuksista riippuen olla yleensä kolmen ja kahdeksan kerroksen välillä. Yksittäisten puulevykerrosten paksuus on valmistajasta riippuen 20–70 mm. CLT-levyjen kokonaispaksuus on siis 60–400 mm ja elementin pituus voi olla jopa 16 m. Käyttäessä CLT-levyjä rakennuselementtinä, elementin eristeet asennetaan yleensä ulkopintaan. (Stora Enso 2016; Kiintopuu 2016.)



Kuvio 1. CLT-levyn rakenne (Stora Enso 2013)

CLT-levyjen valmistukseen voidaan käyttää erilaisia puulajeja. Yleisemmin se koostuu kuusesta tai männystä. Levyjen pinta voidaan erilaisten ilmeiden saamiseksi tehdä eri puulajista kuin levyn ydin. Puulajeja ovat mm. mänty, lehtikuusi, saksanpihta ja sebramänty. (Stora Enso 2016.)



## 2.2 Valmistus

CLT:n tuotanto tapahtuu liimalla puulamellikerrokset toisiinsa. Liimaamiseen käytettävää formaldehydittömän polyuretaani liima on ympäristölle vaaraton (Stora Enso 2013). Liimaa ruiskutetaan jokaiseen lamellikerrokseen  $150 \text{ g/m}^2$ . Ruiskutuksen jälkeen kaikki kerrokset puristetaan toisiinsa 13 baarin paineella. Puristusaika riippuu tuotannosta käytössä olevasta liimasta. Esimerkiksi Ammatitopisto Lappialla puristusaika on 2 tuntia, mutta tehokkaimmilla tuotantolinjoilla puristusaika voi olla alle 0,5 tuntia. (Yliniemi 2017.)

Tuotantotilojen ilmankosteus on oltava oikea liimauksen onnistumisen kannalta. Sopiva ilman suhteellinen kosteus on noin 65 %, joka saadaan aikaan ilmankostuttimilla. Valmiin CLT-levyn kosteus on noin 12 %. (Yliniemi 2017.)

Liimauksen ja puristuksen jälkeen CLT-levyjen liiman on annettava kovettua vähintään 10 tuntia. Kovettumisen jälkeen levyihin tehdään tarvittavat työstöt ja varaukset. Vakiorakenteinen CLT-levy on valmistajasta riippuen höyläpintainen tai hiottu. Levyjen laadun ja lujuuden varmistamiseksi, levyistä otetaan koepaloja ja levyn leikkauskestävyys varmistetaan ennen asiakkaalle toimittamista VTT:n sertifikaatin mukaan. Mikäli koepala ei täytä asetettuja laatuvaatimuksia, CLT-levyä ei toimiteta käytettäväksi. Kaikki koepalat myös säilytetään. (Yliniemi 2017; Puuinfo 2011.)

### 3 CLT:N ETUJA RAKENNUSMATERIAALINA

#### 3.1 Rakenteellisia etuja

Ristikkäin liimaamisen ansiosta ja oikein valmistettuna, CLT on rakenteena hyvin jäykkä, stabiili, eikä se halkeile levyjen mahdollisia pintahalkeamia lukuun ottamatta. Jäykkyyden ansiosta, rakenteet joissa käytetään CLT:tä, eivät tarvitse erillisiä revauksia ja tuentoja. Ainoastaan puussa luonnostaan olevat oksat heikentävät rakennetta, mutta puulevykerrosten ristikkäin asettelun takia oksakohdat eivät aiheuta ongelmia. Myös CLT-levyjen kosteuden aiheuttamat muodonmuutokset ovat melko pieniä, vain 0,02 % (taulukko 1). Tämä tarkoittaa, että 4,5 m pitkän levyn muodonmuutos on alle 1 mm. Ilmatiiveyden suhteen CLT luokitellaan täysin tiiviiksi. (Franck Media 2016; Puuinfo 2011.)

Taulukko 1. CLT:n ominaisuuksia (Puuinfo 2011)

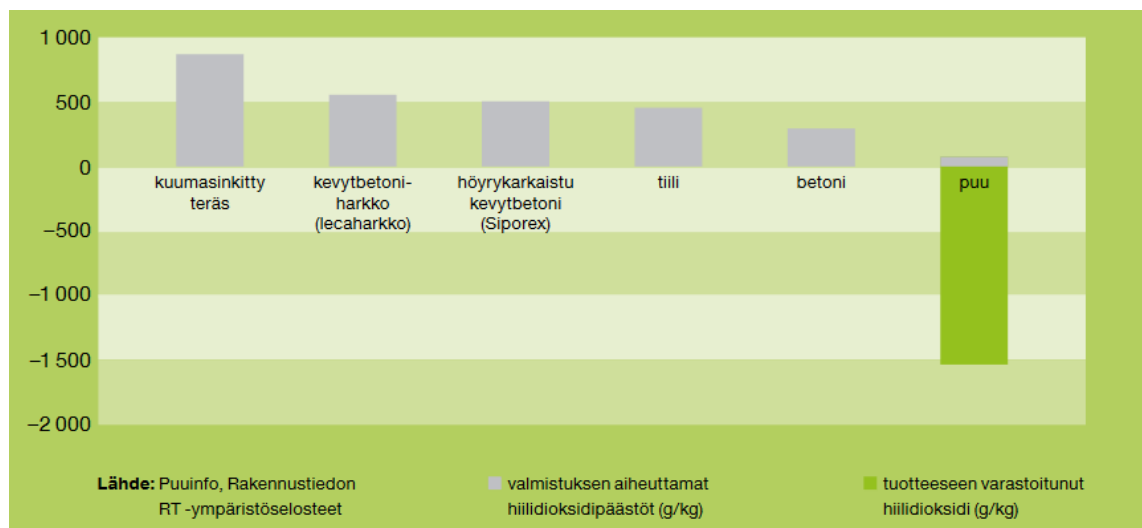
Ominaisuus	Arvot	Mittausperuste
<b>Pääasiallinen käyttötarkoitus</b>	Seinä-, lattia- ja kattorakenteet eri käyttötarkoituksissa rakennuksissa (asuin- ja työpaikkarakennukset, julkiset rakennukset yms.)	
<b>Kerrosrakenne</b>	Ristiin laminoitu, vakuumiliimattu	
<b>Puulaatu</b>	Kuusi, mänty	
<b>Lujuusluokka</b>	C24	Rakenteellisen mitoituksen laskenta-arvo
<b>Kosteuspitoisuus</b>	12 % +/- 2 %	
<b>Liimatyyppe</b>	Formaldehydivapaa PUR liima	
<b>Visuaalinen laatuluokka</b>	C tai A/B	EN 13701-1, taulukko 1
<b>Paino</b>	5,0 kN/m <sup>3</sup>	Rakenteellisen mitoituksen laskenta-arvo
<b>Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn suunnassa</b>	0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
<b>Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn paksuudessa</b>	0,24 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
<b>Paloluokka (reaction to fire)</b>	D-s2, d0	Komission päätös 2003/43/EC
<b>Palonkesto (resistance to fire)</b>	Hiiltymisnopeus 0,65 mm/min	EN 1995-1-2
<b>Kosteuden läpäisevyys</b>	20..50	EN 12524
<b>Lämmönjohtavuus (lambda)</b>	0,11 W/(mK)	EN 12524
<b>Lämpökapasiteetti</b>	1600 J/(kgK)	EN 12524
<b>Ilmatiiviyys</b>	Täysin tiivis (Effectively airtight)	EN 12114
<b>Käyttöluokka (Service class)</b>	1 ja 2	EN 1995-1-1

CLT on myös melko kevyt rakennusmateriaali. CLT-levy painaa  $5 \text{ kN/m}^3$ , kun taas betonielementti painaa  $24 \text{ kN/m}^3$  (Puuinfo 2011). Kevyet rakenteet ovat rakennusvaiheessa turvallisempia rakentaa kuin raskaammat rakenteet ja nostot voidaan toteuttaa kevyemmällä nostokalustolla.

Keveyden, jäykkyyden ja hyvän stabiilisuuden ansiosta CLT soveltuu hyvin tilaelementti rakentamiseen. Kemissä oleva Kemin Digipolis Oy:n CLT-koetalo pystyttiin siirtämään kokonaisuutena rekalla kuljettaen 14 kilometrin päähän ilman erillisiä tuentoja ja vahvikkeita. (Ahoranta 2017.)

### 3.2 Ympäristöystävällisyys ja terveysvaikutukset

CLT:tä pidetään myös ympäristöystävällisenä ja terveyttä edistävänä materiaalina. Koska CLT koostuu puusta, se sitoo jo itsestään rakennusmateriaalina hiiltä, joka vapautuu vasta, kun se palaa tai lahoaa. Yhteen käytettyyn CLT-kuutiometriin varastoituu yli 1000 kg hiilidioksidia (kuvio 2). Joihinkin yleisesti käytössä oleviin rakennusmateriaaleihin verrattuna voidaan siis säästää jopa lähes 2000 kg hiilidioksidia. (Franck Media 2016; Stora Enso 2014.)



Kuvio 2. Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöt (Stora Enso 2014)

CLT ei myöskään aiheuta ongelmajätekuormitusta rakennusta purkaessa yhtä paljon kuin muut rakennusmateriaalit. Kun CLT tulee elinkaarensa päähän, sitä

voidaan käyttää puutuotteena energiana esimerkiksi sähkön- ja lämmöntuotannossa. Myös tuotannosta jäävät sivutuotteet saadaan energian tuotantoon. (Stora Enso 2014.)

CLT:n terveyttä edistävät vaikutukset näkyvät etenkin huoneilmassa. Rakenne koostuu täysin puusta, joten se tasaa huoneilman kosteutta, joka puolestaan tekee tilasta miellyttävämmän oleskella. Kosteassa ilmassa puu imee itseensä kosteutta ja kuivassa ilmassa puu kosteuttaa ympäristöä. Puuta käyttämällä pintamateriaalina, on sillä todettu olevan myös ihmiselle rauhoittavia ja stressiä vähentäviä vaikutuksia. Käyttämällä CLT:tä rakennusmateriaalina, on sen arveltu olevan lisäksi ratkaisu rakennusten sisäilma- ja home ongelmiin. (Franck Media 2016; Ahoranta 2017.)

### 3.3 Arkkitehtuuriset mahdollisuudet

Tuotantovaiheessa CLT-levyjen pintaan voidaan saada jyrkimällä eri tyyliä kuvioita ja muotoja. Tämä tarkoittaa, että CLT-levyjen arkkitehtuuriset mahdollisuudet ovat laajat. Levyn pinta voidaan asiakkaan toiveen mukaan valmistaa sahapinnalla, höylätä tai hioa. Tavanomainen asiakkaalle toimitettava levy on, valmistajasta riippuen, joko höylätty tai hiottu. Kaikki erilliset työstöt nostavat levyn hintaa. (Yliniemi 2017; Stora Enso 2013.)

CLT-rakentamista vertaillaan joskus hirsirakentamiseen. Teknisesti tarkasteltuna CLT:n ja liimaamalla valmistetun lamellihirren ero on melko pieni. Hirteen verrattuna CLT on kuitenkin ilmatiiviimpi eikä sillä ole painumisen suhteen riskiä. Yhdessä rakennuksessa voidaan kuitenkin käyttää CLT:n ja hirren yhdisteitä eri ulkonäöllisten kokonaisuuksien aikaan saamiseksi. (Saarela 2017, 6–7.)

## 4 CLT:N HAASTEITA RAKENNUSMATERIAALINA

### 4.1 Palomääräykset

Tällä hetkellä käyttäessä CLT-levyä puupintaisena pintamateriaalina, sen paloluokitus on P3-paloluokka (Puuinfo 2012b). Tämä tarkoittaa, että rakennuksella saa olla korkeintaan kaksi kerrosta (taulukko 2). Asuinrakennuksissa, joissa on enintään neljä kerrosta, vaaditaan P2-paloluokkaa. P2-paloluokan saavuttamiseksi levyjen pinnat on verhoiltava kipsilevytyksellä. Tällä hetkellä puulla rakentamalla määräykset sallivat kahdeksan kerroksisen talon oikeanlaisilla palosuojauksilla, teknisesti CLT:tä käyttämällä kerrosluku voisi olla korkeampikin. (Puuinfo 2012b; Tarvas 2015.)

Taulukko 2. Rakennusten paloluokat (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2011, 11.)

	Rakennusten paloluokka		
	P1	P2	P3
Kerrosten lukumäärä	Ei rajoitusta	Korkeintaan 2 Asuinrakennus, korkeintaan 4	Korkeintaan 2
Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	2400, 1- kerroksinen 1600, 2 kerroksinen
Henkilölukumäärä	Ei rajoitusta	150, 1- kerroksinen 50, 2 kerroksinen	50, 1- kerroksinen 10, 2 kerroksinen
Hotelli		100, 1- kerroksinen	10, 1-kerroksinen
Hoitolaitos		25, 2 kerroksinen	
Liikerakennus	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta, 1- kerroksinen 250, 2- kerroksinen	500, 1- kerroksinen 50, 2- kerroksinen

Paloluokitusten takia, on joissakin rakennushankkeissa kohdattu ongelmia paloviranomaisten kanssa, jotka eivät ole hyväksyneet CLT-elementtien suunnitelmia palosäädösten osalta. Rakennusmääräysten tiukat palosäädökset ovat voineet tehdä kerrostalokohteista kannattomia sprinklausten aiheuttamien suurten lisäkustannuksien takia. Rakentajalle sprinklaus maksaa noin 75–100 €/m<sup>2</sup>. (Saarela 2017, 6–7. Tarvas 2015.)

Maatalous- ja ympäristöministeri Kimmo Tiilikaisen mukaan vuonna 2018 on kuitenkin tulossa muutoksia puurakentamisessa käytettäviin paloturvallisuusmääräyksiin, jolloin sisäpintoja ei tarvitse verhoilla yhtä paljon kuin nykyään. Paloturvallisuusmääräysten muuttuminen on arveltu parantavan CLT-rakentamisen kilpailukykyä (Koivula 2017, 8.)

#### 4.2 Halkeilu

CLT-rakenteisen rakennuksessa sisäilmaa on kosteutettava tai järjestettävä oikeanlainen ilmastointi sisätilojen sopivan ilmankosteuden saavuttamiseksi. Mikäli sisäilman kosteus on liian alhainen, CLT-levyt voivat alkaa halkeilla. Levyjen halkeamista tulee etenkin kovalla pakkasella ja niiden on todettu aiheuttavan jopa lähes 80 dB:n paukahtelua. Yleensä ihmisen normaali asuminen kuitenkin tuottaa tarvittavaa kosteutta ilmaan, jolloin levyt eivät halkeile yhtä helposti kuin esimerkiksi Kemissä olevassa CLT-koetalossa on havaittavissa (kuvio 3). (Ahoranta 2017.)

Mitä paksumpi CLT-levy on, sitä alttiimpi se on halkeilulle ja elämiselle. Halkeilu ei kuitenkaan vaikuta rakenteiden staattisiin ominaisuuksiin ja levyjen halkeilu vähenee 1-3 lämmityskauden jälkeen (Hoisko 2016). Halutessa halkeilua voidaan estää tekemällä urituksia levyjen pintaan (Mainio 2014). CLT-rakenteisen rakennuksen käyttäjän on kuitenkin tiedostettava, että puurakenteet tulevat aina puulle ominaisesti jossain määrin halkeilemaan ja elämään (Ahoranta 2017).



Kuvio 3. Halkeilua Kemin CLT-koetalon yläpohjassa

## 5 CLT:N KÄYTTÄMINEN RAKENTAMISESSA

### 5.1 CLT:n soveltuvuus

CLT soveltuu käytettäväksi lähes kaikkiin rakennuksen eri osiin ulko- ja väliseinistä ylä- ja alapohjarakenteisiin. CLT-levyt toimivat sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena. Paloluokan REI 30 täyttää 100 mm vahvuinen kipsilevyllä verhoiltu CLT-rakenne. Ilman kipsilevyverhoilua levyjä voidaan käyttää sellaisinaan rakennuksissa, joissa ei ole vaatimuksia paloluokalle. (Kiintopuu 2017.) CLT-rakenteisessa talossa välipohjat ovat ohuempia kuin puurankarakenteisessa rakennuksessa, mutta ulkoseinä- ja yläpohjarakenteet ovat suurempia (Kemin Digipolis Oy 2014).

Kokonaisuudessaan CLT soveltuu parhaiten käytettäväksi pientalojen rakennusosissa näkyviin pintoihin ja monikerrosrakentamiseen, jossa rakenteelta vaaditaan sekä kantavuutta että jäykistystä. CLT:llä on mahdollista toteuttaa valmista sisäpintaa ilman uusia erillisiä rakennekerroksia, koska CLT toimii samanaikaisesti kantavana rakenteena sekä sisäpintana. CLT sopii kevyenä rakenteena suuriin tilaelementteihin, joilla on mahdollista tuoda teollisenrakentamisen edut. CLT-rakentamisen ja teollisenrakentamisen yhdistelmällä, tilaelementtirakentaminen voi olla kymmeniä prosentteja nopeampaa kuin perinteisemmät rakennusmenetelmät. (Matikainen 2017; Ylinen 2017.)

Suomen rakentamismääräys kokoelman U-arvo vaatimuksen  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ , CLT-rakenne täyttää ulkoseinissä esimerkiksi rakenteella, jossa on 100 mm puuta ja 180 mm tuulensuojaeristettä (liite 1). Rakenteessa ei ole kosteuden tiivistymiseen liittyviä riskejä. Lujuusluokaltaan CLT-levy on C24 (Puuinfo 2011).

### 5.2 CLT-levyjen asennus

Varsinaisen rakentamisen aikana CLT-levyjen asentaminen vaativat tarkkaa työskentelyä. Erityisesti laadukkaalla ja huolellisella asennuksella taataan hankkeen nopea eteneminen. Levyistä ei ole heti saatavilla ”varapaloja”, jos levyt turmeltuvat tai asennus epäonnistuu. (Ylinen 2017.)

CLT-levyjen kiinnitystapa toisiinsa muistuttaa melko paljon puurankaelementeillä rakentamista. Levyt nostetaan paikoilleen nostolenkeillä ja liitetään toisiinsa kulmalevyillä ja ruuveilla tai liitoksesta ja työstöstä riippuen, pelkästään yhdellä kiinnitysmenetelmällä (kuvio 4) (FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council 2016). Liitokset tehdään suunnitelmien mukaan ja liitosten väliin laitetaan tiiviste tai eriste (liite 2). Ulkoseinissä levyjen saumojen ulkopintaan laitetaan tuulensuojakaistat. CLT-levyt eristetään yleensä rakenteen ulkopintaan. (Hoisko 2016.)



Kuvio 4. CLT-levyjä kiinnitettyinä kulmalevyillä toisiinsa (FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council 2016)

Asennuksen aikana levyjä kohdeltava hyvin varovaisesti puupintojen kolhiintumisen takia. Pinnat ovat valmiita jo tehtaalta tullessa eikä niitä ole tarkoitus käsitellä työmaalla puun pintakäsittelyä lukuun ottamatta. Puupinnat ovat myös arkoja sateelle ja kosteudelle, joten elementit on sääsuojattava huolellisemmin kuin esimerkiksi betonielementit. (Loukasmäki 2017.)

Puuelementtirakentamista, kuten CLT-levyjä varten, on Rakennustieto Oy:n julkistamia ohjekortteja, jotka käsittelevät yksityiskohtaisesti mm. levyjen asennuksen, kiinnityksen ja tiivistämisen. Ohjekortteja ovat Ratu 0416 ja 0436.



### 5.3 Keskimääräinen toimitusaika

CLT-levyjen toimitusaikaan vaikuttaa ensisijaisesti valmistajan tehtaalla jo oleva tilauskanta, käytettävät raaka-aineet ja suunnittelu-aineisto. Suurempien ja pidempikestoisten tilausten toimitusaika on pidempi kuin pienemmillä kohteilla. Jos tilauksesta on tehty ennakkotilaus ja kuusta käytetään raaka-aineena, toimitusaika on lyhyin, pienissä kohteissa noin 8 viikkoa. Ilman ennakkotilausta valmistuksen toimitusaika on vähintään 9 viikkoa. (Ylinen 2017.) Perinteisten puuran-kaelementtien toimitusaika on noin 10 viikkoa tilauksesta (Pelttari 2017).

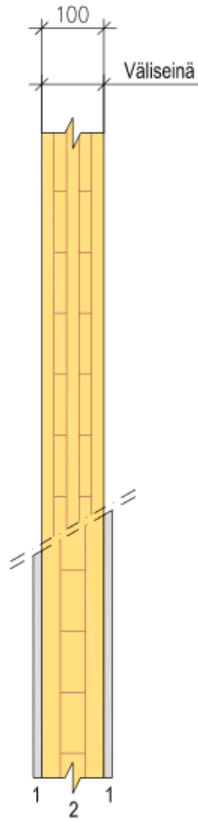
Toimitusajan pituuteen vaikuttaa myös suuresti suunnitteluaineiston valmiusaste. CLT-levyjen valmistaja tarvitsee täydelliset suunnitelmat ja työstökuvat vähintään 3 viikkoa ennen sovittua tuotantoaikaa, jotta valmistaja ehtii tarkistamaan kuvien oikeellisuuden ja soveltuvuuden valmistukseen. Kokonaisuudessaan toimitus kestää siis useita kuukausia. Myös vuodenaika vaikuttaa toimitukseen, keväällä tuleva rakennuskausi pidentää toimitusaikaa. Kokonaisuudessaan CLT-levyjen toimitusaika on keskimäärin noin 4–5 kuukautta. (Ylinen 2017; Olament 2017.)

### 5.4 Seinärakenteet

Sisätiloissa CLT-elementtien pinnat voidaan jättää näkyvälle puupinnalle tai sisäverhoilla esimerkiksi levytyksellä suoraan CLT-levyjen pintaan (kuvio 5). Ulkoseinissä CLT-elementti yleensä eristetään elementin ulkopintaan normaalisti ja julkisivuverhoillaan esimerkiksi paneelilla, tiilellä tai rappauksella (kuvio 6). (Puuinfo 2011.)

Kantavana rakenteena CLT-levyn minimivahvuus on noin 100 mm. Levyn kantavuutta saadaan parannettua paksuntamalla rakennetta. Ei kantaville väliseinille riittää 60 mm vahvuus (Kemin Digipolis 2014; Stora Enso 2013).

Seinärakenteissa, niin kuin muissakin rakennusosissa, työstöt ja varaukset voidaan tehdä jo tuotannossa valmiiksi. Esimerkiksi ikkunat ja ovet voidaan kiinnittää suoraan ilman karmeja. (Ahoranta 2017.)

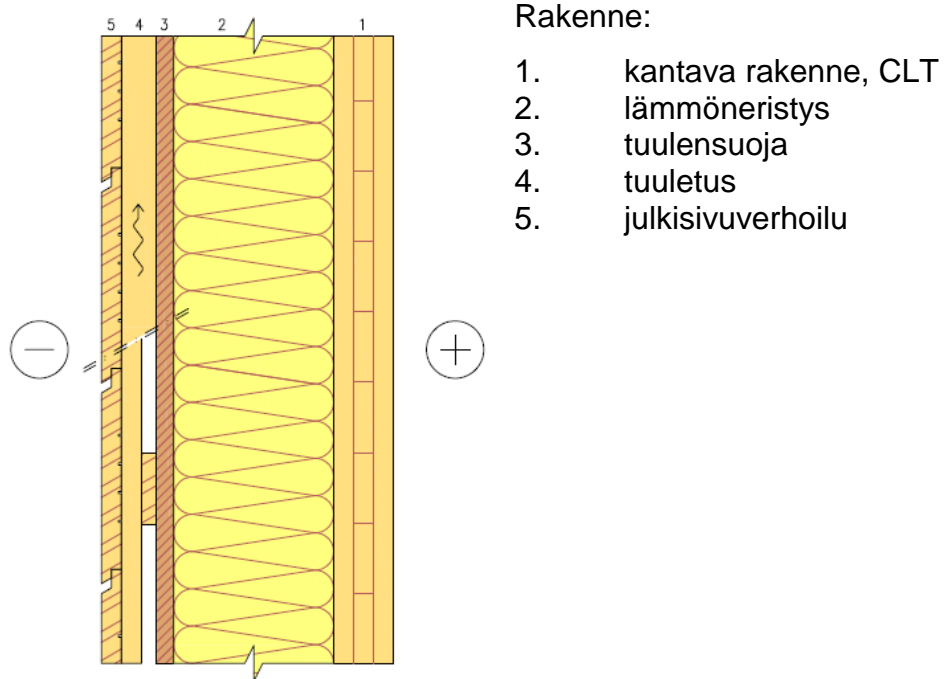


Rakenne:

1. sisäverhous (tarvittaessa)
2. kantava rakenne, CLT

Kuvio 5. Esimerkkirakenne väliseinästä (Stora Enso 2013)

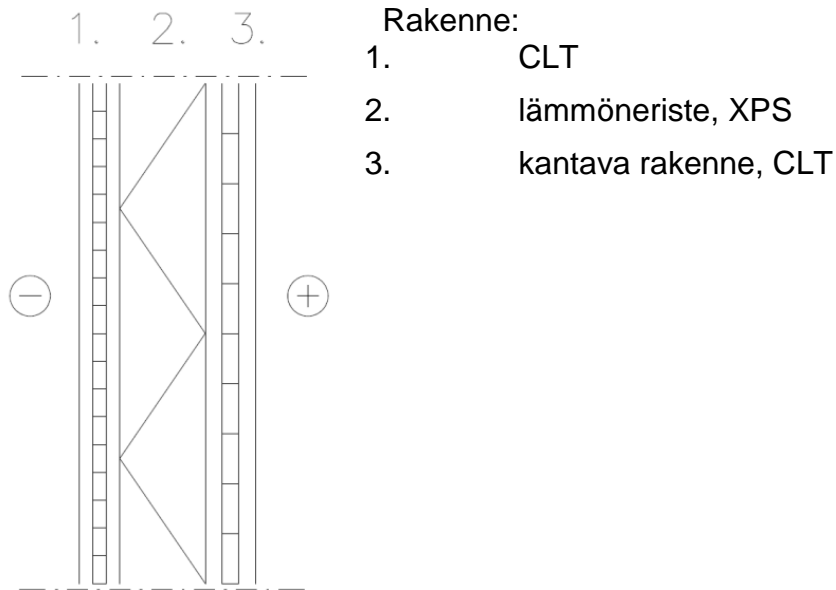
Kantavana väliseinäenä käytettynä CLT on huomattavasti kalliimpi kuin tavanomainen puurankarakenteinen väliseinä lisääntyvän liimapuun määrän takia (liite 3). Mikäli väliseinillä on paloluokkien suhteen vaatimuksia, joudutaan seinä lisäksi verhoilemaan esimerkiksi kipsilevytyksellä. Verhoiltuna CLT-levyjä käyttämällä ei siis saavuteta juuri mainittavia etuja rakennusajan pidentymisen takia. Enintään kaksikerroksissa asuinrakennuksissa levyt saadaan asennettua nopeasti, ja ne voidaan jättää verhoilematta, jolloin saadaan myös eri ulkonäöllisiä mahdollisuuksia kuin tavanomaisella puurankaväliseinällä. Tällöin lisäksi CLT vaikutukset sisäilmaan ja terveyteen pääsevät parhaiten esille.



Kuvio 6. Esimerkki rakenne ulkoseinästä (Puuinfo 2012a)

Ulkoseinäenä käytettynä CLT on rakentamisen kokonaiskustannuksiltaan kalliimpi kuin monet perinteisemmät rakennusmenetelmät materiaalikustannusten takia. Rakennusaika CLT:llä on kuitenkin lyhyempi CLT-levyjen nopean pystytyksen ansiosta, mutta työmaalla tehtävä lämmöneristys ja julkisivuverhoilu nostavat rakentamisen kokonaistyöaikaa lähemmäs perinteisiä rakennusmenetelmiä.

Vaihtoehtoisesti CLT-levystä on myös niin sanottu sandwich-rakenne, jossa seinärakenteen sekä ulko- että sisäpintaan ovat CLT:tä (kuvio 7). Tämä mahdollistaa erilaisia arkkitehtuurisia mahdollisuuksia rakennuksen julkisivuille kuin verhoiltu elementti ja CLT:n edut pääsevät parhaiten oikeuksiinsa. Sandwich-rakenteella rakentamalla päästään vielä lyhyempään rakennusaikaan kuin ulkopintaan eristetyllä CLT-elementillä. Eristeenä kapselirakenteessa käytetään XPS-eristeitä. Sandwich-rakenteista CLT-elementtiä ei ole tällä hetkellä tuotannossa Suomessa. (Yliniemi 2017.)



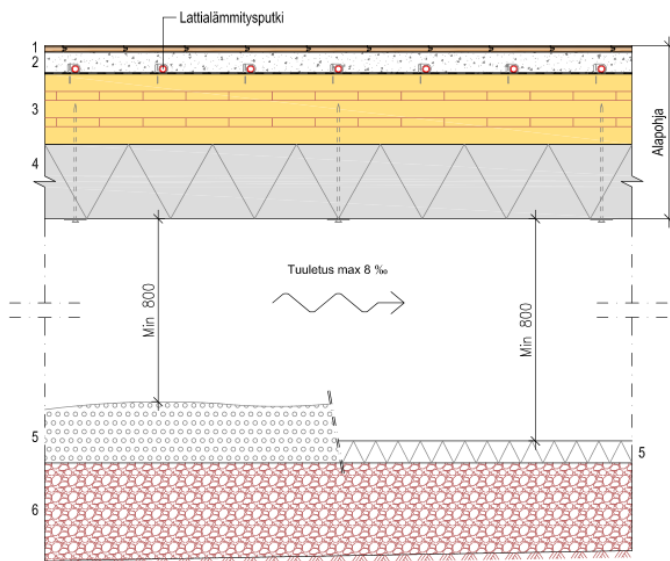
Kuvio 7. CLT sandwich-rakenne

### 5.5 Ala- ja välipohjat

Ala- ja välipohjalaattana CLT toimii yksistään puurakenteisena, kunhan lattiaan asennetaan lattiapinnoite. Lattiapinnoite on asennettava, koska levyjen kulutuskestävyys ei yksistään riitä asumisen aiheuttamalle rasitteelle.

Märkätiloissa lattian kallistukset saadaan aikaan jo levyjen tuotantovaiheessa jyrkimällä tai valamalla tarvittavat kallistukset työmaalla (Ahoranta 2017). Vedeneristyksen märkätiloissa tehdään normaaliin tapaan.

Ala-pohjissa käytettynä on rakenteet toteutettava tuulettuvana. Tuulettuvissa alapohjissa eristys tehdään CLT-levyn alapuolelle esimerkiksi EPS-eristeellä (kuvio 8). CLT-levyn päälle voidaan tehdä kipsi- tai betonivalu, johon voidaan asentaa lattialämmitysputket. Lattiapinnoitteen asennetaan normaaliin tapaan valmistajan ohjeiden mukaan.



Rakenne:

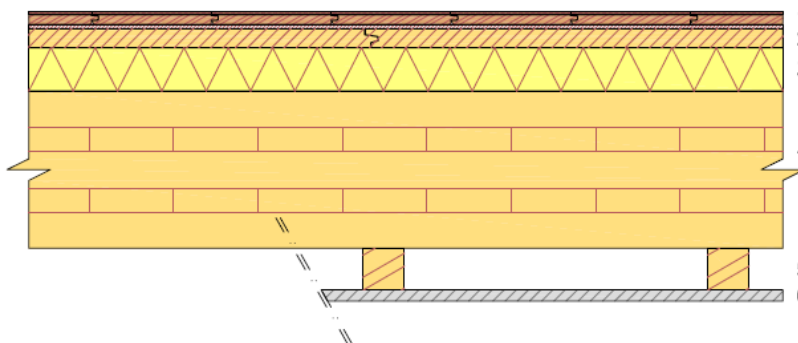
1. lattiapinnoite
2. lattialämmitysrakenne
3. kantava rakenne, CLT
4. lämmöneristys, EPS-eriste
5. lämmöneristys, kevytsota
6. salaojituskerros

Kuvio 8. Esimerkkirakenne tuulettuvasta alapohjasta (Stora Enso 2013)

Välipohjissa askeläänieristys voidaan toteuttaa myös levyn yläpuolelle (kuvio 9) (Stora Enso 2013). Mikäli välipohjalle on asetettu ääneneristävyysvaatimuksia, voidaan ääneneristävyttä välipohjassa parantaa äänieristyksen lisäksi CLT:n ja betonivalun liittorakenteena. Betonin tuoma massa lisää välipohjan ääneneristävyttä. Myös välipohjissa joissa on pitkä jänneväli, voidaan käyttää betonisia liittorakenteita. (Puuinfo 2011.)

Rakenne:

1. lattiapinnoite
2. ääneneristys, ympäripontattu lastulevy
3. ääneneristys
4. kantavarunko, CLT
5. alakaton kantava rakenne (tarvittaessa)
6. sisäverhous (tarvittaessa)



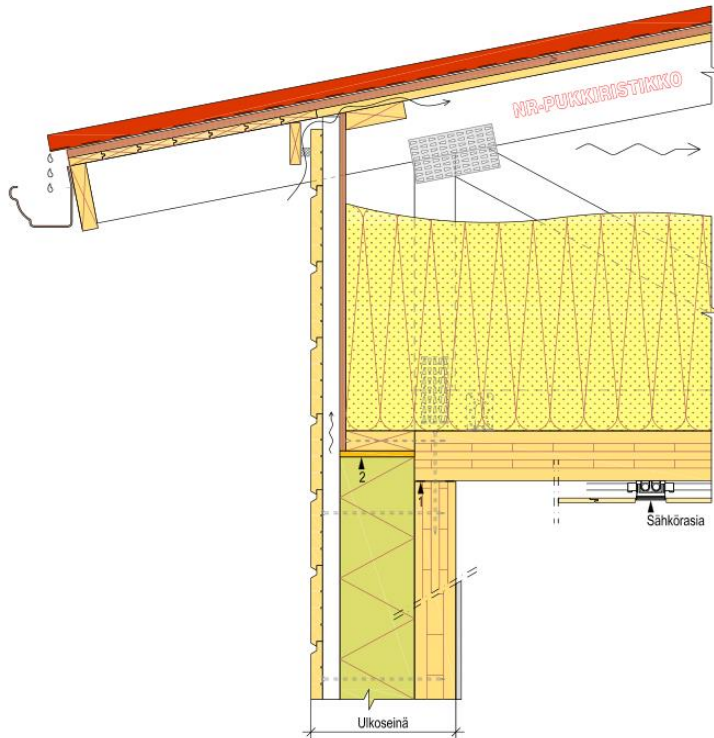
Kuvio 9. Esimerkkirakenne Välipohjasta (Puuinfo 2012a)

Mikäli alapohja on mahdollista toteuttaa maanvaraisena teräsbetoni-laattana, CLT-levyillä ei saavuteta juuri näkyviä etuja huonon kulutuskestävyydestä johtuvan tarvittavan lattiapinnoittamisen takia ja huomattavasti korkeamman hinnan takia (liite 3). Tuulettuun puupalkistoalapohjaan verrattuna CLT-levyjä käyttämällä etuna on nopeampi rakentaminen, mutta kokonaiskustannuksiltaan se on kalliimpi.

Välipohjana käytettynä suurin etu, nopean rakentamisen ja kustannusten lisäksi, on rakenteen ohuudessa. Välipohjassa kerrosten välillä kantava välipohja voi olla vain 12 cm paksuinen, joten huonekorkeuteen saadaan helposti lisäkorkeutta (Kemin Digipolis Oy 2014). Suurilla jänneväleillä tarvittavat äänieristeet voivat kuitenkin aiheuttaa liian järeitä rakenteita (Ylinen 2017). Liittorakenteiden kehityksessä, CLT-välipohjien edut voivat tulevaisuudessa kasvaa.

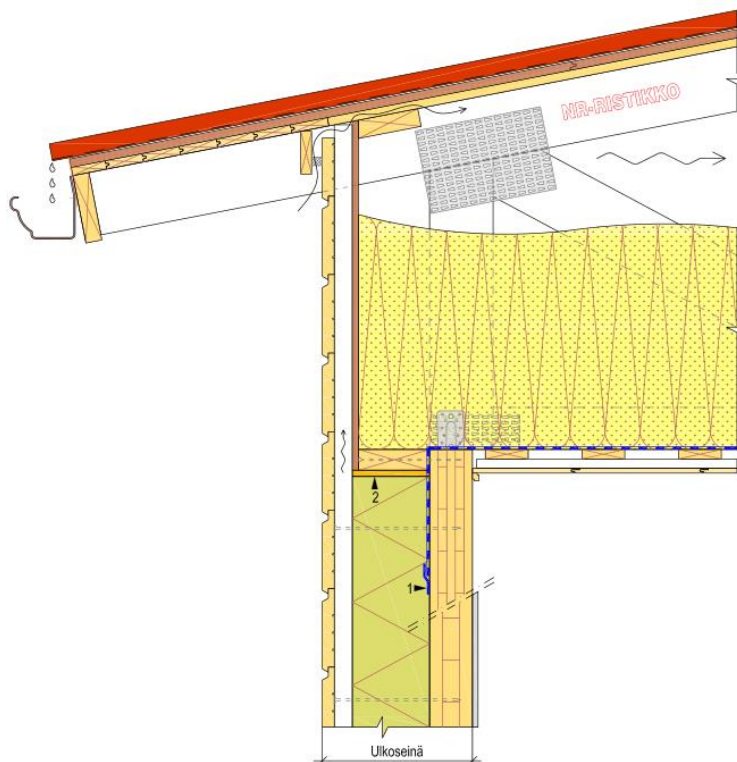
## 5.6 Yläpohjat

Yläpohjissa CLT toimii valmiina sisäverhoiluna (kuvio 10) tai levyihin voidaan asentaa kantavarunko sisäkaton erillisellä sisäverhoiluille. CLT-levyjen päälle tulee vesikaton kantavaksi rakenteeksi kattotuolit tai –palkit. Käyttäessä CLT:tä yläpohjana lämmöneriste asetetaan suoraan levyjen päälle. (Stora Enso 2013.)



Kuvio 10. Esimerkki rakenne käyttäessä CLT:tä yläpohjana (Stora Enso 2013)

Mikäli yläpohjana ei ole CLT-levyjä, on esim. NR-ristikot sisäverhoilulla, höyrnsulun on ulotuttava seinäelementtien ulkopintaan (kuvio 11). (Stora Enso 2013.)



Kuvio 11. Esimerkki rakenne paikalla rakennetusta yläpohjan sisäverhoilusta ja höyrnsulusta (Stora Enso 2013)

Etenkin yläpohjana käyttäessä CLT-levyt voivat halkeilla, mikä voi häiritä rakennuksen käyttäjää. Yläpohjissa, niin kuin muissakin rakennusosissa, CLT:n parhaat edut ovat nopeassa rakentamisessa, mikäli CLT-levyjen pinta jätetään näkyville (liite 3).

### 5.7 CLT-rakenteen ylläpito ja huolto

CLT-elementin ylläpito ja huolto ei juuri eroa puuverhoillusta rakenteista. CLT-levyjen puuverhoilulle riittää huoltomaalaus vanhan maalipinnan päälle. Sisäpinoissa CLT-elementin puupinta voidaan kevyesti pestä, kolhut tarvittaessa hioa ja maalata puupinnalle soveltuvalla maalilla. (Kuninkaankylän Puurakentajat 2017.)



## 6 CLT:n suunnittelu

### 6.1 Yleistä CLT:n suunnittelusta

CLT-elementin suunnittelu ei juurikaan eroa tavallisen puurankarakenteisen elementin suunnittelusta mutta sen suunnittelua voidaan pitää joiltain osin suoraviivaisempänä. CLT-elementti on detaljisuunnittelun kannalta yksinkertainen ja CLT toimii samanaikaisesti valmiina sisäpintana sekä kantavana rakenteena. Toisaalta CLT:n suunnittelusta, kuten muustakin toteutuksesta puuttuu pitkäaikaisia kokemuksia, joten perinteisen puurakanrakenteisen elementin suunnittelua voivat helpottaa jo hyviksi todetut rakenneratkaisut. (Kemin Digipolis Oy 2014; Kunnikaankylän puurakentajat 2017.)

Koska CLT-elementti on kauttaaltaan puuta, se mahdollistaa esimerkiksi valmiita ja kestäviä kiinnitysalustoja kalusteasennuksille ilman erikseen suunniteltuja tukirakenteita. Ilman- ja höyrynsulun kannalta puurankarakenteinen elementti vaatii erillistä suunnittelua. CLT-elementti taas ei vaadi erillistä höyrynsulkua, sillä jo 80 mm vahva levy toimii höyrynsulkuna. Liitosten suunnittelu ja toteuttaminen CLT-elementtiin on kuitenkin erityisen tärkeää ilman- ja höyrynsulun onnistumisen takia. (Kemin Digipolis Oy 2014; Ahoranta 2017.)

Kokonaisuudessaan CLT-rakenteiden suunnittelu on aikaa vievämpää kuin muiden rakenteiden suunnittelu. Tämä johtuu siitä, että liitosten ja LVIAS suunnittelu on vaikeampaa. CLT-rakenteiset kohteet myös suunnitellaan huomattavasti pidemmälle kuin perinteisemmät rakennuskohteet. Pitkälle suunniteltu elementti kuitenkin nopeuttaa itse rakentamista. Myös nykyisistä palomääräyksistä tulevat haasteet nostavat suunnittelun kustannuksia. (Matikainen 2017.)

### 6.2 Suunnittelijan pätevyudet ja vaatimukset

CLT:n suunnittelu ei olennaisesti poikkea perinteisestä puurankarakenteisen elementin suunnittelusta rakennelaskelmien osalta. Suunnittelijalla on kuitenkin oltava hyvä tietämys CLT-levyjen tuotannossa käytettävissä koneista ja menetelmistä, jotta vältytään turhilta ja ylimääräisiltä työvaiheilta. Suunnittelijan huono

tietämys CLT-rakentamisesta voi siis vaikuttaa rakentamisen kokonaiskustannuksiin. (Yliniemi 2017; Ahoranta 2017.)

Suunnittelussa käytetään pääpiirteittäin samoja euronormeja kuin perinteisen puurankarakenteisen elementin suunnittelussa. Noudatettavia euronormeja ovat Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat EN 1990 ja EN 1991 1-4 sekä Puurakenteiden suunnitteluohje EN 1995 1-2. (Puuinfo 2016.)

Rakennelaskelmia varten on erillisiä taulukoita CLT:n mitoituskapasiteettia varten. Mitoitustaulukoita on saatavilla esimerkiksi Stora Ensolta. Stora Enso on myös julkaissut ilmaisen Calculatis by Stora Enso nimisen suunnitteluohjelman CLT-elementtien suunnitteluun. (Stora Enso 2016.)

## 7 CLT-RAKENTAMISEN KUSTANNUKSET

### 7.1 Kustannusvertailu

CLT:n kustannusvertailua varten tein oman kustannusvertailutaulukon Excel -ohjelmistolla (liite 3). Taulukon avulla pystyn vertailemaan eri CLT-rakenteiden kustannuksia neliötä kohden verrattuna paikallarakennettuihin rakennusosiin.

Taulukko ilmoittaa erikseen rakentamiseen kuluva ajan, rakennusmateriaalien kokonaishinnan, työn kustannukset ja rakentamisen kokonaiskustannuksen. Taulukko näyttää tulokset neliötä kohden. Hinnat ovat arvolisäverottomia.

Taulukkoon pystyy asettamaan haluamansa hinnan eri rakennusmateriaaleille ja työhön kuluva ajan työntekijätunteina. Rakennusmateriaalien hintoihin ja työntekijätunteihin käytin Rakennustieto Oy:n julkaisemaa Rok: Rakennusosien kustannuksia 2015 –kirjaa. CLT-levyjen hintaa ei ole yleisesti tiedossa, joten käytin CLT:lle kustannusvertailussa Kemin CLT-koetalon liimapuun hintaa 565 €/m<sup>3</sup>. CLT-elementtien pystytysnopeutena käytin normaalien puuelementtien pystytykseen kuluva työntekijätunteja. Työn tuntihintana on käytetty 20 €/h. Kustannusvertailun tuulensuojaeristeiden hinta on saatu eristetoimittajalta.

Kustannusvertailutaulukossa on kuitenkin huomioitavaa, että se ilmoittaa vain suoran neliöhinnan eri rakennevaihtoehdoille. Taulukko ei huomioi esimerkiksi nopeamman rakentamisen tuomia kustannustaloudellisia etuja ja tästä johtuvien esimerkiksi mahdollisten kalustovuokrien pienenemistä. Myöskään aivan kaikkia materiaalihukkiakaan ei ole huomioitu. Rakennuspaikkakunnan vaikutusta ei ole huomioitu, joten hinnat ovat edullisen rakentamisen aluetta.

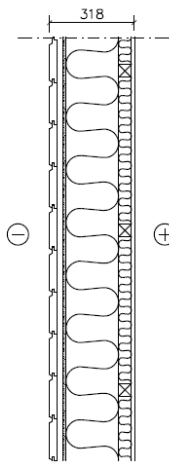
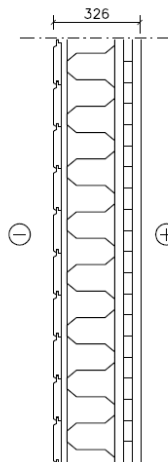
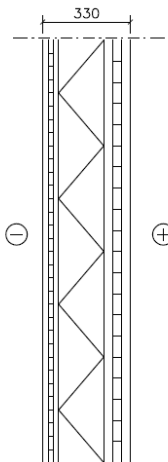
Olennaista kustannusvertailussa on myös CLT-elementtien koko ja rakenteiden paksuus. Koska elementtien pystytykseen kuluva työntekijätunnit on ilmoitettu yhtä elementtiä kohden, CLT:llä rakentaminen on sitä nopeampaa, mitä isompia elementit ovat. Kustannusvertailussa käytin elementtien kokona 13 m<sup>2</sup>. Valitsin

rakenteet kustannusvertailuun siten, että ne täyttävät Suomen rakentamismääräyskokoelman U-arvo vaatimuksen (taulukko 3). Pyrin myös minimoimaan käytettävän CLT:n määrän ja valitsemaan mahdollisimman edulliset rakenteet.

Taulukko 3. Suomen rakentamismääräyskokoelman U-arvo vaatimukset (Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2012, 13)

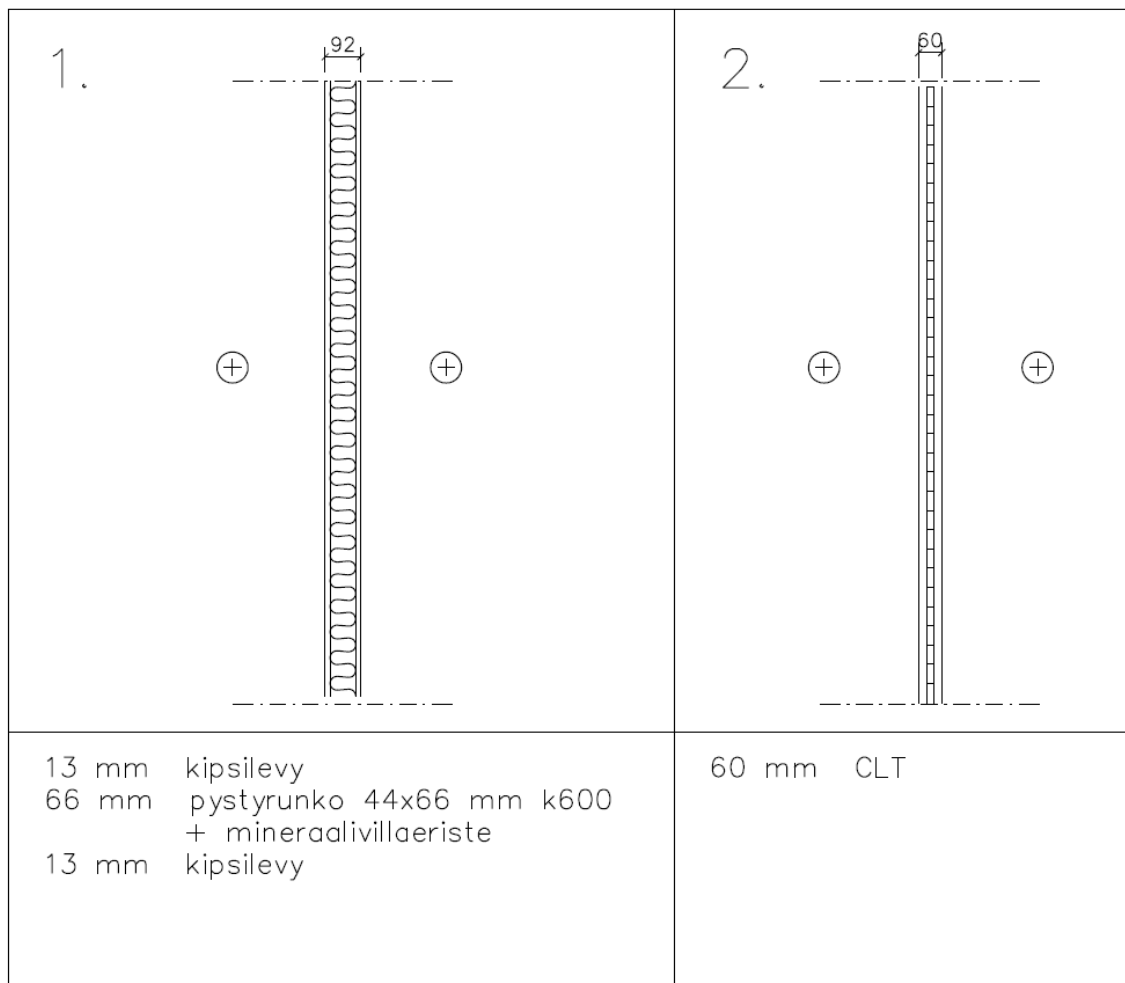
Seinä	0,17 W/m <sup>2</sup> K
Yläpohja	0,09 W/m <sup>2</sup> K
Ryömintätilainen alapohja	0,17 W/m <sup>2</sup> K
Maanvarainen alapohja	0,16 W/m <sup>2</sup> K

Ulkoseinärakenteiden kustannusvertailun tein kolmelle erilaiselle rakenteelle. CLT-levyn ulkopintaan eristetyn rakenteen CLT:n paksuutena on 100 mm. Sandwich-rakenteessa ulkopinnan CLT-levyn paksuudeksi riittää 60 mm (Yliniemi 2017). CLT-levyjen yhteispaksuus sandwich-rakenteessa on minimoitu 160 mm:n (kuva 12). Paikalla rakennetun puurungon runkopaksuutena on 250 mm (kuvio 12).

<p>1.</p> 	<p>2.</p> 	<p>3.</p> 
<p>13 mm kipsilevy 48 mm vaakakoolaus 48x48 mm k600 + mineraalivillaaeriste höyrynsulkumuovi 198 mm pystyrunko 48x198 mm k600 + mineraalivillaaeriste 12 mm tuulensuojaeriste 22 mm pystykoolaus 22x100 mm k600 23 mm vaakaverhous UTV 23x170 mm</p> <p>U=0,15 W/m<sup>2</sup>K</p>	<p>100 mm CLT 180 mm Paroc Cortex One tuulensuojaeriste 22 mm pystykoolaus 22x100 mm k600 23 mm vaakaverhous UTV 23x170 mm</p> <p>U=0,14 W/m<sup>2</sup>K</p>	<p>100 mm CLT 170 mm XPS-eriste 60 mm CLT</p> <p>U=0,16 W/m<sup>2</sup>K</p>

Kuvio 12. Kustannusvertailtavat ulkoseinät. 1, paikalla rakennettu puuranka. 2, CLT työmaalla eristetty. 3, CLT sandwich-rakenne

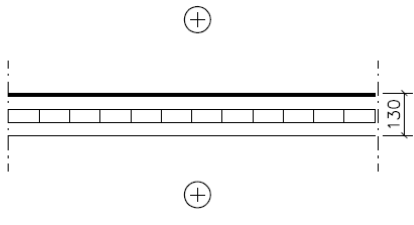
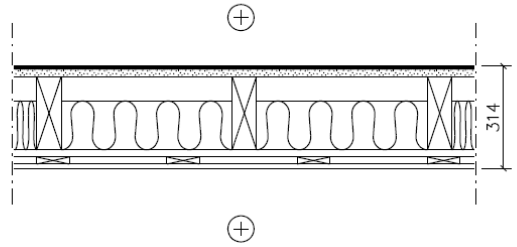
Väliseinien kustannusvertailu on tehty kahdelle ei kantavalle rakenteelle. CLT rakenteisen väliseinän paksuudeksi riittää vain 60 mm vahvuinen rakenne (kuvio 13) (Kemin Digipolis Oy 2014). Puuranka rakenteinen väliseinä on perinteinen 44x66 mm kertopuusta tehty väliseinä ääneneristyksellä (kuvio 13).



Kuvio 13. Kustannusvertailtavat väliseinät. 1, puuranka väliseinä. 2, CLT väliseinä

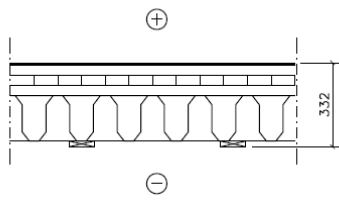
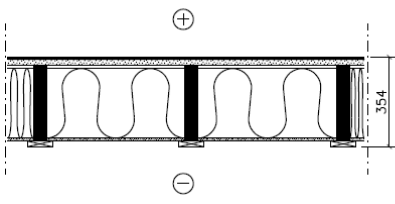
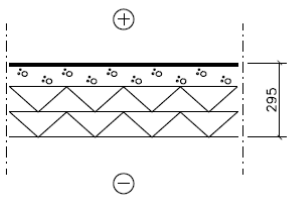
Välipohjien kustannusvertailun rakenteen paksuus CLT-välipohjalle on valittu Kemin CLT-koetalon raportin mukaan. Raportin mukaan välipohjalla riittää 120 mm vahvuinen rakenne (Kemin Digipolis Oy 2014). Puupalkisto välipohjan kantavan rakenteen vahvuus ja ääneneristykset ovat tavanomaisia, Rok: rakennusosien

kustannukset –kirjan mukaan. Rakennekuvasta näkee hyvin, kuinka yksinkertainen CLT-rakenne parhaimmillaan on verrattuna perinteisempään rakenteeseen (kuvio 14).

<p>1.</p> 	<p>2.</p> 
<p>7 mm laminaatti 3 mm askeläänieriste 120 mm CLT</p>	<p>7 mm laminaatti 3 mm askeläänieriste 22 mm lastulevy 225 mm runko 75x225 mm k600 + mineraalivillaeriste 150 mm rakennuspaperi 22 mm koolaus 22x100 mm 22 mm koolaus 22x100 mm 13 mm kipsilevy</p>

Kuvio 14. Kustannusvertailtavat välipohjat. 1, CLT välipohja. 2, Puupalkistovälipohja

Alapohjien kustannusvertailuun valitsin kolme rakennetta. CLT-rakenteisen ulkopuolelle eristetty alapohja, tuulettuvan puupalkisto alapohjan ja maanvaraisen teräsbetoni- ja tervetörmäalustan (kuvio 15). Lattiapinnoitteena kaikissa rakenteissa on laminaattia askeläänieristeellä. Myös tähän rakenteeseen on valittu Kemin CLT-koetalon ja Rok: rakennusosien kustannukset –kirjan mukaan.

<p>1.</p> 	<p>2.</p> 	<p>3.</p> 
<p>7 mm laminaatti 3 mm askeläänieriste 120 mm CLT 180 mm Paroc Cortex One tuulensuojieriste 22 mm koolaus 22x100 mm</p> <p>U=0,14 W/m<sup>2</sup>K</p>	<p>7 mm laminaatti 3 mm askeläänieriste 22 mm lastulevy höyrynsulku 300 mm runko 51x300 mm k600 + puhallusvilla 275 mm 12 mm tuulensuojieriste 22 mm koolaus 22x100 mm</p> <p>U=0,14 W/m<sup>2</sup>K</p>	<p>7 mm laminaatti 3 mm askeläänieriste 5 mm lattiatasoite 80 mm teräsbetonilaatta 100 mm polystyreeni 100 mm polystyreeni</p> <p>U=0,14 W/m<sup>2</sup>K</p>

Kuvio 15. Kustannusvertailtavat alapohjat. 1, CLT alapohja. 2, Puupalkistoalopohja. 3, Maanvarainen teräsbetoni laatta

Kustannusvertailu on pysäytetty kipsilevypintojen osalta pintojen tasoittamiseen. Maalauksia ja muita viimeistelytyöitä ei ole huomioitu missään rakennevaihtoehdoissa ja –osissa.

## 7.2 CLT:n kustannus rakennusmateriaalina

Materiaalina CLT:tä voidaan pitää kokonaiskustannuksiltaan kalliimpana kuin perinteisiä paikallarakennettuja puurakenteita. Kalliimpaan hintaan vaikuttaa ennen kaikkea suuri käytettävä puun määrä. CLT-rakentamisen kokonaishintaa kuitenkin laskee lyhyt työmaa-aika paikallarakennettuihin rakennusosiin verrattuna. CLT-elementissä on mm. valmiit työstöt sähkö ja LVI asennuksia varten. Tulevaisuudessa CLT-rakentamisen kokonaishinta tulee todennäköisesti laskemaan rakentamisen osaamisen ja kiinnitysmenetelmien parantuessa sekä kilpailun kiristyessä alalla. (Kemin Digipolis Oy 2014; Yliniemi 2017.)

Keskimäärin CLT-levyn arvoisäveroton hinta on 500–570 €/m<sup>3</sup>. Keskimääräinen hinta ei sisällä kuljetuksia. Tavanomaisen CLT-levyn hintaan kuuluu vakio kom-

ponenttien, sähkörsioiden ja -uritusten teko sekä reunojen siistimiset työstöineen. Monimutkaiset työstöt hinnoitellaan erikseen lisääntyvien työtuntien takia. Tyypillisesti lisätyötunteja kuluu työstöissä tarvittavien terien vaihtamiseen ja tavanomaisesta poikkeavaan levyjen siirtelyyn, jota tarvitaan esimerkiksi pyöreitä muotoja tehtäessä. (Yliniemi 2017; Ylinen 2017.)

Omassa kustannusvertailussani rakennusmateriaalina CLT muodostaa lähes kaikissa rakennusosissa ja rakenteista, jopa noin 86–96 % rakentamisen kokonaiskustannuksista (liite 3). Paikallarakennettujen rakennusosien materiaalien osuus kokonaiskustannuksista on noin 55–67 % alapohjia lukuun ottamatta, joissa materiaaleihin menee noin 80–84 %. CLT:n sandwich-rakenteen materiaalien hinta on, suuren käytettävän puumäärän takia, noin 114 €/m<sup>2</sup>. Sandwich-rakenteen materiaali kustannukset ovat siis lähes 99 % kokonaiskustannuksista. Vertailun vuoksi mainittakoon, että mineraalivillaisen puurunkoelementin arvolisäveroton hinta on keskimäärin 79,77 €/m<sup>2</sup> (Rakennustieto Oy 2015, 250).

### 7.3 Rakentamisen aikaiset kustannukset

Rakentamiseen käytetyillä työtunneilla laskettuna, CLT-rakentaminen on paikallarakennettuja puurakenteita huomattavasti nopeampaa ja edullisempaan. CLT-elementeillä rakentamalla jää pois useita työvaiheita yksinkertaisempien rakenteiden ansiosta. Kemissä vuonna 2014 toteutetulla CLT-koetalo -hankeessa todettiin CLT:llä rakentamalla kuluvan noin 68 % puurankatalon työtunti määrästä. Työpalkkoina laskettuna CLT:llä kuluu noin 40 % vähemmän palkkakuluja kuin puurankatalolla. (Kemin Digipolis Oy 2014.)

Nopean rakennusajan tuo erityisesti elementtien lyhyt pystytysaika, elementtien keveys ja helppo rakennuksen tiiveyteen liittyvä toteutus. CLT:n talvirakentaminen on myös melko varmaa verrattuna betonirakentamiseen, eikä CLT tarvitse erilaisia tehtäviä hionta ja tasoitustöitä. (Stora Enso 2014; Loukasmäki 2017.)

Nopea rakentaminen tuo myös taloudellisia hyötyjä rahoituskustannusten ja työhön tarvittavien vuokratustannusten ja kalustokulujen pienenemisellä. Nopealla



valmistumisella rakennus saadaan aiemmin hyötykäyttöön, jolloin esim. vuokra-  
käyttöön valmistettu rakennus saadaan tuottamaan taloudellisesti aiemmin. (Ke-  
min Digipolis Oy 2014.)

Omassa kustannusvertailussani ulkoseinärakenteessa, jossa CLT eristetään työ-  
maalla, seinäneliötä kohden kuluu noin 0,7 tth/m<sup>2</sup> (liite 3). Paikalla rakennettuun  
puurunkoon kuluu noin 1,7 tth/m<sup>2</sup>. CLT:llä rakentamalla kuluu täten omassa ver-  
tailussani ulkoseinissä noin 56 % vähemmän työtunteja. CLT-sandwichraken-  
teella ja CLT-rakenteisilla väliseinillä, kuten perinteisillä puurunkoelementeillä-  
kään, työmaalla ei juuri kulu työtunteja kuin elementtien pystytykseen. Täten  
CLT-väliseinän rakentaminen on jopa noin 90 % nopeampaa kuin puurankara-  
kenteinen väliseinä.

Välipohjiin kustannusvertailussa kuluu tunteja CLT-välipohjalle 0,2 tth/m<sup>2</sup>. Puu-  
palkisto välipohjalle kuluu 1,3 tthh/m<sup>2</sup> (liite 3). CLT-rakenteinen välipohja on kus-  
tannusvertailuni mukaan noin 85 % nopeampi rakentaa kuin puupalkistoa väli-  
pohja. Alapohjana CLT on noin 50 % nopeampi rakentaa kuin maanvarainen te-  
räsbetoni laatta.

#### 7.4 Rakentamisen kokonaiskustannukset

Käyttämällä CLT:tä kaikissa rakennusosissa alapohjista yläpohjaan on CLT-ra-  
kenteinen talo kalliimpi kuin puurankarakenteinen talo. Kemin CLT-koetalo osoit-  
tautui laskennallisesti noin 6–7 % kalliimmaksi verrattuna puurankarakenteiseen  
taloon. Rakentamisen kokonaiskustannuksia saadaan kuitenkin laskettua eten-  
kin suunnittelemalla CLT-rakenteet oikean paksuisiksi. Turhan paksut rakenteet  
nostavat kokonaiskustannuksia liimapuun kohtuullisen kalliin hinnan takia. Mikäli  
rakennuksen pintoja aiotaan sisäverhoilla, voidaan kustannuksia saada myös  
pienennettyä käyttämällä esim. puurankarakenteisia väliseinä CLT-väliseinien si-  
jaan. (Kemin Digipolis Oy 2014.)

Koska kokemukset CLT-rakentamisesta ovat vielä vähäisiä, kokonaiskustannuksia nostaa myös se, että rakennuttajat ja rakennusliikkeet suosivat helposti entuudestaan tuttuja ja hyviksi todettuja rakennusmateriaaleja ja menetelmiä. Kokemusten puutteesta on myös jouduttu tekemään joitakin työvaiheita uudelleen (Ylinen 2017). Tämä aiheuttaa CLT-rakentamiselle kysynnän puutetta, jolloin tietämys ja osaaminen eivät kasva. Lisäksi muilla rakennusmenetelmillä on enemmän avointa kilpailua kuin puurakentamisella. (Arola 2016.)

Omassa kustannusvertailussani CLT osoittautui ulkoseinärakenteena noin 17 % kalliimmaksi kuin paikalla rakennettu puurunko (taulukko 4). CLT-rakenteinen rakennus, jossa seinän ulkopinta on eristetty työmaalla, maksaa noin 106 €/m<sup>2</sup>. Paikalla rakennettu puurunko maksaa noin 90 €/m<sup>2</sup>. CLT-kapselirakenne on, suuren käytettävän puumäärän takia, noin 28 % kalliimpi kuin paikalla rakennettu puurunko. Hintaa CLT-sandwichrakenteella on noin 115 €/m<sup>2</sup>.

Taulukko 4. Kustannusvertailun tulokset ulkoseinärakenteissa ja erotus verrattuna puurankaan

	Työ	Työ	Materiaalit	YHT	Erotus
	tth/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	%
CLT, us perus	0,73	14,68	91,05	105,73	17,35
CLT, us sandwich	0,07	1,48	113,80	115,28	27,94
Puuranka, us	1,71	34,20	55,90	90,10	

Ei kantavana väliseinänä CLT on neliöhinnaltaan melko lähellä paikallarakennettua puurankaseinää (taulukko 5). Kokonaiskustannuksiltaan erotus on noin 4 %. CLT-väliseinä maksaa noin 35 €/m<sup>2</sup> ja puurankarakenteinen noin 34 €/m<sup>2</sup>. Mikäli CLT-väliseinän vahvuus olisi paksumpi kantavana väliseinänä tai seinä joudutaisiin kipsilevyttämään esim. paloturvallisuus syistä, erotusta tulisi todennäköisesti huomattavasti enemmän materiaalikustannusten takia.

Taulukko 5. Kustannusvertailun tulokset väliseinissä ja erotus verrattuna puurankaan.

	Työ	Työ	Materiaalit	YHT	Erotus
	tth/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	%
CLT, vs	0,07	1,48	33,90	35,38	4,29
Puuranka, vs	0,80	16,00	17,92	33,92	

Myös välipohjissa CLT on kohtalaisen lähellä perinteistä puupalkisto välipohjaa vähäisen tarvittavien materiaalien ja lyhyen työajan ansiosta (taulukko 6). Kokonaiskustannusten erotus on noin 7 %. Välipohjissakin mahdolliset palosuojaukset tai esimerkiksi korkeat ääneneristävyys vaatimukset voisivat nostaa CLT-rakenteisen välipohjan hintaa.

Taulukko 6. Kustannusvertailun tulokset välipohjissa ja erotus verrattuna puupalkistovälipohjaan

	Työ	Työ	Materiaalit	YHT	Erotus
	tth/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	%
CLT, vp	0,17	3,48	83,99	87,47	7,01
Puupalkisto, vp	1,26	25,20	56,54	81,74	

Alapohjana käytettynä CLT on huomattavasti kalliimpi kuin maanvarainen teräsbetoni laatta (taulukko 7). Suurin syy korkeampaan hintaan on suuri materiaalien osuus kokonaiskustannuksiin. CLT-rakenteinen alapohja on maanvaraiseen teräsbetoni laattaan verrattuna noin 59 % kalliimpi ja tuulettuvaan puupalkisto alapohjaan verrattuna noin 23 % kalliimpi.

Taulukko 7. Kustannusvertailun tulokset alapohjissa ja erotus verrattuna maanvaraiseen teräsbetoni laattaan

	Työ	Työ	Materiaalit	YHT	Erotus
	tth/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	%
CLT, ap	0,27	5,48	111,67	117,15	59,04
Puupalkisto, ap	0,71	14,20	81,03	95,23	29,28
Betoni, ap	0,59	11,80	61,86	73,66	

Mikäli CLT-levyjen hinta tulisi tulevaisuudessa laskemaan, lähenisi CLT-rakenteisen rakennusosien hinta perinteisempien rakennusosien kokonaishintaa. Omalla kustannusvertailullani tämä tarkoittaisi ulkoseinien kohdalla, että CLT:n hinnan olisi pudottava rakenteesta riippuen noin 30 %. Tuolloin CLT:n hinta olisi noin 400 €/m<sup>3</sup>. Palosuojaamattomissa väliseinissä ja välipohjissa riittäisi 5–8 % hinnanlasku. Alapohjana käytettynä CLT-levyjen hinnan olisi pudottava jopa yli 60 %, jotta se olisi kustannuksiltaan lähellä maanvaraista teräsbetoni laatan hintaa.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyössä käsiteltiin melko laajasti CLT-rakentamisen tuomia haasteita ja etuja. Tarkoituksena oli myös perehtyä itse CLT-rakentamiseen siinä olevan suuren potentiaalin takia. Opinnäytetyö keskittyi lähinnä nykyisin pientalorakentamisessa yleisesti käytössä oleviin perinteisiin rakennusratkaisuihin. CLT soveltuisi kuitenkin myös kerrostalokohteisiin ja tilaelementti rakentamiseen, joissa CLT-rakentamisella voisi olla mahdollisuuksia.

Materiaalina CLT on hyvin ympäristöystävällinen nykyisiin laajemmin käytössä oleviin rakennusmateriaaleihin ja tarjoaa laajoja arkkitehtuurisia mahdollisuuksia. Puupinnat ovat mm. erittäin helppoja työstää lähes mihin vain muotoon ja elementeille saadaan tuotannossa korkea valmiusaste. Hiilidioksidipäästöillä mitattuna, CLT:n valmistus kuluttaa hiilidioksidia hyvinkin vähän. Lisäksi elinkaarensa loppuun tulleet CLT-levyt voidaan käyttää energian tuotannossa.

Kustannusvertailtuna CLT-rakentaminen ei ole tällä hetkellä kilpailukykyinen perinteiseksi koettuihin rakennusratkaisuihin korkeiden materiaalihintojen vuoksi. CLT-rakentaminen on kuitenkin rakennusaikana mitattuna jopa noin puolet nopeampaa kuin paikallarakentaminen, joten rakennushankkeen aikataulu ja tuleva käyttötarkoitus korostuvat. Uusi rakennusmateriaali aiheuttaa myös paljon ennakkoluuloja, jonka takia osaaminen ja tieto eivät aina kasva.

Rakennusosista CLT soveltuu rakentamisen kokonaiskustannuksilta tarkasteltuna parhaiten väliseiniin ja välipohjiin, mikäli rakenteilla ei ole korkeita paloturvallisuus ja ääneneristävyys vaatimuksia. Tällaiset väliseinät ja välipohjat ovat hinnaltaan lähellä puurankarakenteita ja myös hyvin nopeita rakentaa. Ulkoseinien osalta CLT:hen käytettävän liimapuun hinnan olisi pudottava noin kolmanneksen, jotta se olisi suoraan kokonaiskustannuksiltaan kilpailukykyinen puurankaelementeille. Alapohjaan kustannusvertailtuna CLT sopii rakennusosista kaikkein huonointen. CLT-alapohja on jopa noin 60 % kalliimpi kuin nykyisin laajasti käytetty maanvarainen teräsbetonilaatta. Tulevaisuudessa CLT-rakentamisen tietotaidon kasvaessa ja kilpailun kiristyessä, CLT voi olla täysin kilpailukykyinen muille rakennusmenetelmille.

Käyttämällä CLT:tä rakennusmateriaalina sen edut on siis haettava jostain muualta kuin suoraan rakentamisen kokonaiskustannuksista. Mikäli rakennushankkeeseen ryhtyvä haluaa suosia ympäristöystävällistä rakentamista, voi CLT:n käyttö olla järkevää. Lisäksi rakennuskohteissa, joissa halutaan nopeaa rakentamista, CLT:n edut ovat parhaimmillaan, mutta yli kaksi kerroksissa asuinrakennuksissa CLT-rakentaminen kokonaistyöaika kasvaa nykyisten palosäädösten takia. Teknisesti tarkasteltuna CLT on todettu toimivaksi, joten tulevaisuudessa tärkeintä on alan osaamisen kehittyminen.

## LÄHTEET

Ahoranta, T. 2017. Kemin Digipolis Oy. Projektipäällikön haastattelu 18.1.2017.

Arola, H. 2016. Betoninvalmistajat moittivat hallituksen halua suosia puurakentamista – ”Ministeri palkkasi sisäisen lobbarin, joka ajaa yhden materiaalin asiaa”. Helsingin Sanomat. 29.9.2016.

FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council 2016. CLT handbook. Pointe-Claire: Special Publication.

Hoisko 2016. Materiaalipankki. Viitattu 3.2.2017 <http://www.hoisko.fi/fi/rakentaminen/materiaalipankki/>

Jalokivitalo 2017. CLT-Massiivipuu. Viitattu 2.2.2017 <http://www.jalokivitalo.fi/saksalaista-tekniikkaa/puu-vai-kivitalo-seinarakenteella-on-valia#CLT>

Kemin Digipolis Oy 2014. CLT- ja puurankatalon kustannusvertailu.

Kiintopuu 2016. Mikä CLT? Perustietoa CLT:stä. Viitattu 2.1.2017. <http://www.kiintopuu.fi/fi/etusivu/mika-clt-perustietoa-cltsta.html>

Koivula, J. 2017. Tiilikainen: Puurakentamisella torjutaan ilmastonmuutosta. Maaseudun Tulevaisuus 18.1.2017, 8.

Kuninkaankylän Puurakentajat 2017. Viitattu 3.1.2017 <http://www.puurakentajat.fi/>

Loukasmäki, M. 2017. Kuhmon puinen ihmekoulu: 11 miljoonan euron kulu voi muuttua 31 miljoonan tuloksi.

Mainio, T. 2014. CLT-talossa paukahtelee. Helsingin Sanomat. 17.11.2014.

Matikainen, A. 2017. CLT-rakentamisen edut ja haasteet. Sähköposti antti.matikainen@timberbros.fi 2.2.2017.

MTV.doc: Suomen tulevaisuus, Hyvinvointia puusta 2016. Dokumentti. Ohjaus: Nina Pulkkis. Tuotanto: Franck Media.

Olament Oy 2017. Viitattu 2.1.2017 <http://www.olament.fi>

Pelttari, H. 2017. Elementtien toimitusaika. Sähköposti heikki.pelttari@lappli.fi 24.2.2017.

Puuinfo 2011. CLT ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber). Viitattu 2.1.2017. <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>

Puuinfo 2012a. Perus tietoa CLT-levystä. Viitattu 22.11.2016 [http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/clt\\_facts\\_fi.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/clt_facts_fi.pdf)

Puuinfo 2012b. Yleinen rakennetyyppikirjasto. Viitattu 20.1.2017  
[http://www.puuinfo.fi/yleinen\\_rakennetyyppikirjasto](http://www.puuinfo.fi/yleinen_rakennetyyppikirjasto)

Rakennustieto Oy 2015. Rok: Rakennusosien kustannuksia 2015. Helsinki:  
Lönnberg Print & Promo.

Saarela, J. 2017. CLT voi yleistyä rakennuksissa hyvinkin pian. Lapin Kansa  
16.1.2017, 6–7.

Stora Enso 2013. Paikalla rakentaminen. Viitattu 12.1.2017 [http://www.raken-  
napuusta.fi/files/3451/Paikalla\\_rakentaminen\\_082113\\_%283%29.pdf](http://www.raken-<br/>napuusta.fi/files/3451/Paikalla_rakentaminen_082113_%283%29.pdf)

Stora Enso 2014. Puu - maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateri-  
aali.

Stora Enso 2016. CLT info. Viitattu 10.11.2016 <http://www.clt.info/fi/>

Tarvas, T. 2015. Puukerrostalo asuntojen määrä moninkertaistuu lähivuosina.  
Helsingin Sanomat 22.2.2015.

Ylinen, S. 2017. CLT-rakentamisen edut ja haasteet. Sähköposti sauli.yli-  
nen@elementtisampo.fi 16.2.2017.

Ylinen, S. Kokemukset CLT:n käytöstä julkisessa rakentamisessa.

Yliniemi, M. 2017. Ammattiopisto Lappia. Projektipäällikön esittely 18.1.2017.

Yliniemi, M. 2017. CLT sandwich-rakenne. Sähköposti matti.yliniemi@lappia.fi  
16.2.2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11 2012.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 3/11 2011.



## LIITTEET

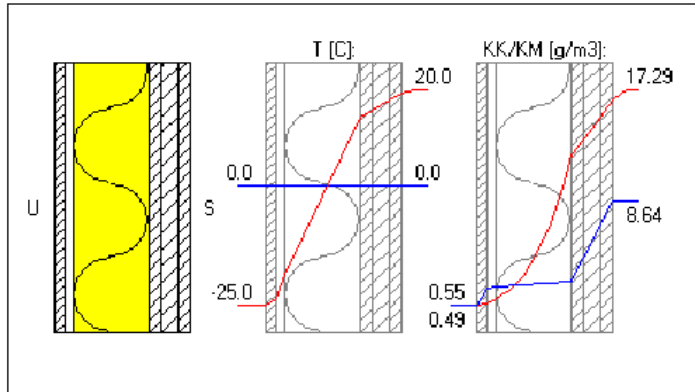
- Liite 1. CLT-rakenteinen ulkoseinä
- Liite 2. CLT-levyjen liitokset
- Liite 3. Kustannusvertailu

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 27.1.2017	Tunnus:

**Rakenteen päätiedot:**

U-arvo: 0.137 W/m<sup>2</sup>K  
Paksuus: 325.000 mm  
Pinta-ala: 1.00 m<sup>2</sup>  
Paino: 57.06 kg  
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 9.048e+03 m<sup>2</sup>hPa/g  
Vesih. läpäisykerroin: 1.105e-04 g/m<sup>2</sup>hPa  
Lämmönvastus: 7.293 m<sup>2</sup>K/W  
Pintavastus, ulko: 0.040 m<sup>2</sup>K/W  
Pintavastus, sisä: 0.130 m<sup>2</sup>K/W  
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 UTV	23.00	0.1200	4.000000e-12	0.00	450.00
2 Tuuletusrako	22.00	0.0250	2.000000e-10	0.00	1.23
3 Paroc cortex	180.00	0.0330	1.050000e-10	0.00	0.00
4 CLT-levy 30	30.00	0.1200	4.000000e-12	0.00	450.00
5 CLT-levy 40	40.00	0.1200	4.000000e-12	0.00	450.00
6 CLT-levy 30	30.00	0.1200	4.000000e-12	0.00	450.00
<b>KYLMÄSILTA:</b>					
2 Puu(mänty)	0.1200	17.0	0.00	450.00	---


T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:****3:n päivän kylmin (0.0 h)**

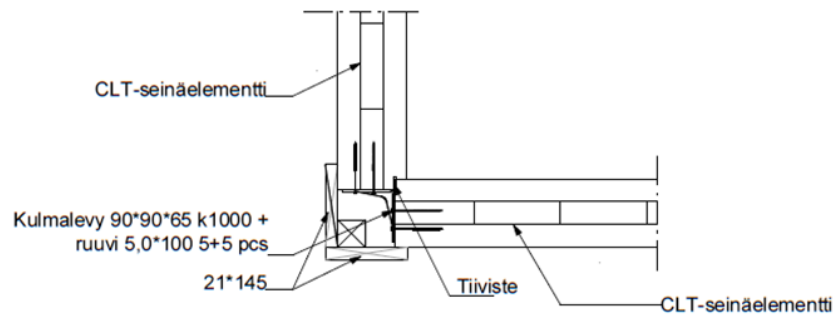
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-25.00	0.55	0.49	90.0	0.00
1	-24.76	0.56	0.49	88.0	0.00
2	-23.62	0.63	1.93	100.0	0.00
3	-18.36	1.02	1.96	100.0	0.00
4	14.24	12.25	2.39	19.5	0.00
5	15.74	13.41	4.27	31.8	0.00
6	17.73	15.12	6.77	44.8	0.00
7	19.22	16.52	8.64	52.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

**Lisätiedot:****Tiivistymisvaara! (SK\_max = 100.0 %)**

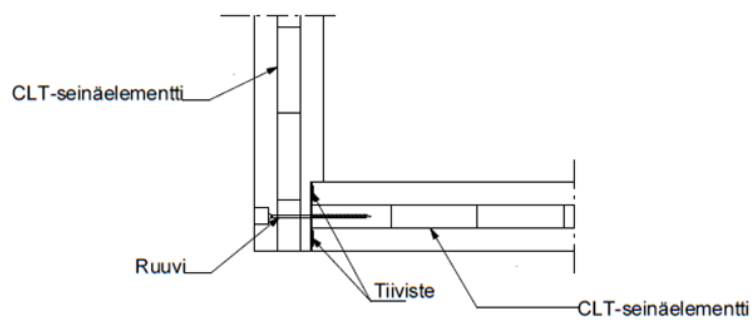
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Project	Scale 1:10		 Hoisko CLT
	Designer Matti Yli-Sissala RI		
Contents  CLT nurkkaliitos	Change	Drawn by	Code  SN 002
	Date 03.01.2017		

### CLT- ulkonurkka



### CLT- sisänurkka



TYÖ		20 €/h																	
<b>TYÖNTERKÄYTUNNIT</b>																			
Elementtasennus	0,96 tth/kpl																		
Ulkoerhoilu	0,52 tth/m <sup>2</sup>																		
Koolaus	0,04 tth/m <sup>2</sup>																		
Erstys, runko	0,07 tth/m <sup>2</sup>																		
Erstys, läpi	0,1 tth/m <sup>2</sup>																		
Kipsilevy	0,18 tth/m <sup>2</sup>																		
Rungon pystytys, us	0,66 tth/m <sup>2</sup>																		
Tuulensuoja	0,1 tth/m <sup>2</sup>																		
Kipsitasote	0,070 tth/m <sup>2</sup>																		
<b>CLT, ulkoseinä</b>																			
CLT vahvuus yht	Pystytys	CLT pystytys	CLT pystytetty	TYÖ	TYÖ	Materiaalit	YHT												
mm	h	h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>												
100	0,96	0,07	58,0	0,73	14,7	91,1	105,73												
<b>CLT, sandwich</b>																			
CLT vahvuus yht	Pystytys	CLT pystytys	CLT pystytetty	TYÖ	TYÖ	Materiaalit yht	YHT												
mm	h	h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>												
160	0,96	0,07	91,9	0,07	1,5	113,8	115,28												
<b>Puuranka, paikalla rakennettu</b>																			
				TYÖ	TYÖ	Materiaalit	YHT												
				h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>												
				1,71	34,2	55,9	90,10												
<b>Puurankaelementti</b>																			
				TYÖ	TYÖ	Materiaalit	YHT												
				h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>												
				0,07	1,5	79,8	81,25												
<b>MATERIAALIT</b>																			
Ulkoerhoitus	UTV 23x170			1,1 €/m															
				6,3 lm/m <sup>2</sup>															
Koolaus	22x100			6,93 €/m <sup>2</sup>															
				0,66 €/m															
				1,7 lm/m <sup>2</sup>															
Paroc Cortex	180 mm			1,122 €/m <sup>2</sup>															
Levyty	Kipsilevy 13			26,50 €/m <sup>2</sup>															
Runko	48x198			4,82 €/m <sup>2</sup>															
				3,41 €/m															
				2,14 lm/m <sup>2</sup>															
Koolaus	50x50			7,2974 €/m <sup>2</sup>															
				0,76 €/m <sup>2</sup>															
				1,79 lm/m <sup>2</sup>															
				1,36 €/m <sup>2</sup>															
Höyrynsulku	0,2 mm			1,06 €/m <sup>2</sup>															
Lankanauha	Runkoon			0,15 €/m <sup>2</sup>															
Mineraalivilla	200 mm			22,98 €/m <sup>2</sup>															
	150 mm			8,1 €/m <sup>2</sup>															
	50 mm			7,12 €/m <sup>2</sup>															
Tuulensuoja	12 mm			2,86 €/m <sup>2</sup>															
XPS	100 mm			13,8 €/m <sup>2</sup>															
	70 mm			9,6 €/m <sup>2</sup>															
Tasote	Kipsilevy			0,2 €/m <sup>2</sup>															

	TYÖ	TYÖ	Materiaalit	YHT	Erätus
	h/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	%
CLT, us perus	0,73	14,68	91,05	105,73	17,35
CLT, us sandwich	0,07	1,48	113,80	115,28	27,94
Puuranka, us	1,71	34,20	55,90	90,10	

TYÖ		20 €/h				CLT		Limapuu		565 €/m3		MATERIAALIT		70 mm		4,32 €/m2			
TYÖNTEKIJÄTUNNIT						Elementin koko		Vahvuus		200 mm		Tasoite		Kipsilevy		0,2 €/m2			
Elementtiasennus		0,96 tth/kpl				113 €/m2						Runko		44*66		1,38 €/m			
Eristys, runko		0,07 tth/m2										Levytyks		Kipsilevy 13		3,56 €/m2			
Kipsilevytyks		0,18 tth/m2														4,82 €/m2			
Seinätasote		0,070 tth/m2																	
Rungon pystytyks, vs		0,23 tth/m2																	
<b>CLT, väliseinä 60 mm</b>																			
CLT vahvuus yht		Pystytyks		CLT pystytyks		CLT pystytetty		Työ		Työ		Materiaalit		YHT					
mm		h		h/m2		€/m2		h/m2		€/m2		€/m2		€/m2					
60		0,96		0,07		35,4		0,07		1,5		33,9		35,38					
<b>Puuranka, 92 mm</b>																			
		Työ		Työ		Materiaalit		YHT		YHT									
		h/m2		€/m2		€/m2		h/m2		€/m2		€/m2		€/m2					
								0,8		16,0		17,9		33,92					
CLT, vs		0,07		1,48		33,90		35,38		4,29									
Puuranka, vs		0,80		16,00		17,92		33,92											



TYÖ		20 €/h																	
TYÖNTEKIJÄTUNNIT																			
Elementtasennus		0,96 tth/kpl		Sis askeläänieristeen															
Laminaattiasennus		0,1 tth/m2																	
Eristys, läpi		0,1 tth/m2																	
Lastulevyty		0,24 tth/m2																	
Runko		0,27 tth/m2		Sis laudoitus, tuulensuoja															
Tuulensuoja		0,1 tth/m2																	
Betonivalu		0,21 tth/m2																	
Eristys, maahan		0,15 tth/m2																	
Lattiatasotus		0,060 tth/m2																	
Suodatinkangas		0,01 tth/m2																	
Täyttö		0,06 tth/m2																	
<b>CLT, alapohja 120 mm</b>																			
CLT vahvuus yht		Pystyty	CLT pystyty	CLT pystytetty	Työ	Työ	Materiaalit	YHT											
mm	h	h/m2	h/m2	€/m2	h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2
120	0,96	0,07	0,07	69,3	0,27	5,5	111,7	117,15											
<b>Puupalkisto, 300 mm</b>																			
		Työ	Työ	Materiaalit	YHT														
		h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2
		0,710	14,2	81,0	95,23														
<b>Betoni, 80 mm</b>																			
		Työ	Työ	Materiaalit	YHT														
		h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2
		0,590	11,8	61,86	73,66														
<b>CLT, ap</b>																			
		Työ	Työ	Materiaalit	YHT	Erotus													
		h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	%													
		0,27	5,48	111,67	117,15	59,04													
<b>Puupalkisto, ap</b>																			
		Työ	Työ	Materiaalit	YHT														
		h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2													
		0,71	14,20	81,03	95,23	29,28													
<b>Betoni, ap</b>																			
		Työ	Työ	Materiaalit	YHT														
		h/m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2													
		0,59	11,80	61,86	73,66														
<b>MATERIAALIT</b>																			
Runko		51x300 mm	22,23 €/m2	1,67 j/m/m2															
Koolaus		22x100	37,12 €/m2	0,66 €/jm															
Höyrynsulku		0,2	1,18 €/m2	1,79 j/m/m2															
Paroc Cortex		180 mm	1,06 €/m2	26,50 €/m2															
Puhallusvilla		275 mm	14,69 €/m2	14,69 €/m2															
Tuulensuoja		12 mm	2,86 €/m2	2,86 €/m2															
Askeläänieriste		2,9 mm	1,75 €/m2	1,75 €/m2															
Laminaatti		7 mm	14,44 €/m2	14,44 €/m2															
Lastulevy		22 mm	7,92 €/m2	7,92 €/m2															
Betoni		80 mm	11,31 €/m2	11,31 €/m2															
Teräsverkko		B500K	3,03 €/m2	3,03 €/m2															
EPS		100 mm	6,16 €/m2	6,16 €/m2															
Lattiatasot		5 mm	6,69 €/m2	6,69 €/m2															
Suodatinkangas		II	0,72 €/m2	0,72 €/m2															
Sepeli		> 300 mm	11,6 €/m2	11,6 €/m2															