

**OPINNÄYTETYÖ**  
**JANI BRÄNNARE 2012**

**CLT-LEVYJEN SOVELTAMINEN SUOMALAISEEN PIENTALORAKENTAMISEEN**



**Rovaniemen**  
**ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**RAKENNUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA**

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

# **CLT-LEVYJEN SOVELTAMINEN SUOMALASEEN PIENTALORAKENTAMISEEN**

Jani Brännare

2012

Toimeksiantaja Kemin Digipolis Oy

Ohjaaja Pertti Flygare

Hyväksytty \_\_\_\_\_ 2012 \_\_\_\_\_

---

<b>Tekijä</b>	Jani Brännare	Vuosi	2012
<b>Toimeksiantaja Työn nimi</b>	Kemin Digipolis Oy CLT-levyjen soveltaminen suomalaisen pientalorakentamiseen		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	63 + 7		

---

Opinnäytteessä tutkitaan, miten CLT-rakentamista kannattaa soveltaa suomalaisessa pientalorakentamisessa.

Tutkimusongelmina oli selvittää CLT-materiaalin ominaisuudet ja soveltuvuus suomalaiseen rakentamistapaan sekä CLT-levyn liitosratkaisut, liittimet ja liitynnät muihin rakenteisiin. Näiden lisäksi selvitettiin myös CLT-levyjen standardimitat ja elementoinnin periaatteet. Lisäksi keskeisimmistä ratkaisuista piirrettiin 3D- ja leikkauskuvat ArchiCAD-ohjelmalla.

Tutkimus perustui CLT-levyjen valmistajien manuaalien ja kanadalaisen tutkimuskeskuksen käsikirjan ratkaisuiden vertailuun. Tietoperusta CLT-materiaalin rakennusfysikaalisten ominaisuuksien ja soveltamisen selvittämiseksi hankittiin opikirjoista ja Suomen rakentamismääräyskokoelmista. Teoriaosuutta tuettiin suorittamalla työmaakäynti CLT-rakennustyömaalle ja laatimalla käynnistä muistio opinnäytteen liitteeksi.

Opinnäytteessä annetaan muutamia omia vaihtoehtoisia ratkaisuja CLT-rakentamiseen jo olemassa olevien ratkaisuiden rinnalle. Ratkaisumalleista keskityttiin löytämään nimenomaan suomalaiseen pientalorakentamiseen ja pohjoisiin olosuhteisiin soveltuvat vaihtoehdot.

Suhteellisen uutena tuotteena CLT:n tunnettavuus Suomessa on melko vähäistä ja siitä on saatavilla rajallisesti tutkittua tietoa. Myöskään suunnitteluohjeet ja rakentamismääräykset eivät huomioi CLT-materiaalia riittäväällä tarkkuudella. Opinnäyte havainnollisine 3D-kuvineen antaakin hyvän tietoperustan rakentajille ja suunnittelijoille CLT-materiaalin ominaisuuksista ja sen soveltamisesta suomalaisessa pientalorakentamisessa.

Avainsanat CLT, cross-laminated timber, CLT-levy, CLT-elementti, pientalorakentaminen

---

<b>Author</b>	Jani Brännare	<b>Year</b>	2012
<b>Commissioned by</b>	Digipolis - Kemi Technology Park		
<b>Subject of thesis</b>	Applicability of the CLT Panels in the Finnish Low Rise Building		
<b>Number of pages</b>	63 + 7		

---

The purpose of this thesis was to study the applicability of the CLT panels in the Finnish low rise building.

The research problem was to study the material properties of the CLT, the connection solutions, connectors, and interfaces to the other structures. In addition, the key solutions were drawn with the ArchiCAD program.

The study was based on the comparison of the CLT building solutions from the manufacturers' manuals. Alongside the existing solutions, the thesis gave some alternative solutions for the CLT structures. The theory of the CLT material's physical properties and how to apply the CLT was obtained from textbooks and from the Building Codes of Finland. The theory was supported by visiting the CLT building site and by enclosing a report about it into the thesis.

As a relatively new product, awareness of the CLT in Finland is quite low and there is a limited amount of research data available about it. The thesis with the illustrative 3D images gives a good basic knowledge for builders and designers about the material properties of the CLT and its application in the Finnish low rise building.

**Key words**                      CLT, cross laminated timber, CLT panel, CLT element, low rise building

# SISÄLTÖ

<b>KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO .....</b>	<b>1</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>3</b>
1.1 TUTKIMUSONGELMAT JA AIHEENRAJAUS.....	3
1.2 AIKAISEMPI TUTKIMUS JA LÄHTEET .....	5
1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	6
<b>2 CLT-LEVYN OMINAISUUDET .....</b>	<b>7</b>
2.1 YLEISTÄ.....	7
2.2 ÄÄNITEKNISET OMINAISUUDET.....	10
2.3 LÄMPÖTEKNISET OMINAISUUDET .....	12
2.4 PALOTEKNISET OMINAISUUDET .....	15
2.5 LUJUUSOMINAISUUDET .....	17
<b>3 ELEMENTOINNIN PERIAATTEET .....</b>	<b>20</b>
3.1 CLT-LEVYJEN MITTASUHTEET JA KUSTANNUKSET .....	22
3.2 PUUELEMENTTISYSTEEMI (RUNKOPES).....	24
<b>4 CLT-LEVYJEN LIITTÄMINEN RAKENTEISIIN .....</b>	<b>26</b>
4.1 ELEMENTTISEINÄN RAKENNEKERROKSET.....	27
4.2 LIITOKSET PERUSTUKSIIN.....	30
4.2.1 Perusmuuri ja maanvarainen alapohja .....	30
4.2.2 Perusmuuri ja kantava alapohja, ryömintätila .....	32
4.2.3 Kantavat väliseinät .....	33
4.2.4 Huoneistojen välinen seinä.....	36
4.3 CLT-LEVYJEN LIITOKSET .....	37
4.3.1 Elementtien välinen liitos .....	37
4.3.2 Väliseinien liitokset CLT-seinään.....	40
4.3.3 Nurkkaliitos.....	43
4.4 VÄLIPOHJAN LIITTÄMINEN RUNKOON.....	44
4.5 YLÄPOHJAN JA VESIKATTORAKENTEIDEN LIITTÄMINEN RUNKOON.....	45
4.6 OVIEEN JA IKKUNOIDEN LIITTÄMINEN RUNKOON.....	48
4.7 AUKKOPALKIN JA SEINÄN LIITOS .....	51
4.8 LUHTITALON DETALJIT .....	52
4.8.1 Porraskäytävä .....	53
4.8.2 Luhtikäytävä .....	55
4.8.3 Parvekkeet .....	57
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>58</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>60</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>63</b>

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. CLT-levy.....	7
Kuvio 2. Elementoinnin pääperiaatteet .....	20
Kuvio 3. Työstöhukan minimointi aukkojen ylityksissä .....	22
Kuvio 4. Liittäminen perusmuuriin ja maanvaraiseen alapohjaan (3D-kuva) .....	30
Kuvio 5. Liittäminen perusmuuriin ja maanvaraiseen alapohjaan (pystyleikkaus) .....	31
Kuvio 6. Liittäminen perusmuuriin ja kantavaan alapohjaan (3D-kuva).....	32
Kuvio 7. Liittäminen perusmuuriin ja kantavaan alapohjaan (pystyleikkaus) .....	33
Kuvio 8. CLT-väliseinän liittäminen maanvaraiseen laattaan (3D-kuva) .....	34
Kuvio 9. CLT-väliseinän liittäminen maanvaraiseen laattaan (pystyleikkaus).....	34
Kuvio 10. CLT-väliseinän liittäminen kantavaan alapohjaan (3D-kuva).....	35
Kuvio 11. CLT-väliseinän liittäminen kantavaan alapohjaan (pystyleikkaus).....	35
Kuvio 12. Huoneistojen välinen seinärakenne (3D-kuva).....	36
Kuvio 13. Huoneistojen välinen seinärakenne (pystyleikkaus).....	37
Kuvio 14. CLT-levyjen puoliponttiliitos (3D-kuva).....	38
Kuvio 15. CLT-levyjen puoliponttiliitos (pystyleikkaus).....	38
Kuvio 16. CLT-levyjen välinen kiilauraliitos (3D-kuva) .....	39
Kuvio 17. CLT-levyjen välinen kiilauraliitos (pysty- / vaakaleikkaus).....	39
Kuvio 18. CLT-väliseinän liittäminen (3D-kuva) .....	40
Kuvio 19. CLT-väliseinän liittäminen (vaakaleikkaus) .....	41
Kuvio 20. Puurankaisen väliseinän liittäminen (3D-kuva) .....	41
Kuvio 21. Puurankaisen väliseinän liittäminen (vaakaleikkaus) .....	42
Kuvio 22. Huoneistojen välisen CLT-seinän liittäminen (3D-kuva).....	43
Kuvio 23. Huoneistojen välisen CLT-seinän liittäminen (vaakaleikkaus).....	43
Kuvio 24. CLT-seinän nurkkaliitos (vaakaleikkaus).....	44
Kuvio 25. Huoneistojen välisen välipohjarakenteen liittäminen (3D-kuva).....	45
Kuvio 26. Huoneistojen välisen välipohjarakenteen liittäminen (pystyleikkaus).....	45
Kuvio 27. CLT-levy yläpohjarakenteen alapuolella (3D-kuva).....	46
Kuvio 28. CLT-levy yläpohjarakenteen alapuolella (pystyleikkaus).....	46
Kuvio 29. CLT-levy yläpohjarakenteen yläpuolella (3D-kuva) .....	47
Kuvio 30. CLT-levy yläpohjarakenteen yläpuolella (pystyleikkaus) .....	47
Kuvio 31. Ikkunan liittäminen CLT-rakenteiseen seinään (3D-kuva).....	49
Kuvio 32. Ikkunan liittäminen CLT-rakenteiseen seinään (pystyleikkaus) .....	49
Kuvio 33. Oven kiinnittäminen CLT-seinälevyyn (3D-kuva) .....	50
Kuvio 34. Oven kiinnittäminen CLT-seinärakenteeseen (pystyleikkaus) .....	50
Kuvio 35. Aukkopalkin liittäminen CLT-seinään (3D-kuva) .....	51
Kuvio 36. Aukkopalkin liittäminen CLT-seinään (pystyleikkaus).....	51
Kuvio 37. Yleiskuva luhtitalosta (3D-kuva).....	52

Kuvio 38. Vesikattorakenteen sauma (pystyleikkaus) .....	53
Kuvio 39. Porraskäytävä (pystyleikkaus) .....	54
Kuvio 40. Porraskäytävä (vaakaleikkaus) .....	54
Kuvio 41. Luhtikäytävä (3D-kuva).....	55
Kuvio 42. Luhtikäytävä tai parveke (pystyleikkaus).....	56
Kuvio 43. Luhtikäytävän tai parvekkeen kiinnitys (pystyleikkaus) .....	56
Kuvio 44. Luhtitalon parveke (3D-kuva).....	57
Taulukko 1. CLT-levyn mittavaihtelu puun kosteusprosentin muuttuessa .....	8
Taulukko 2. Verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo .....	14
Taulukko 3. Rakenneosien lisälämmöneristävyksiä .....	14
Taulukko 4. CLT-rakenteen mitoitus-esimerkkejä .....	18
Taulukko 5. CLT-levyn kustannuksia.....	23
Taulukko 6. Pientalon CLT-levyjen kustannus-esimerkki .....	24

## 1 JOHDANTO

Puurakentaminen kasvaa hyvää vauhtia Keski-Euroopassa, kun ekologista rakennustapaa arvostetaan yhä enemmän. Suomessa puurakentaminen on kuitenkin, pientalorakentamista lukuun ottamatta, jäänyt perinteisen betonielementtirakentamisen varjoon. Yhtenä syynä tälle ovat olleet paloturvallisuuden liittyvät rakentamismääräykset, jotka ovat aina viime vuosin jarruttaneet puurakentamisen kasvun kehittymistä.

Vuonna 2009 ympäristöministeriö asetti työryhmän selvittämään kaikki ne rakentamismääräykset, jotka aiheuttavat haittaa tai ylimääräisiä kustannuksia puurakentamiselle. Työ saatiin loppuun vuoden 2010 lopulla ja muutostarpeet liittyivät pääasiassa nimenomaan palomääräyksiin (Ympäristöministeriö 2010a, 3). Rakentamismääräyksiin liittyen on huomioitava, että rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset huomioidaan määräyksissä tulevaisuudessa (Digipolis Oy 2012b, 3). Tällöin voidaan olettaa, että puu nousee entistä kilpailukykyisemmäksi rakennusmateriaaliksi teräsbetonin rinnalle myös isommissa rakennuskohteissa.

Puurakentamisen kehittämiseksi työ- ja elinkeinoministeriö on käynnistänyt PuuSuomi-verkostohankkeen vuoden 2010 alusta. Hankkeen tavoitteena on kehittää puutuotealaa ja puurakentamista. Opinnäytetyön tilaaja onkin PuuSuomi-hanketta Pohjois-Suomessa koordinoiva Kemin Digipolis Oy. (Puuinfo 2012c.)

Opinnäytetyö käsittelee puurakentamisen kehittämiseen läheisesti liittyvän ristiinliimatun puulevyn, eli CLT-levyn (cross-laminated timber), mahdollisuuksia olla osaltaan kehittämässä teollista puurakentamista Suomessa. Uutena puurakennusjärjestelmänä CLT-levy voi avata uuden suurivolyymisen käyttökohteen Suomen metsien puulle. CLT-levyn tuotenimi vaihtelee riippuen valmistajasta, sillä materiaalin toimittajia on useita (Puuinfo 2012b, 4).

### 1.1 Tutkimusongelmat ja aiheenrajaus

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää CLT-materiaalin ominaisuudet ja soveltuvuus suomalaiseen rakennustapaan. Lisäksi tehtävänä oli selvittää



elementoinnin periaatteet, liitokset, liittimet ja CLT-levyn liitynnät muihin rakenteisiin.

Aihe rajattiin laajuuden vuoksi käsittelemään kaksikerroksisen pientalon CLT-levyjen liityntöjä perustuksista aina vesikatorakenteisiin. Työssä annetaan ratkaisumallit myös luhtitalon porraskäytävän, luhtikäytävän ja parvekkeiden rakenteille. Tutkimustyössä huomioidaan myös huoneistojen väliset seinä- ja välipohjarakenteet, jolloin julkaisussa esitetyt ratkaisut mahdollistavat pientalon, rivitalon tai luhtitalon rakentamisen CLT-levyistä.

Opinnäytetyön otsikko rajaa aihetta koskemaan suomalaista rakennustapaa, sillä levyjen valmistajien toimittamat CLT-rakennukset sijaitsevat pääosin Suomen rajojen ulkopuolella. Tämän vuoksi manuaalien rakenneratkaisut eivät ilman kriittistä arviointia sovellu suomalaiseen rakennustapaan ja rakentamismääräyksiin eivätkä myöskään tšekäläisiin sääolosuhteisiin.

CLT-levyjen elementointiin eli asennusjärjestyksen vaihtoehtoihin perehdyttiin valmistajien manuaalien ja lähdemateriaalien puitteissa. Valmiita moduulimittoja ei levyille lähdetty esittämään, koska pientalon rakentaminen vaatii yleensä yksilöllistä elementtisuunnittelua. Työssä oli tarkoitus huomioida myös valmistumassa oleva puuelementtisysteemi (lyh. RunkoPes). RunkoPes-materiaalia ei kuitenkaan kokonaisuudessaan saatu nähtäväksi, joten sen merkitys opinnäytteelle jäi vähäiseksi.

CLT-levyjen liitokset, liittimet ja liitynnät muihin rakenteisiin selvitettiin pääasiassa eri valmistajien manuaalien pohjalta. Käytössä olleen Stora Enson manuaalin lisäksi, rakenteita verrattiin myös kanadalaisen tutkimuskeskukseen FPInnovationsin, ruotsalaisen Byggsystemin ja itävaltalaisen KLH:n massiivipuukurantamisen manuaaleihin. Tässä julkaisussa esitetyt rakennemallit tuleekin nähdä vaihtoehtoina jo olemassa oleville ratkaisuille.

Liittimissä keskityttiin nopeisiin ja käytännöllisiin pientalorakentamiseen soveltuviin ratkaisuihin. Opinnäytteessä ei käsitellä erilaisia tappivaarnaliitoksia, metallisia palkkikenkiä tai metallilevyjä, vaan perehdytään ainoastaan CLT-levyjen liittämiseen ruuveilla toisiinsa ja muihin rakenteisiin.

Liitynnöissä muihin rakenteisiin rajattiin tutkimusongelma koskemaan pientalon CLT-levyjen liittämistä perustuksiin, alapohjaan ja vesikattorakenteisiin

sekä kevyiden väliseinien ja yläpohjan, ovien ja ikkunoiden liittämistä CLT-levyihin.

Tutkielman yhtenä tavoitteena oli myös laatia ArchiCAD-ohjelmalla rakenneratkaisuista 3D- ja leikkauskuvat, joista molemmat tai toinen liitettiin opinnäytetyöhön. Kuvien aiheet valittiin yhteistyössä tilaajan kanssa. Osa detailjeista sisältää myös verhoilemattoman CLT-rakenteen lisäksi rakenneehdotuksen, joka täyttää rakennusfysikaaliset määräykset.

## 1.2 Aikaisempi tutkimus ja lähteet

Tutkimustyön haasteeksi tiedettiin CLT-levyihin liittyvän suomalaisen kirjallisuuden ja tutkimuksen vähäisyyden. Tätä helpottamaan saatiin tutkimustyön jo käynnistyttyä suomenkielinen Stora Enson ”Rakentamisen ratkaisut” -manuaali, joka toimikin yhtenä opinnäytteen keskeisistä lähteistä.

Opinnäytetyössä jouduttiin pitkälti luottamaan valmistajien itse laatimiin ohjeisiin ilman, että olisi päästy kyseenalaistamaan sitä, miten eri rakenneratkaisuihin oli päädytty. Suomalaista tutkimustyötä CLT-rakenteesta on tehty valitettavan vähän. Kotimaisia tutkimuksia löytyi ainoastaan yksi, Jussi Kakosen laatima opinnäyte vuodelta 2012 ”Sovelluslaskelmat jäykistävään CLT-elementtiseinään toteutettavasta tappivaarnaliitoksesta ja ruuviliitoksesta”.

Ulkomaalaisista lähteistä perehdyttiin lähinnä sähköisenä versiona saatavilla olleisiin ohjekirjoihin ja tutkimuksiin; Ruotsissa julkaistuun massiivipuukäsikirjaan, Kanadassa FPInnovationsin julkaisemaan CLT-käsikirjaan sekä itävaltalaisen KLH:n CLT-rakenteita käsittelevään manuaaliin.

Rakenneosien ratkaisuihin liittyen tutustuttiin rakentamismääräyksiin, jotta opinnäytteessä esitetyt ratkaisut täyttäisivät määräysten asettamat vaatimukset. CLT-materiaalin rakennusfysikaalisten ominaisuuksien selvittämiseksi perehdyttiin lisäksi puurakenteisiin liittyviin oppikirjoihin sekä suunnittelumääräyksiin.

Lähdeaineistoa löytyi paljon sähköisinä tiedostoina Internetistä. Ongelmaksi muodostui niissä esitetyn tiedon varmentaminen, sillä esityksien tutkimustuloksia ei pystytty varmentamaan. Internetistä poimittuihin esityksiin onkin

suhtauduttava varauksellisesti. Niistä huomioitiin vain sellaisten henkilöiden esitykset, joiden tiedetään olevan suurten materiaalityöntekijöiden edustajia tai puutuotekehityksen parissa Suomessa kiinteästi toimivia henkilöitä.

Manuaalien rinnalle merkittäväksi tietolähteeksi muodostui tutustuminen syksyllä 2012 Vantaalla rakenteilla olleeseen CLT-runkoiseen pientaloon. Työmaakäynnillä pyrittiin löytämään tuotantoteknisesti hyviä ja kustannustehokkaita ratkaisuja. Vierailun aikana rakennuttajana toiminut rakennusinsinööri Jani Rantanen kertoi avoimesti kokemuksistaan CLT-rakentamisesta. Kohteeseen tutustuminen antoi arvokkaan lisän tutkimustyöhön, sillä käynnin aikana moni teoriassa hyväksi ajateltu ratkaisu osoittautui käytännössä vaikeaksi toteuttaa. Työmaakäynnistä laadittiin muistio, joka on tämän opinnäytteen liitteenä (liite 4). Muistion oma liitenumero on kursivoitu, jotta se erottuisi opinnäytetyön liitenumeroinnista.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät**

Opinnäytetyö on tuotekehityshanke. Tutkimuksen keskeinen tarkoitus on tuottaa tilaajan kanssa määritettyihin tutkimusongelmiin vastaukset sekä piirtää erikseen valituista CLT-rakenteista detaljikuvat. Vertailevaa tutkimusta suoritettiin perehtymällä eri valmistajien ratkaisuihin, muodostaen niistä suomalaisen rakentamistapaan toimiva ratkaisu. Teoriatiedon tueksi suoritettiin työmaakäynti rakenteilla olevalle CLT-rakennukselle. Työmaakäynnistä laadittuun muistioon on kirjattu paljon tuotantoteknisesti mielenkiintoisia havaintoja, joita kaikkia ei tässä julkaisussa ole erikseen mainittu. Lupa työmaakäynnin havaintojen käyttämiseen tutkimustyössä saatiin rakennuttajalta (liite 4, 2).

Perusteet rakenneratkaisuille luotiin teoriaosassa perehtymällä laadullisen tutkimuksen tavoin puun ja CLT-levyn rakennusfysikaalisiin ominaisuuksiin. Mittauksia työssä ei itse suoritettu vaan perehdyttiin saatavilla olleisiin tutkimustuloksiin ja rakentamismääräyksiin.

## 2 CLT-LEVYN OMINAISUUDET

### 2.1 Yleistä

CLT (cross-laminated timber) valmistetaan ristikkäisistä lautakerroksista, jotka kiinnitetään toisiinsa formaldehydi vapaalla liimalla (liite 1, 1). Kuviossa 1 on kuvattuna kaksi eri paksuista CLT-levyä, kolmi- ja viisikerroksiset levyt. Lautakerroksien, eli lamellien paksuus ja kerroksien lukumäärä vaihtelevat valmistajasta riippuen. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset määrittävät yhden CLT-levyn lamellin maksimipaksuudeksi 45 mm ja lamellien sormijatkoksien tulee täyttää standardin SFS-EN 385 mukaiset vaatimukset (Rakennustieto 2012, 221). Stora Enson valmistamien CLT-levyjen yhden lamellin maksimivahvuus on 40 mm ja lamellin leveys on aina vähintään 60 mm (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).



Kuvio 1. CLT-levy (Digipolis Oy 2012a, 8)

CLT-tuotteita voidaan käyttää monissa eri rakenneosissa. Yleisimpiä käyttökohteita ovat ulko- ja väliseinät, välipohjat sekä kattorakenteet. CLT-rakentamisen kehityksen edellytyksenä on ollut automatisoitu CNC-koneistus, joka mahdollistaa CLT-levyjen työstämisen korkeaan valmistusasteeseen jo tehtailla (Kupiainen 2012, 32). Tehtaalla tehdään levyihin työstöt asiakkaan suunnitelmien mukaan ja niihin voidaan kiinnittää tarvittaessa valmiiksi lisälämmöneristys, ulkoverhous, ikkunat ja ovet, jolloin saadaan viimeisteltyjä puuelementtejä (Puuinfo 2012a).

Ristiinlaminoinnin ansiosta CLT-levy on luja ja muotopysyvä. Levyn kosteuseläminen on tavalliseen puuhun verrattuna lähes olematonta. Voidaan olettaa, että sateisellakaan säällä ne eivät ehdi imeä kosteutta itseensä niin suuria määriä, että kosteus ehtisi vaikuttaa asennettavuuteen. Levyjen kosteusprosentiksi ilmoitetaan keskimäärin 11 % (+/- 2 %). Pituus- ja leveysuunnassa CLT-levyn mittavaihtelu on 0,02 % puun kosteuspitoisuuden

muuttuessa prosenttiyksiköllä. Vastaava luku levyn paksuudessa on 0,24 % (liite 1, 2). Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty kosteuselämisen vaikutuksia 140 mm paksun ja 5000 mm pitkän tai leveän CLT-levyn mittoihin. Taulukossa levyn kosteusprosentiksi on asetettu 12 % ja on arvioitu, että levyn kosteusprosentti muuttuu kolmen prosenttiyksikön verran, minkä sisällä puun kosteusprosentti luultavasti pysyykin koko asennuksen ajan.

Taulukko 1. CLT-levyn mittavaihtelu puun kosteusprosentin muuttuessa

	Materiaalin mitta	Kosteusprosentti	Mittavaihtelu / Kosteusprosentin muutos	Kosteusprosentin muutos prosenttiyksikkönä	Mittavaihtelu
Suunta	[mm]	[%]	[%]	[%-yks]	[mm]
Pituus / leveys	5000	12	0,02	3	3,0
Paksuus	140	12	0,24	3	1,0

CLT-levyt valmistetaan useimmiten kuusilaudoista, mutta ne voidaan valmistaa myös muista materiaaleista, kuten männystä ja lehtikuusesta. Levyjen pinnan laatuluokitus vaihtelee Stora Ensolla kolmessa luokassa. (liite 1, 3) Levy voidaan tilata myös niin sanottuna dekoratiivisena laatuna, jolloin levyjen uloin lamellikerros on laadukkaampaa materiaalia ja pinnan voi jättää näkyville. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.) Levyjen välikerroksissa voidaan käyttää visuaalisesti heikompileatuista materiaalia ja näin puu raaka-aineena tulee tehokkaasti hyödynnettyä.

Massiivisena, kantavana rakenteena toimivalla CLT-levyllä on paljon etuja perinteisiin rakennusmenetelmiin verrattuna. Näistä mainittakoon lyhyt pystytysaika, tiiveys, työstettävyys ja materiaalin keveys. CLT-rakentaminen on nopeaa, sillä se ei vaadi betonirakentamisen tapaan kuivattamisesta johtuvia keskeytyksiä rakentamisessa. Tämä seikka korostuu myös talvirakentamisessa, sillä rakennusta ei tarvitse lämmittää rakenteiden jäätyksen ehkäisemiseksi. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012 ; Puuinfo 2012a.)

Runkomateriaalina CLT-rakenne on kohtuullisen kallis, mutta kustannussäästöjä syntyy työvaiheiden vähetessä ja siten rakentamisen nopeutuessa. CLT-levyjen tai -elementtien ansiosta pientalon runko voidaan parhaimmillaan pystyttää päivässä. Jatkuvasti nousevien työvoimakustannusten vuoksi CLT:n kaltaiset työvaiheita vähentävät ratkaisut ovat varmasti tervetulleita innovaatioita niin kuluttajien kuin yrityksiensäkin kannalta.

Puisena rakennusmateriaalina CLT-levyt voidaan yhdistää helposti muihin materiaaleihin. Yhdistettynä mielikuvitukseen ja CNC-tekniikkaan se tarjoaa uuden mielenkiintoisen lisän arkkitehtuuriin. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.) Lisäksi on huomioitava, että CLT-rakenne on kevyt ja toimiva ratkaisu kohteisiin, joissa rakenteen omalle kuormalle asetetaan rajoituksia.

Energiatehokkuus ja ekologisuus ovat myös huomioitava puhuttaessa CLT-rakenteesta. CLT-levy omaa suuren termisen massan. Massiivinen CLT-levy sitoo päivällä lämpöä itseensä luovuttaen sitä pois yöaikaan. Erään väitteen mukaan tämä voi säästää jopa 20 % lämmityskustannuksia (Stora Enso Wood Products 2011, 6). Päinvastoin kuin betonirakenne, massiivipuinen rakenne toimii hiilinieluna koko elinkaarensa ajan, joka osaltaan hidastaa ilmastonmuutosta.

Stora Enson mukaan CLT:n valmistuksen energiankulutus on kolmasosa vastaavien betonielementtien valmistuksesta (Stora Enso Wood Products 2011, 6), mitä tukee myös Suomen ympäristökeskuksen raportti 16/2011 ”Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa”. Raportin mukaan ekovillaisen puurankaseinän valmistus kuluttaa kymmenen kertaa vähemmän luonnonvaroja kuin vastaavan betoniseinän valmistus. Ero materiaalien välillä on vielä nelinkertainen, kun vertaillaan betonirakennetta ja kivivilla-puuseinää (Suomen ympäristökeskus 2011, 28). Vaikkei tässä opinäytteessä käsiteltävä massiivipuurakenne ollut raportissa mukana, voidaan arvioida, että CLT:stä valmistettu seinä kuluttaa luonnonvaroja vielä vähemmän.

Materiaalinäkökulmaa mietittäessä on myös huomioitava puun kierrätettävyys. CLT onkin kierrätettävyytensä ansiosta todella ekologinen rakennusmateriaali, sillä elinkaarensa päässä se voidaan muuttaa vaikkapa bioener-

giaksi. Lisäksi suurimpien toimittajien CLT-levyrakenteet ovat saaneet PEFC-merkinnän. Merkintä tarkoittaa, että levyjen raaka-aine tulee ympäristön, talouden ja yhteiskunnan kannalta kestävästi hoidetuista metsistä. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012; KLH Massivholz GmbH PEFC 2009.)

## 2.2 Äänitekniset ominaisuudet

CLT-levyä markkinoidaan puurakenteena, josta rakennetun asuinhuoneiston sisäistä äänimaailmaa kutsutaan miellyttäväksi. Ongelman ääneneristyksessä muodostaa kuitenkin huoneistojen välisten väliseinien ja etenkin välipohjien eristäminen niin, että ne täyttäisivät rakennusmääräysten asettamat vaatimukset. Huoneistojen välisissä välipohjissa rakenteet ovatkin paksuja ja niissä on useita materiaalikerroksia, jotta askeläänieristyksen vaatimukset täytyisivät.

Rakentamismääräysten mukaan huoneistojen välisen väliseinän ja välipohjien ilmaääneneristysluku tulee olla  $R'_w \geq 55$  dB, mutta ulkovaipan ääneneristykselle ei ole erikseen asetettu vaatimuksia. Ilmaääneneristysluku kuvaa rakenteeseen kohdistetun äänitehon ja rakenteen välityksellä toiselle puolelle siirtyvän äänitehon suhdetta (Siikanen 1996, 123). Luku saadaan vertaamalla taajuuskaistoittain mitattua ilmaääneneristävyyttä standardoituun vertailukäyrään. Ilmaääneneristyslukua merkitään  $R_w$  (dB), kun kyseessä on eristävän rakenteen laboratoriomittaus ja  $R'_w$  (dB), kun kyseessä on mittaus rakennuksessa (Ympäristöministeriö 1998, RakMk C1, 2, 5).

Ilmaääneneristävyteen vaikuttavia seikkoja ovat rakennusosan paino, kerroksellisuus, reiät, tiivistys sekä kytkennät ja liitokset rakenteisiin. Massiivisissa rakenteissa, kuten CLT-levyssä, ilmaääneneristys voidaan arvioida rakenteen massasta (Siikanen 1996, 124). Massateorian mukaan rakenteen ilmaääneneristävyys eri taajuuksilla voidaan arvioida alla olevalla kaavalla (Puuinfo, Woodfocus 2004, 18).

$$R = 20 \lg (mf) - 49$$

missä

$R$	on	rakenteen ilmaääneneristävyys [dB]
$m$	on	rakenteen massa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]
$f$	on	äänentaajuus [Hz].

Liitteessä 2 on laskettu edellä esitetyllä kaavalla, että vaikka huoneistojen välinen seinä tai välipohja olisi 300 mm paksua CLT-levyä, saavutetaan sillä vain noin 49 dB ilmaääneneristysluku. CLT-levyn vahvuuden kaksinkertaistaminen parantaa rakenteen ilmaäänieristävyyttä vain noin 6 dB, mikä sekään ei riitä täyttämään määräyksiä. Vertailun vuoksi mainittakoon, että 180 mm betoniseinä yltää suuren massansa ansiosta noin 58 dB ilmaääneneristävyyteen (Puuinfo, Woodfocus 2004, 18).

Rakennusmääräyksissä toinen huomioitava äänitekniinen vaatimus on asuinhuoneistojen välisen välipohjan askeläänieristys  $L'_{n,w}$  (dB). Askeläänieristykseen vaatimukseksi on asetettu  $\leq 53$  dB (Ympäristöministeriö 1998, RakMk C1, 2, 5). Askeläänitasoluku on sitä parempi, mitä pienempi sen arvo on. Askeläänitaso kuvaa välipohjan eristävyyttä lattiaan kohdistuvia ääniä vastaan. Lattiaan voi kohdistua askelten lisäksi, huonekalujen ja iskujen aiheuttamia ääniä. (Siikanen 1996, 138.)

Lattian askeläänieristävyyteen vaikuttavat muun muassa rakenteen massa, resonanssit, lattiapäällyste, kattoverhoukset ja sivutiesiirtymä (Siikanen 1996, 139). Rakenteiden aiheuttamaa sivutiesiirtymä voidaan poistaa tai sen vaikutusta vähentää katkaisemalla sivutiesiirtymäreitti; käyttämällä äänikatkona joustavia kerroksia, käyttämällä sivuavina rakenteina massiivisia rakenteita tai kiinnittämällä rakenteet joustavasti toisiinsa (Puuinfo, Woodfocus 2004, 38).

Välipohjan ja alapuolisten seinien liittymät on suunniteltava huolellisesti, sillä askelääni leviää rakennuksen rungossa suhteellisen pitkälle. Sivutiesiirtymällä on myös massiivipuurunkoisessa talossa suuri merkitys. Massiivipuuisen lattian askelääneneristävyys on usein osoitettava mittauksilla, sillä lattiarakenne on usein niin paksu ja sisältää erisuuntaisia rakennekerroksia, ettei tavanomaisia akustisia teorioita voida niihin suoraan soveltaa. (Martinsons Byggsystem AB 2006, Byggnadsfysik, 25.)

Askeläänitaso mitataan askeläänikojeella, joka aiheuttaa iskuja yläpuoliseen lattiapintaan. Kojeen aiheuttama äänentasapaino mitataan vastaanottohuoneessa ja laskelmissa huomioidaan vastaanottohuoneen absorptioala (Siikanen 1996, 138).



Lähdemateriaaleista löytyi mallilaskelmia eri rakenteiden askeläänieristykseksi. Mallirakenteista voidaan päätellä, ettei pelkkä CLT-levy yksistään riitä askelääneneristykseksi, vaan levyn yläpuolelle on asennettava esimerkiksi eristys ja kelluvaa joko betonista tai rakennuslevystä. Mikäli halutaan yhä lisätä askelääneneristystä, on se järkevintä suorittaa kiinnittämällä kipsilevy CLT-levyn alapuolelle akustinen jousirangan tai koolauksen varaan. (FPInnovations 2011, Acoustic, 24–31). Asia käy ilmi myös opinnäytteen liitteeksi kerätyistä huoneistojen välisen välipohjan ja seinien rakenne-esimerkeistä (liite 3).

### 2.3 Lämpötekniset ominaisuudet

CLT-levyn lämpötekniset ominaisuudet vastaavat lähes tavallista puuta. Puun lämmönjohtavuus riippuu lähinnä sen ominaispainosta ja kosteuspiitoisuudesta. Stora Enson kuusesta valmistamien CLT-levyjen lämmönjohtavuuden arvoksi on varmistettu  $\lambda = 0,11 \text{ W/mK}$  (liite 1, 2). Tämä on hieman tavallista massiivipuuta parempi arvo. Eri valmistajien vastaavien tuotteiden arvot vaihtelevatkin välillä  $\lambda = 0,11\text{--}0,13 \text{ W/mK}$ . Tässä tutkimustyössä on CLT-levyn lämmönjohtavuutta laskettaessa käytetty arvoa  $\lambda_{\text{CLT}} = 0,11 \text{ W/mK}$ .

CLT-levyn lämmöneristävyttä parantaa hyvä ilmatiiveys. Itävaltalaisen tutkimuskeskuksen suorittamien testien mukaan, Stora Enson CLT-levyjen ja niiden liitosten ilmavuoto oli niin vähäistä, ettei sitä pystytty mittaamaan, minkä vuoksi erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta ei tarvita. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).

Kanadalainen tutkimuskeskus FPInnovations mainitsee kuitenkin käsikirjassaan, että vaikka CLT-levyssä on kyseessä massiivipuinen materiaali voi levyjen tiiveys vaihdella. Eroja syntyy muun muassa kuljetuksen, puun kuivumisen tai rakentamisen aikaisten kosteusvaihteluiden seurauksena. Tutkimuskeskus on huomionnut tämän rakenne-ehdotuksissaan piirtämällä ilmansulkukerroksen CLT-levyjen ulkopintaan. (FPInnovations 2011, Enclosure, 7.)

Ilmansulkukerroksen lisääminen onkin suurin poikkeus verrattuna Stora Enson rakenne-ehdotuksiin. Stora Enson manuaalista käy kuitenkin ilmi, että

liitoksien ilmatiiveys voidaan halutessa varmistaa vielä asianmukaisella saumateipillä. Levyn ollessa ilmatiivis teippi voidaan kiinnittää liitoksien saumoihin levyjen ulko- tai sisäpinnoille. Saumanauhojen lisäksi liitoksien tiivistämiseen voidaan käyttää joustavia saumamassoja. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).

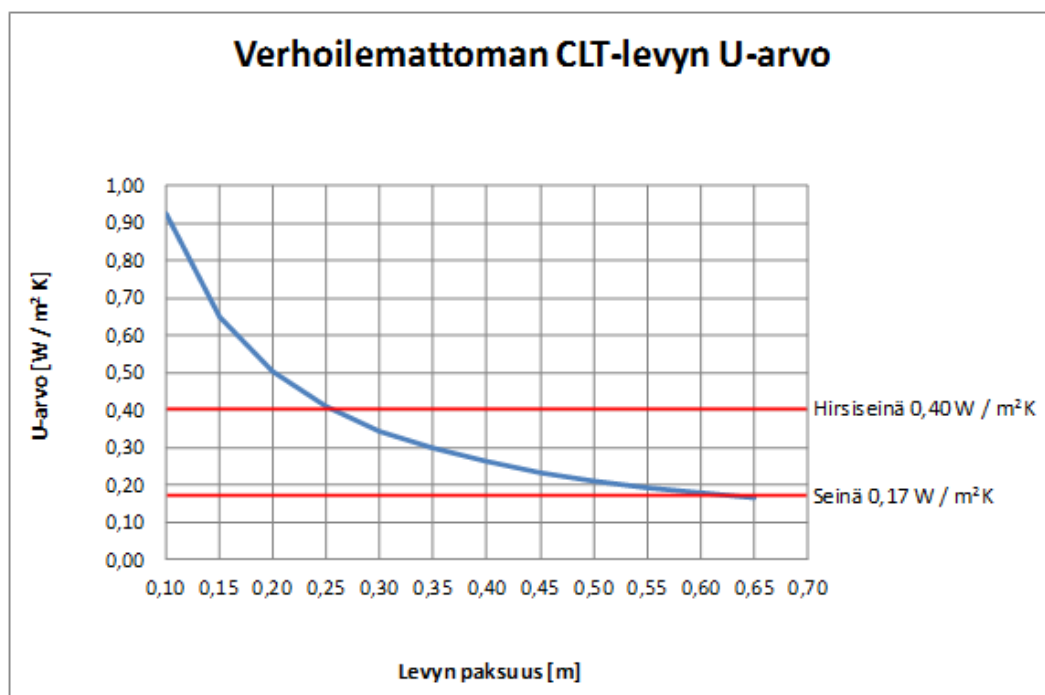
Suomen rakentamismääräykset määrittelevät, että asuinrakennuksen ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen, eli niin sanotun U-arvon, tulee olla vähintään  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Huomion arvoista on, että CLT-levyä uutena rakennusmateriaalina ei vielä rinnasteta lämmöneristysvaatimukseltaan hirsiseinään. Tällöin CLT-levyn U-arvovaatimus olisi vain  $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Voidakseen käyttää korkeampaa arvoa ulkoseinälle, tulee hirren paksuuden olla seinärakenteessa vähintään 180 millimetriä. (Ympäristöministeriö 2010. RakMk C3, 3.)

Lomarakentamisessa puolestaan CLT:n rinnastaminen hirsiseinään tarkoittaisi, että seinän paksuuden tulee olla vain 130 mm ja U-arvon  $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Ympäristöministeriö 2012. RakMk D3, 17). Tämä tarkoittaa, että CLT:n lämmönjohtavuuden arvolla siihen ylletään 130 mm paksulla CLT-levyllä ilman lisäeristystä. Varsinkin lomarakentamisen osalta on selvää, että rinnastaminen hirsiseinään tulisi huomioida pikimmiten rakentamismääräyksissä, sillä se voisi avata lisää käyttömahdollisuuksia CLT-rakenteille.

Rakenteellisilta periaatteiltaan CLT-levy ja lamellihirsi eivät juuri poikkea toisistaan, molemmat rakenteethan muodostetaan liimatuista puukerroksista. Verhoilematon CLT-levy täyttää vasta noin 600 mm:n paksuisena ulkoseinälle asetetun U-arvovaatimuksen, mutta hirsiseinälle asetetun vaatimuksen se täyttäisi jo 260 mm:n vahvuisena (taulukko 2).

Taulukossa 2 on esitetty verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo levyn paksuuden muuttuessa. Taulukosta nähdään selvästi hirsiseinän ja tavallisen ulkoseinän lämmönläpäisykertoimien vaatimusten ero ja vaikutukset CLT-levyn paksuudelle.

Taulukko 2. Verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo



Lämmöneristysvaatimusten täyttämiseksi on CLT-levyyn yhdistettävä erillinen lämmöneriste. Alla olevaan taulukkoon on laskettu esimerkit rakennuksen eri rakenneosien lämmöneristysvaatimuksille rakentamismääräyskoelman C3 mukaan (taulukko 3). CLT-levyjen vahvuutena on käytetty työmaakäynnin kohteena olleen talon levypaksuuksia (liite 4, 3). Eriste on esimerkkitapauksissa liimattu tai kiinnitetty mekaanisilla kiinnikkeillä CLT-levyyn, ilman levyn ulkopuolista puurunkoa.

Taulukko 3. Rakenneosien lisälämmöneristävyksiä

	Ulkoseinä	Alapohjatyypit <sup>(2)</sup>		
	-	Ulkoilmaan rajoittuva	Ryömintatila	Maata vasten
U-arvo vaatimus RakMk C3 [W/m <sup>2</sup> K]	0,17 W/m <sup>2</sup> K	0,09 W/m <sup>2</sup> K	0,17 W/m <sup>2</sup> K	0,16 W/m <sup>2</sup> K
CLT-levy [mm] <sup>(1)</sup>	100	140	140	140
Lasivilla [mm] <sup>(1)</sup>	225	450	205	225
U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	0,17	0,09	0,17	0,16

1) Lämmönjohtavuuden [ $\lambda$ ] arvoina käytetty CLT:llä 0,11 W/mK ja lasivillalla 0,046 W/mK

2) Yläpohjan eristävyysvaatimus sama kuin ulkoilmaan rajoittuvan alapohjan.

Rakennuksen vaipan ilmatiiveyttä osoittaa ilmavuotoluku. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku saadaan CLT-levyillä vastaamaan passiivitalon ohjearvoja, jonka mukaan rakennuksen ilma saa vaihtua vain rakennuksessa 0,6 kertaa tunnissa. Raja-arvoon yltäminen edellyttää CLT-levyjen saumo-

jen huolellista asennusta. (Stora Enso Building Solutions 2012, 175.) Hyvän ilmatiiveyden saavuttaminen edellyttää asennuksen lisäksi liitoksien detaljeille korkeat vaatimukset.

CLT-levyä voidaan pitää ilmatiiviinä, mutta hirren tapaan se sitoo ja luovuttaa kosteutta. Laminointitasojen välissä oleva liimakerros ei täysin estä kosteuden ja ilman liikkumista rakenteessa. CLT-rakenteen kosteusteknisiä ominaisuuksia on testattu Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen toimesta suoritettussa WUF-simuloinnissa. Simuloinnin kohteena oli kolme erilaista CLT-rakennetta, joita verrattiin saman U-arvon  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$  täyttävään puurunkorakenteeseen. CLT-levyjen paksuudet olivat 95 mm, 145 mm sekä 245 mm, joihin oli kiinnitetty puurunko 145 - 200 mm lämmöneristeellä. Rakenteen pinnalle oli asetettu vielä 12 mm tuulensuojalevy. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2011, 3–5.)

Testiraportissa todetaan, että lisälämmöneristetyt rakenteen riskikohta on tuulensuojalevyn ja lämmöneristeen rajapinta, mutta testattujen rakenteiden CLT-levyjen kosteuspitoisuudet olivat tarkasteluaikana turvallisella tasolla. Myöskään tuulensuojalevyn ja eristeen rajapinta ei saavuttanut kosteudeltaan sellaisia arvoja, että rakenteeseen olisi päässyt muodostumaan hometta. Näiden kahden tekijän vuoksi lisälämmöneristettyjen CLT-rakenteiden voidaan todeta olevan kosteusteknisesti turvallisia. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2011, 8, 12.)

## **2.4 Palotekniset ominaisuudet**

Massiivisella puulevyllä on paremmat palonkesto-ominaisuudet kuin yleensä kuvitellaan. Puulevyn pinnan joutuessa kosketuksiin tulen kanssa, sen pintaan muodostuu hiiltynyt kerros, joka suojelee syvempiä kerroksia vaurioilta. CLT-levy ei myöskään vääntyile tai murre kuumetessaan kuten teräs- ja betonirakenteet (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). CLT-levyn hiiltymisnopeudeksi on mitattu  $0,65 \text{ mm/min}$  (Puuinfo 2011), mikä on hieman parempi arvo kuin massiivipuulla  $0,8 \text{ mm/min}$  (Siikanen 1998, 43).

Puusolukon käyttäytyminen palossa on palonkesto-ominaisuudesta keskeisesti vaikuttava seikka. Tulipalossa puusolukko luovuttaa ensin sisäistä kosteutta, jonka jälkeen paksu solukko hiiltyy hitaasti ennustettavassa ajassa (FPInnova-

tions 2011, Introduction, 17). Hiilikerroksen ansiosta rakenne kestää kauemmin ja hiiltymisen ennustettavuus helpottaa CLT-rakenteiden palonkeston mitoitusta.

Rakennustarvikkeet luokitellaan sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savun tuottoon ja palavaan pisarointiin. CLT-levy rakennustarvikkeena täyttää luokan D-s2,d0 ja latioissa Dfl-s1 vaatimukset. Tämä tarkoittaa, että CLT-levyn osallistuminen paloon on hyväksyttävissä (D) ja savuntuotto on vähäistä (s2) tai erittäin vähäistä (s1). Palavat pisarat sammuvat nopeasti (d1) tai niitä ei esiinny ollenkaan (d0). (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012; Ympäristöministeriö 2011, RakMk E1, 5.)

Rakentamismääräysten mukaan opinnäytteen rajauksen mukainen pientalo kuuluu paloluokkaan P3, joka tarkoittaa, että kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Kyseisen paloluokkaan kuuluvan rakennuksen turvallisuus taataan kokoa ja henkilömäärää rajoittamalla. P3-luokkaan kuuluvan rakennuksen maksimikorkeudeksi on määrätty 9 metriä ja kaksikerroksisena sen maksimi kerrosala on 1600 k-m<sup>2</sup>. (Ympäristöministeriö 2011, RakMk E1, 10, 11.)

Palo-osastointi tulee pientalossa toteuttaa mahdollisten huoneistojen tai kerrosten välille. Samassa rakennuksessa olevat asunnot on osastoitava toisistaan EI 30-osastoivilla rakenteilla. Asuinhuoneistojen välinen osastointi on vesikatteeseen saakka ja palon leviäminen osastosta toiseen räystäään tai tuulettuvan alapohjan kautta on estettävä. (Ympäristöministeriö 2011. RakMk E1, 13, 14, 18, 19.)

Sisäpuolisille pinnoille on myös omat luokkavaatimuksensa paloluokitelluissa rakennuksissa. P3-paloluokkaan kuuluvassa asuintalossa CLT-levy täyttää sisäpuolisille pinnoille asetetut vaatimuksen D-s2, d2. Vähäisiä osia seinäpinnoista voidaan verhota myös luokkiin kuulumattomilla tarvikkeilla. (Ympäristöministeriö 2011. RakMk E1, 20.)

Ulkoseinärakenteen on estettävä palon leviäminen muihin rakenteisiin, mikä tulee huomioida varsinkin vesikaton ja ulkoseinän yhtymäkohdassa. Ulkoseinien ulkopinnoille ja tuuletusraon ulkopinnalle on annettu sama luok-

kavaatimus kuin sisäpuolisille pinnoille D-s2, d2. Ulkoseinien tuuletusraot on katkaistava vähintään kerroksittain palokatkoilla palon rajoittamiseksi. Yläpohjaan johtava räystäään tuuletusrako katkaistaan esimerkiksi kaistalla huonosti palavaa materiaali niin, ettei palo pääse helposti kiertämään ulkokaudesta. (Ympäristöministeriö 2011. RakMk E1, 19, 23.)

## 2.5 Lujuusominaisuudet

Ristiinliimatun rakenteensa ansiosta CLT-levy toimii kantavana ja jäykistävänä rakenteena seinä- välipohja- ja kattorakenteissa. CLT-levyssä mekaanisesti liitetyt ristikkäiset kerrokset aiheuttavat sen, että se on liimapuuta alttiimpi ajasta riippuville muodonmuutoksille. Rakennesuunnittelussa onkin CLT-rakenteiden osalta kiinnitettävä erityistä huomiota kuorman ajalliseen keston ja taipumaan. (FPInnovations 2011, Introduction, 16.)

CLT-levyn lujuusluokaksi on mitattu C24, muita luokkia saa Stora Ensolta erikseen tilattaessa. Luokka C24 on sama kuin yleisesti saatavilla olevan mitallistetun havupuusahatavaran. Rakenteen omapainoksi rakennelaskelmia varten on määritetty  $5,0 \text{ kN/m}^3$ . CLT-levyn käyttöluokiksi on määritetty käyttöluokat 1 ja 2. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.)

Käyttöluokat ovat tarkoitettu lujuusarvojen jaottelua ja eri olosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten. Käyttöluokkajako CLT-levyn kohdalla tarkoittaa, että sitä voidaan käyttää pääasiassa kuivina pysyvissä rakenteissa sekä ulkoilmassa kuivana pysyvänä rakenteena. Tällaisia käyttökohteita ovat muun muassa lämmöneristyskerros, tuulettuva alapohja (rossipohja) ja kylmän ullakkotilan rakenteet. CLT-rakennetta ei saa käyttää ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 30, 31.)

Käyttöluokkaan 2 voidaan katsoa kuuluvaksi myös vesikattorakenteet, jolloin CLT-levy toimii samalla katon kantavana rakenteena ollen räystäärakenteen verran ulkona. Levy ei kuitenkaan ole säälle alttiina, koska se on katemateriaalilla suojattu. CLT-levyn käytössä ulkotiloissa on huomioitava sen pinnoittaminen. CLT-levy voidaan pinnoittaa millä tahansa puulle tarkoitettulla pinnoitteella ja sen käyttö pinnoittamattomana ulkona on sallittu ai-

noastaan käyttäjän omalla vastuulla (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).

Taulukkoon 4 on koottu englanninkielisessä Stora Enson manuaalissa esitettyjä rakenteen maksimimittoja erisuuruisille kuormille. Manuaalin taulukko on laadittu Eurokoodi EN 1995-1-1 huomioiden. (Stora Enso Building Solutions 2012, 276–281.)

Taulukko 4. CLT-rakenteen mitoitusmerkkejä (Stora Enso Building Solutions 2012, 276–281)

**Mitoitusmerkkejä** (palonkesto on vähintään R 30)

Rakenneos	Mitoitus-suunta	Pysyvä-kuorma <sup>(1)</sup> gk [kN/m <sup>2</sup> ]	Hyöty-kuorma <sup>(2)</sup> nk [kN/m <sup>2</sup> ]	Tuuli-kuorma kN/m <sup>2</sup>	CLT-paksuus [mm]	Lamelli-kerroksia [kpl]	Korkeus/ Pituus [m]
Kantava väliseinä	Pysty	60,0	60,0	-	100	3	3,00
Kantava ulkoseinä	Pysty	60,0	60,0	1,0	100	3	3,00
Välipohja 1	Vaaka	3,0	5,0	-	140	5	4,00
Välipohja 2	Vaaka	3,0	5,0	-	180	5	5,00
Välipohja 3 <sup>(3)</sup>	Vaaka	1,5	2,8	-	140	5	5,00

Esimerkitapauksia, eivät sovellu suoraan rakennelaskelmiksi !

Välipohjan rakenteessa huomioitu värähtely ja taipuma

- 1) Pysyväkuormat rakenteen oman painon lisäksi (esim. välipohjan koolaus, ääneneristys, betonilaatta)
- 2) Hyötykuormat suunnitteluohjeiden mukaan (esim. asuinhuoneen lattiat 2,0 kN/m<sup>2</sup> + väliseinät 0,8 kN/m<sup>2</sup>)
- 3) Välipohjan rakenne-ehdotus

Taulukosta voidaan todeta, että väliseinä- ja seinärakenteen osalta kolmi-kerroksinen 100 millimetriä paksu CLT-levy on vähintäänkin riittävä kantavarakenne pientalon yläpuolisille kuormille. Muodostaahan levy käytännössä katkeamattoman ketjun perinteisen puurunkorakenteen pystyrankoja, jotka kantavassa ulkoseinässä ovat yleensä 600 mm:n jaolla.

Välipohjan mitoitukseen valittiin manuaalista viisikerroksiset 140 mm:n ja 180 mm:n CLT-levyt. 140 mm paksun välipohjalevyn jänneväli ilman välitukea oli manuaalin taulukon maksimikuormilla 4 metriä ja 180 mm paksun välipohjan jänneväli nousi taulukon maksimikuormilla 5 metriin.

Näiden lisäksi kolmanneksi välipohjan jännevälin mitoitusmerkiksi valittiin liitteessä 3 olevan välipohjan rakenne-ehdotus (4.2 Floor slab). Taulukossa rakenne-ehdotus on viimeisenä nimellä ”Välipohja 3”. Välipohjaratkaisun massa liitteen 3 taulukon tiheyksistä laskettuna oli noin 1,5 kN/m<sup>2</sup>, kun siihen ei oteta 140 mm:n CLT:n omaa painoa huomioon. Tällöin rakenteen painosta syntyvä pysyväkuorma CLT:n lisäksi on siis 1,5 kN/m<sup>2</sup>. Hyötykuormaksi käyttötarkoituksen mukaan asuintilan lattialle suunnitteluohje

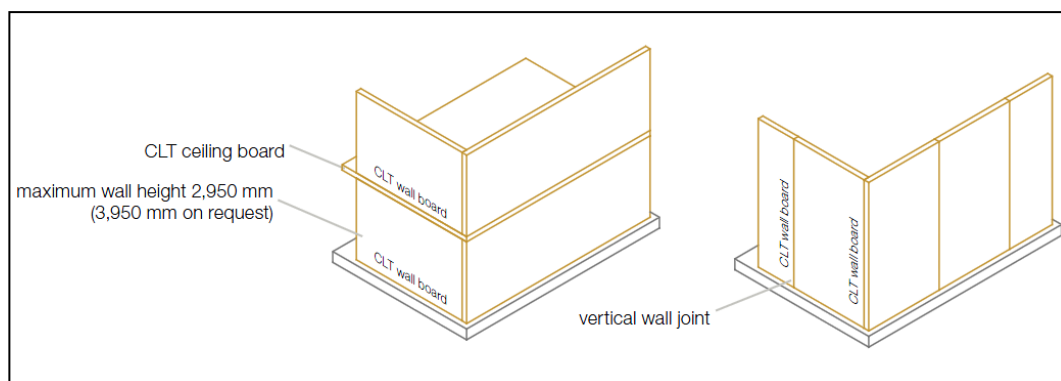
määrää arvon  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 31, 32). Tähän on lisättävä vielä raskaiden laitteiden tai siirrettävien väliseiniä aiheutuva korotus  $0,8 \text{ kN/m}^2$ , sillä samaa arvoa käytetään myös englanninkielisen manuaalin laskentaesimerkissä (Stora Enso Building Solutions 2012, 282).

Viimeiseksi lujuusominaisuuksiin liittyen on tuotava esille, että suunnitteluohjeissa havaittiin puutteita, koskien CLT-rakenteiden mitoitusta. CLT:tä ei ole vielä huomioitu esimerkiksi suunnitteluohjeiden materiaaliomaisuuksia käsittelevissä luvuissa, minkä vuoksi tarvittavien laskelmien tekemiseksi joudutaan saatavilla olevia ohjeita soveltamaan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 45–51). Saman ongelman on perusteellisemmin kartoittanut Jussi Kakkonen opinnäytetyössään, koska hänen opinnäytteenensä käsittelee nimenomaan CLT-rakenteiden suunnittelua (Kakkonen 2012, 16–18).



### 3 ELEMENTOINNIN PERIAATTEET

CLT-levyjen asentamisessa on kaksi pääperiaatetta, vaaka- ja pystyasennus. Asentamisen vaihtoehdot on esitetty alla olevassa kuvassa (kuvio 2). Rakennettavana olevan rakennuksen muodot ja korkeus sanelevat järkevimmän tavan jakaa sekä asentaa seinälevyt.



Kuvio 2. Elementoinnin pääperiaatteet (Stora Enso Building Solutions 2012, 20)

Levyjen suuntaa voi myös tarpeen mukaan vaihdella. Työmaakäynnin kohteena olleessa rakennuksessa yläkerran huonekorkeutta oli saatu korotettua nostamalla seinäelementit korkealla seinän osalla pystyyn (liite 4, 10). Kaksikerroksisen pientalon yksi elementoinnin vaihtoehto onkin rakentaa seinät 3 metriä leveistä ja vaikka 9 metrin korkuisista levyistä kerralla pystyasennuksena. Tällöin saavutetaan joitain etuja verrattuna kerroksittaiseen elementointiin. Pystyasennuksessa voidaan välipohjat asentaa mihin tahansa korkoon. Lisäksi perusmuurin seinille mahdollisesti aiheuttamat korkeusheitot saadaan tasattua kerralla koko seinäosalle esimerkiksi pystylevyjen alle asetettavilla kiiloilla tai lapuilla. Kolmas hyöty on se, että sateisella kelillä ala- ja välipohjan CLT-levyt eivät ole niin pitkään alttiina vesisateelle kuin kerroksittain rakentamisessa, koska ne asennetaan viimeiseksi vasta seinien jälkeen (liite 4, 10).

Huonoina puolina pystyasennuksessa puolestaan voidaan mainita ainakin työtason puuttuminen. Tämä puolestaan tukee Platform-tyyppistä kerrosrakentamista, sillä kahden tai useamman kerroksen seinän pystyasennus tarkoittaa aina välipohja-asennuksessa lisääntyviä telinetöitä.

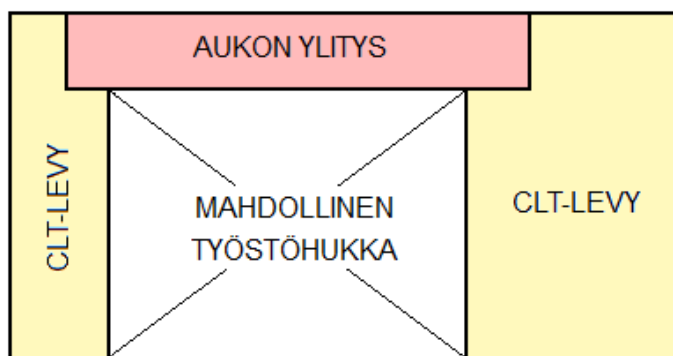
CLT-levyjen valmistus on periaatteiltaan kaikilla toimittajilla samankaltainen ja elementtien valmistus sisältää laadunvarmistuksen, jotta levy täyttäisi

sille asetetut vaatimukset. Valmistusprosessi sisältää seuraavat vaiheet; sahatavaran lajittelu, sahatavaran ryhmittely ja höyläys, liimansyöttö, kerrosten muodostaminen ja puristaminen, tuotteen sahaaminen, merkkaaminen ja pakkaaminen. (FPInnovations 2011, Introduction, 10.)

Valmistuksessa voidaan huomioida CLT-levyn paikka ja käyttötarkoitus rakennuksessa, sijoittamalla parempilaatuista materiaalia jäykistävälle seinäosalle. Tämä voi olla tarkoituksenmukaista, kun seinän tuentaa halutaan parantaa erilaisin kiinnittimin, kuten naulalevyin tai kulmaraudoin. Korkealaatuisella elementillä varmistetaan liittimien hyvä tartunta ja siten koko rakennuksen tuenta. (FPInnovations 2011, Manufacturing, 16.) Hyvälaatuisen materiaalin käyttäminen myös levyn välikerroksissa on rakenteellisesti järkevää rakennettaessa korkeita CLT-puukerrostaloja.

Korkean rakennuksen jäykistäminen tulee huomioida asennuksen aikaisessa tukemisessa. Kevyenä rakenteena CLT-levyt stabiloituvat kunnolla vasta, kun ne ovat kiinnitetty myös yläpuoliseen rakenteeseen. Seinälevyjen asennuksessa vaakakuormat, kuten tuuli, voivat aiheuttaa suuriakin rasituskia asennettavaan CLT-levyyn. Seinälevyt tulee kiinnittää kevytelementtitiuilta ala- tai välipohjaan ennen levyjen irrottamista nosturin nostokoukuista. Pienemmissä kohteissa asennuksen aikaiseen tukemiseen voidaan käyttää alumiinisten elementtitukien sijasta kappaletavaraa. Seinälevyjen asentamista voidaan helpottaa kiinnittämällä ala- tai välipohjaan tilapäiset lankut, joita vasten CLT-seinälevyt linjataan. Lankut voidaan poistaa, kun CLT-levyt on kiinnitetty pysyvään rakenteeseen.

Rakennuksen CLT-levyjen jaottelussa on pyrittävä huomioimaan niin sanottujen hukkapalojen minimointi ja niiden hyväksikäyttö. Tämä on tärkeää kustannussyistä. Levyjen laskutusperusteena on kokonaisneliömäärä, johon aukkojen hukkapalat lukeutuvat. Automaatiotekniikka sijoittelee tilatut levyt linjastolle työstöhukan minimoimiseksi, mutta suunnittelulla saadaan lisää säästöjä. Milloin esimerkiksi seinälevyyn on tulossa iso aukko, on järkevää katkaista levy aukon laitaan ja tehdä aukon ylitys hukkapalasta, liimapuusta tai kappaletavarasta (kuvio 3). Tällöin CLT-levyä tai liimapalkkia tarvitsee tilata vain aukon ylitykseen.



Kuvio 3. Työstöhukan minimointi aukkojen ylityksissä

Työstöhukan palaset kuuluvat asiakkaalle. Stora Enson toimittamissa CLT-levyissä hukkapalat on ensin sahattu tai sorvattu irti, jonka jälkeen palat on uudelleen kiinnitetty levyyn ruuveilla. Palat toimivat levyjen noston aikana tukena rakenteelle, jotta levyt kestävät noston aiheuttamat rasitukset. Työstöhukan palasten käyttämisessä on vain mielikuvitus rajana. Palasia voidaan käyttää esimerkiksi väliseininä, porrastasanteina, askelminä, tasoina, hyllyinä ja niin edelleen.

### 3.1 CLT-levyjen mittasuhteet ja kustannukset

Työstölinjaston koko ja kuljetusvälineet sanelevat levyjen maksimimittasuhteet. Käytännössä elementit voivat olla 3 metriä leveitä ja 16 metriä pitkiä. Erikoistilauksena Stora Enso toimittaa myös 3950 mm leveitä CLT-levyjä ja jotkut valmistajat tuottavat, jopa 18 metriä pitkiä CLT -elementtejä. (FPInnovations 2011, Manufacturing, 4.) Leveyden osalta tulee muistaa, ettei ilmoitettu arvo ole välttämättä huonekorkeudelle asetettu maksimikorkeus, sillä levyt voidaan asentaa myös pystyyn. Levyjen huonekorkeus voi olla vaikka 5 metriä, joka kyllä riittää useimpaan pientaloon.

Vakiopaksuudet CLT-levyillä ovat Stora Ensolla 60 – 320 millimetriin, mutta myös 400 mm paksua levyä saa erikoistilauksena (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). Kanadalainen FPInnovations ilmoittaa käsikirjassaan, että levypaksuudet vaihtelevat 72–400 millimetriin, mutta jopa 500 millimetriä paksua levyä on saatavissa (FPInnovations 2011, Manufacturing, 4). Saman maksimipaksuuden ilmoittaa myös KLH heidän CLT-levylleen (KLH Technical Characteristics).

CLT-levyissä on yleensä 3–7 lamellikerrosta. Kahdeksan kerroksistakin levyä valmistetaan, mutta siinä osa päällekkäisistä lamelleista on samansuuntaisia. Liitteestä 5 ilmenevät Stora Enson käyttämät CLT-levyn vakioidut lamellisuunnat ja vahvuudet.

Elementtien muodolle on teoriassa rajana mielikuvitus, sillä niin pitkälle nykyinen mallintaminen ja CNC-työstöt ovat kehittyneet. Pyöreiden muotojen teossa on huomioitava suurempi työstöhukan määrä, joka lisää kustannuksia. Reikien ja läpivientien työstöt onnistuvat helposti, kuten myös erilaiset huullokset ja syvennykset. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). Läpivientien aukot on syytä käsitellä työmaalla heti asennuksen jälkeen saunasuojalla, avoimeksi leikattujen päiden kutistumishalkeilun estämiseksi (liite 4, 11).

Kustannusten muodostumisessa lamellikerrosten lukumäärä ja levyn kokonaispaksuus ovat keskeisessä osassa. Alla olevassa taulukossa on esitetty helmikuussa 2012 erään valmistajan sen hetkinen suuntaa antava arvio CLT-levyn hinnoista (taulukko 5). Valmistajat eivät käytä samoja vakiopak-suuksia, mutta taulukko antaa kuitenkin tarpeeksi tarkan kuvan kustannuksista.

Taulukko 5. CLT-levyn kustannuksia (Helamo 2012)

Paksuus	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup> (*)
95	65,00	684,21
145	80,00	551,72
245	115,00	469,39
345	150,00	434,78

\*) Annettu neliöhinta muutettu kuutiohinnaksi

- Toimitettuna Suomeen täysin rekoin
- Laatu "ei-näkyvä" ja levyt ovat työstettyjä

Levyn paksuus ja tarvittavan lämmöneristeen määrä on huomioitava kokonaiskustannusten laskemisessa. Rakentajat tilaavat kustannussyistä luultavasti kapeinta levyvahvuutta, joka täyttää rakenteelliset vaatimukset. Villa-kerroksen paksuus taas vaihtelee, rakennusosan lämmöneristysvaatimusten mukaan. Taulukkoon 6 on laskettu edellä mainituilla hinnoilla kaksikerroksisen, kerrosalaltaan noin 120 neliömetrin kokoisen, pientalon CLT-

levyjen kustannukset. Taulukkoa luettaessa on huomioitava, ettei väliseiniä ole huomioitu laskelmissa.

Taulukko 6. Pientalon CLT-levyjen kustannusesimerkki

	[mm]	lamelleja	€/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Hinta €
Alapohja	140	5	80,00	74,4	5952,00
Välipohja	140	5	80,00	83,1	6648,00
Katto (60 cm räystäs)	120	5	78,00	107,0	8346,00
1 krs. Ulkoseinät (h=295 cm)	100	3	65,00	108,6	7059,00
2 krs. Ulkoseinät (h=295 cm)	100	3	65,00	108,8	7072,00
Hinta yhteensä (alv 0 %):					35 077,00

Levyjen vahvuudet eivät vastanneet suoraan saadun hintataulukon (taulukko 5) hintoja, joten hinnat valittiin lähimmän dimension mukaan. Lisäksi 120 millimetriä paksun levyn hinta laskettiin suoraan verrannolla 95 millimetrinen levyn neliöhinnasta.

### 3.2 Puuelementtisyteemi (RunkoPES)

Suomessa vuosina 1968–1970 kehitettiin betonirakentamiseen avoin BES -järjestelmä (Betoni Elementti Systeemi). Järjestelmä yhtenäisti betonielementit ja niiden liitosdetaljit, mahdollistaen kilpailuttamisen ja materiaalihankinnan samaan kohteeseen useilta toimittajilta. Finnish Wood Research Oy:n kehittelemä vastaavanlainen elementtisyteemi, eli RunkoPes on valmistumaisillaan puurakentamiseen. Kilpailuttamisen ja hankinnan helpottamisen lisäksi tarkoitus on myös nopeuttaa suunnittelua ja rakentamista. Kun mitoituksen parametrit, liitokset ja perusrakenneratkaisut pysyvät kohteissa samoina, suunnittelijoiden ja kirvesmiestenkin työ tehostuu. Järjestelmän mukaisissa rakenneratkaissuissa on pyritty huomioimaan kaikki rakennusfysikaaliset seikat (Puuinfo 2012d). Oletettavaa on, että mikäli järjestelmä yleistyy, on se osaltaan tehostamassa puurakentamisen kilpailukykyä.

Stora Enson CLT-järjestelmän kehittäminen alkoi jo ennen RunkoPes-järjestelmää, mutta se on mukautettu puuelementtisyteemiin sopivaksi (Korhonen 2010). Tämän vuoksi opinnäytetyön lähteenä toiminut Stora Enson ”Rakentamisen ratkaisut” -manuaali on käytännössä RunkoPes-järjestelmän kanssa yhtenevä. RunkoPes:n kehitys oli vielä tutkimustyön aikana kesken eikä materiaali ollut avoimesti saatavilla. Tämän vuoksi tutkimustyössä tyydytäänkin arvioimaan muun muassa Stora Enson manuaa-

lin ratkaisuja, jolloin samalla tulee otettua kantaa tarvittavissa määrin myös RunkoPes-järjestelmään.

RunkoPes on kehitetty kerrostalorakentamisen tehostamiseen, minkä vuoksi sen edut pienenevät, kun siirrytään pienempiin ja yksilöidympiin rakennuskohteisiin, kuten omakotitaloihin. Pientalot ovat usein räätälöityjä tilaajan tarpeisiin ja neliömääriltään niin pieniä, ettei standardoidulla puuelementtirakentamisella päästä samanlaisiin kustannussäästöihin kuin kerrostalorakentamisessa.

#### 4 CLT-LEVYJEN LIITTÄMINEN RAKENTEISIIN

Tutkimustyön liitoksien suunnittelussa on pyritty huomioimaan niin edellä esitetyt rakennusfysikaaliset kuin tuotantoteknisetkin seikat. Käytännöllisyyteen liittyviin yksityiskohtiin tuli paljon tietoa jo yhdellä työmaakäynnillä, mutta paljon erilaisia rakentamisen ratkaisuja jäi vielä käytännössä näkemättä.

Liitoksien väliseen tiivistämiseen työssä esitetään asennettavaksi elastinen saumanauha tai saumavaahto – perinteistä villaa unohtamatta. Liitoksien väliin asennettava saumanauha on eristeenä elastinen ja kompensoi puulevyjen pieniä muodonmuutoksia. Asennustyössä työmaakäynnillä saumanauha osoittautui kuitenkin hieman epäkäytännölliseksi, sillä nauha seinälevyjen alapinnassa aiheuttaa niin suuren kitkan, että levyjen kiinnittäminen pelkästään miesvoimin on vaikeaa (liite 4, 6). Lisäksi on oletettavaa, että kapea saumanauha rullautuu ja katkeilee CLT-levyjen vaakasuuntaisissa saumoissa, kun levyjä liikutetaan yhteen. Liitosdetaljeissa on pyritty löytämään sellaiset ratkaisut, joissa saumanauhaa ei asenneta suoraan hankaukselle altistuvien pintojen väliin. Saumannauhalle onkin jätetty tarvittaessa oma asennusvälys, jottei se vahingoittuisi asennuksessa.

Liittimistä hylätään kaikki tuotantoteknisesti hitaat ja kustannuksia lisäävät ratkaisut. Detaljeissa pyritään keskittymään normaaleihin pientalorakentamisen liittimiin, kuten naula- ja ruuviliitoksiin. Yksinkertaisiin liitosratkaisuihin keskittyminen oli tutkimustyön alkaessa perusolettamus, jonka työmaakäynti lopulta vahvisti (liite 4, 7).

Ruuvi- ja tappivaarnaliitoksien kestävyyttä CLT-levyissä on tutkinut Jussi Kakkonen opinnäytteessään. Hänen opinnäytteen tuloksien perusteella voidaan todeta, että varsinkin vinoruuviliitos omaa sellaisen lujuuden ja jäykkyyden, joka on riittävä pientalorakentamisessa. Tutkimustyössä oli tutkittu muun muassa SFS intecin valmistamilla WT-T itseporautuvilla ruuveilla tapahtuvien liitoksien lujuutta. Kyseiset ruuvit ovat hyviä liittimiä, sillä ne ovat tarpeeksi pitkiä ja omaavat hyvän liitoskapasiteetin. Ruuvien pieni kanta tekee niistä CLT-levyyn helposti uppoavan, minkä ansiosta ne ovat myös huomaamattomia ja palonkestäviä. (Kakkonen 2012, 15.) SFS intecin WT-T-ruuveja käytettiin myös työmaakäynnin kohteena olleessa CLT-rakennuksessa. Liitteeseen 6 on koottu perustietoa WT-T ruuveista suoma-

laisen maahantuojaan Internet-sivuilta (SFS intec). Kyseisestä liitteestä ilmevät muun muassa CLT-levyjen liitoksiin soveltuvien hiiliteräsruuvien pituudet, perusominaisuudet ja käyttökohteet.

Kakkonen oli myös ansioituneesti koonnut opinnäytteensä liitteeksi valmistajien manuaaleista CLT-levyjen liityntä- ja liitosratkaisuja. Kakkosen laatimat kuvat on liitetty tämän tutkimustyön liitteeksi 7. Liitteen ratkaisuja ja lähteinä toimineita manuaaleja kannattaakin verrata tässä työssä esitettäviin ratkaisuihin.

Liittimien asennuksessa on huomioitava riittävän suuret kiinnittimien reuna- ja keskinäiset etäisyydet halkeilun välttämiseksi (FPInnovations 2011, Connections, 3). Paloteknisistä ja kustannussyistä johtuen, kulmarautoihin ja metallisiin kannattamiin suhtauduttiin kriittisesti. Metalliosat ovat yleensä vähemmän palonkestäviä ja ne tulee joko peittää palonkestävällä materiaalilla tai piilottaa upottamalla (FPInnovations 2011, Connections, 13). Molemmissa tapauksissa rakennuksen tuotantokustannukset nousisivat.

#### **4.1 Elementtiseinän rakennekerrokset**

CLT-levyyn kiinnitettäviä muita rakennusmateriaaleja mietittäessä on lähdettävä siitä, että rakennusfysikaaliset perusasiat toteutuvat. Niistä tärkeimpänä on muistaa, että vesihöyrynvastuksen tulee pienentyä rakenteessa ulospäin siirryttäessä. Toinen huomioitava seikka on se, ettei lisälämmöneristyksen kiinnittämisratkaisu ole sellainen, että seinärakenteeseen muodostuu kantava seinärunko. Kahden kantavan rakenteen sijoittaminen peräkkäin ei ole kustannustehokasta rakentamista.

Eristeen kiinnittämisessä kyseeseen tulevat lähinnä eristeen liimaaminen, mekaaniset kiinnikkeet ja kevyt rankarakenne. Näistä kiinnittämisvaihtoehdoista, työmaakäynnin kohteessa oli käytetty lamellivillan liimaamista polyuretaaniliimalla CLT-levyyn. Rakennuttaja oli tehnyt liimalla rasituskokeita sekä laskelmia ja todennut kyseisen liiman ja villamateriaalin yhdistelmän niin kestäväksi, että se kantaa ulkovuoren ohutrappauksen (liite 4, 8). Rasituskokeiden julkisivujen kiinnitysjärjestelmille kannattaakin tehdä erikseen lujuuslaskelmat, joissa huomioidaan painon lisäksi myös tuulen vaikutus (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).



CLT-levyn ominaisuuksiin kuuluu höyryn- ja ilmanpitävyys, minkä vuoksi rakenne ei välttämättä tarvitse erillistä höyrynsulkua (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). Toisaalta erillinen ilmansulku voi olla paikallaan, jos halutaan varmistua siitä, ettei CLT-levyjien liitoksista pääse sisäilmaan ihon, silmien tai hengitysteiden ärsytystä aiheuttavia villakuituja. Opinnäytteessä on kuitenkin lähdetty siitä, että suunnitellut liitokset ovat ilmatiiviitä ja teippiä ei tarvita. Mikäli tästä halutaan varmistua, suositellaan liitossaumojen teippaamista CLT-levyn sisä- tai ulkopuolelta (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).

Lisälämmöneristettä mietittäessä on suositeltavaa käyttää vesihöyryä läpäisevää mineraalivillaa tai puukuitueristystä. Vähemmän vesihöyryä läpäisevät polystyreenituotteet, kuten EPS- ja XPS-levyt, voivat mielestäni aiheuttaa kosteuden tiivistymistä CLT-levyn ja polystyreenieristeen rajapintaan. Tähän tulokseen on tullut myös Kanadalainen tutkimuskeskus FPInnovations omassa manuaalissaan. He ovat myös mallintaneet, että CLT-levyn kuivuminen polystyreenilevyn puolelta on hidasta. Tämä voi aiheuttaa vahinkoa CLT-levylle, mikäli se on kostunut rakennustöiden aikana, sillä kosteuden kuivuminen levyn läpi sisätilaan päin on myös hidasta (FPInnovations 2011, Enclosure, 4, 5).

Eristyskerroksen villamateriaalin voi mielestäni valita omien käyttötottumusten pohjalta, sillä eristevillojen lämmönjohtavuudet ovat hyvin lähellä toisiinsa. CLT-levy massiivisena puumateriaalina on hengittävänä ja huoneilman kosteutta tasapainottavana rakenne, jolloin voi olla perusteltua valita villamateriaaliksi samantyyppinen hygroskooppinen puukuitueriste. Puukuitueriste pystyy imemään itseensä jonkin verran kosteutta ja luovuttamaan sitä kuivatessaan, jolloin se toimii samoin kuin CLT-levykin.

Milloin eristekerrokseen ei tehdä erillistä runkoa, villan koostumuksen tulee olla kovaa ja levymäistä. Kova eriste voidaan kiinnittää CLT:hen erilaisilla naulalevykkeillä tai liimaamalla, jolloin CLT-levy ainoana kantavana rakenteena pääsee oikeuksiinsa. Toinen peruste villan kovuudelle on se, että sen pitää kantaa joihinkin seinärakenteisiin kuuluva kiinnityslauta painumatta. Lautaa tarvitaan ulkovuoren ja eristekerroksen välissä tartuntana ulkovoori-paneeleille sekä tuuletusvälin aikaansaamiseksi.

Viimeisenä seinärakenteen yksityiskohtana mainittakoon, että rakenteen kosteuden hallintaan voidaan lisätä verhouksen läpäisevä CLT-levyyn kiinnitetty pelti. Pellitys on huomioitava kaikissa seinärakenteen katkaisevissa rakenneosissa, kuten ovien ja ikkunoiden kohdalla, sekä seinärakenteen alaosassa. Pellin tehtävänä on johtaa seinärakenteen tuuletusrakoon tai eristekerrokseen syystä tai toisesta johtunut vesi takaisin ulos rakenteesta. (FPInnovations 2011, Enclosure, 6, 7.) Pellin tarpeellisuudesta Suomen olosuhteissa ei kuitenkaan voida olla vakuuttuneita. Vaikka pelti johtaisikin kosteutta ulospäin, se toimii samalla kylmäsiltnä eristekerroksessa, jolloin saatu hyöty on kyseenalainen. Lisäksi on huomioitava, että myös pellin pintaan voi tiivistyä kosteutta, jolloin se voi itse aiheuttaa eristekerroksessa kosteusteknisiä ongelmia.

Seuraavissa alaluvuissa 4.2–4.8 esitetään opinnäytetyön tulokset liittyen levyjen liitoksiin, liittimiin ja liityntöihin muihin rakenteisiin. Alaluvuissa on opinnäytteessä edellä mainittu tietoperusta huomioiden, esitetty rakennevaihtoehdot pientalon erilaisille rakennedetaljeille. Kuvien yhteyteen on kirjoitettu kunkin kuvan keskeisimmät seikat. Lisäksi on huomioitava, ettei samoja ratkaisuja ole perusteltu erikseen jokaisessa kuvassa, mikäli ne on perusteltu jo aiemmin. 3D-kuvat ja leikkaukset ovat piirretty ArchiCAD-ohjelmalla. Detaljit on tarkoitettu täydentämään jo olemassa olevia valmistajien ratkaisuja, ei korvaamaan niitä.

Rakennedetaljit on pyritty valitsemaan siten, että ne edustavat mahdollisimman kattavasti perinteistä suomalaista pientalorakentamista. Lujuusmitoituksia ei detaljeiden ratkaisuista ole tehty, vaan kuvat antavat ratkaisumalleja eri rakenteisiin. Detaljeihin on valittu ne rakenteet, joita soveltamalla suoraan tai hieman muuntelemalla saadaan malli mahdollisimman moneen eri rakenneratkaisuun.

Opinnäytetyössä esitettyjen kuvien aiheiden valinnassa huomioitiin myös tilaajan tarpeet. Kuvien aiheet ja käsiluonnokset hyväksyttiin ensin opinnäytetyön tilaajalla, minkä jälkeen niistä laadittiin lopulliset 3D- ja leikkauskuvat.

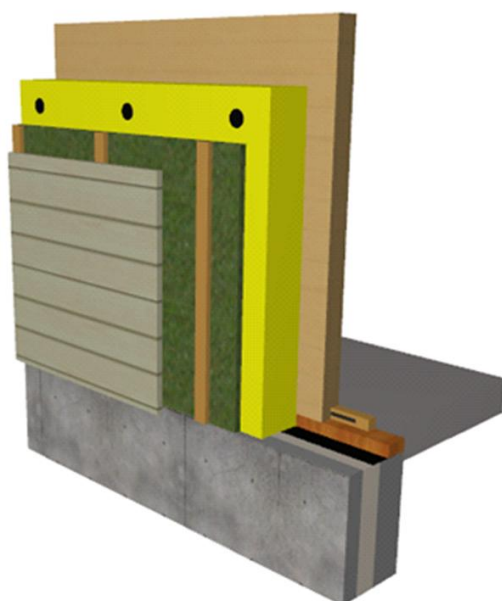
## 4.2 Liitokset perustuksiin

Tässä alaluvussa esitetään ratkaisut, joilla CLT-levyt liitetään rakennuksen perustuksiin. Perustamistavoista on valittu kaksi yleistä tapaa rakentaa pientalon perustukset. Esitetyt ratkaisut soveltamalla pystytään liittämään CLT-rakenne myös muihin perustamistapoihin, kuten paaluperustukseen tai vaikkapa reunapalkilla varustettuun maanvaraiseen laattaan.

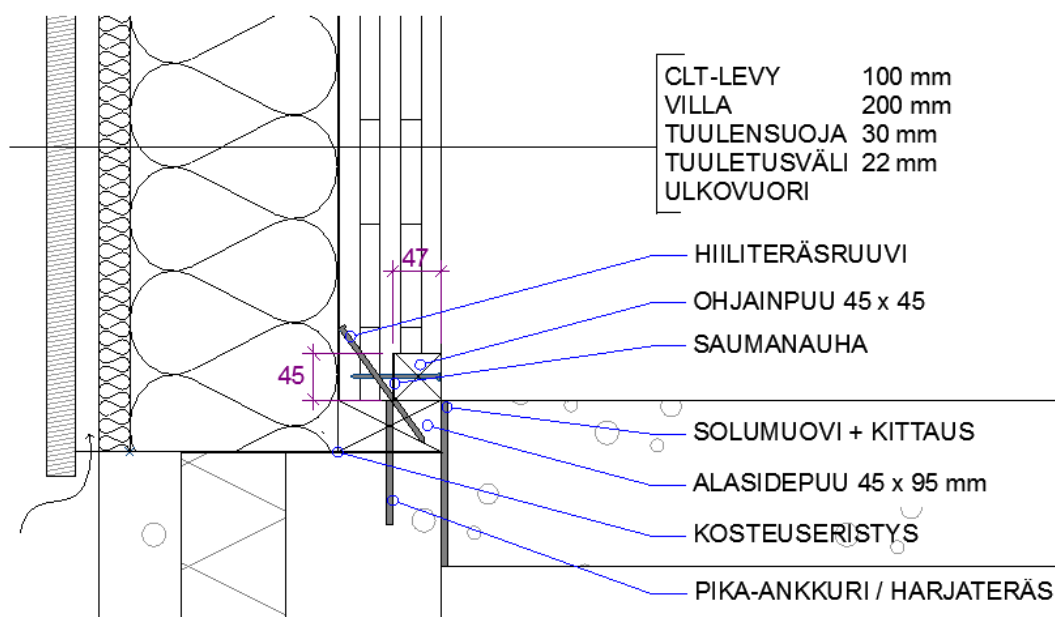
Alaluvussa on huomioitu ulkoseinien perustuksiin liittämisen lisäksi myös kantavien väliseinien liittämisen perustuksiin. Kantavien väliseinien alapuolisilta perustuksilta vaaditaan riittävää kantokykyä, sillä myös ne välittävät rakennuksen kuormia maaperään.

### 4.2.1 Perusmuuri ja maanvarainen alapohja

Kuviossa 4 on kiinnitetty 200 mm:n eristekerros mekaanisesti naulauslevyillä CLT-seinään. Villan tulee olla kovaa, jotta se voidaan kiinnittää kyseisillä kiinnikkeillä. Naulauslevyt näkyvät kuviossa mustina ympyröinä. Naulauslevyt voidaan kiinnittää joko pitkillä nauloilla tai ruuveilla. Villakerroksen päälle asetettavan tuulensuojalevyn kiinnitys tapahtuu yhtä aikaa ulkokuoren kiinnityslaudoituksen kanssa. Laudat muodostavat samalla tuuletusvälin ja ne kiinnitetään naulaamalla tai ruuvaamalla suoraan tuulensuojan ja villakerroksen läpi CLT-levyyn.



Kuvio 4. Liittäminen perusmuuriin ja maanvaraiseen alapohjaan (3D-kuva)



Kuvio 5. Liittäminen perusmuuriin ja maanvaraiseen alapohjaan (pystyleikkaus)

Kuvioissa 5 on esitetty CLT-levyn kiinnittäminen perusmuuriin alajuoksuun (45 x 95 mm) ja ohjainpuun (45 x 45) avulla. Saman tyyppinen ratkaisu on myös Stora Enson manuaalissa, mutta siinä alasidepuu on L-profiilin muotoinen yhtenäinen rakenne. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). Kriittinen tekijä CLT-levyjien kiinnittämisessä perustuksiin on perusmuurin eli sokkelin valutyöt. Sokkelin valamisen yhteydessä on varmistuttava siitä, että alajuoksu on millimetrilleen samassa korkeudessa koko rakennuksen osalta, muuten asennustyöt vaikeutuvat. Mikäli heittoja kuitenkin syntyy, on joko sokkelin ja alajuoksun tai alajuoksun ja CLT-levyn väliin asetettava kii- loja oikean koron saavuttamiseksi.

Alasidepuun alle asennetaan bitumikaista kosteudeneristykseksi ja sidepuu kiinnitetään riittävän pitkällä pika-ankkureilla tai harjateräksillä perusmuuriin. Alasidepuun ja ohjainpuun materiaalivalinnoissa kannattaa keskittyä hyvin kosteutta sietäviin lajikkeisiin sekä mittatarkkaan materiaaliin, unohtamatta mahdollista puunsuojakäsittelyä.

Alasidepuun päälle asetettava ohjainpuu asennetaan puuruuveilla alasidepuuhun. Ohjainpuun toimii asennusta helpottava ohjurina CLT-levyjä asennettaessa, mutta myös kiinnitysalustana. CLT-levyyn tehdyn työstön syvyys on kaksi millimetriä syvempi kuin ohjainpuun paksuus (kuvio 5). Tällä varmistutaan siitä, ettei saumaan asennettava saumanauha ja mahdollinen

työstötarkkuuden heitto (+/- 1 mm) aiheuta sitä, että ohjainpuu jää seinätason ulkopuolelle.

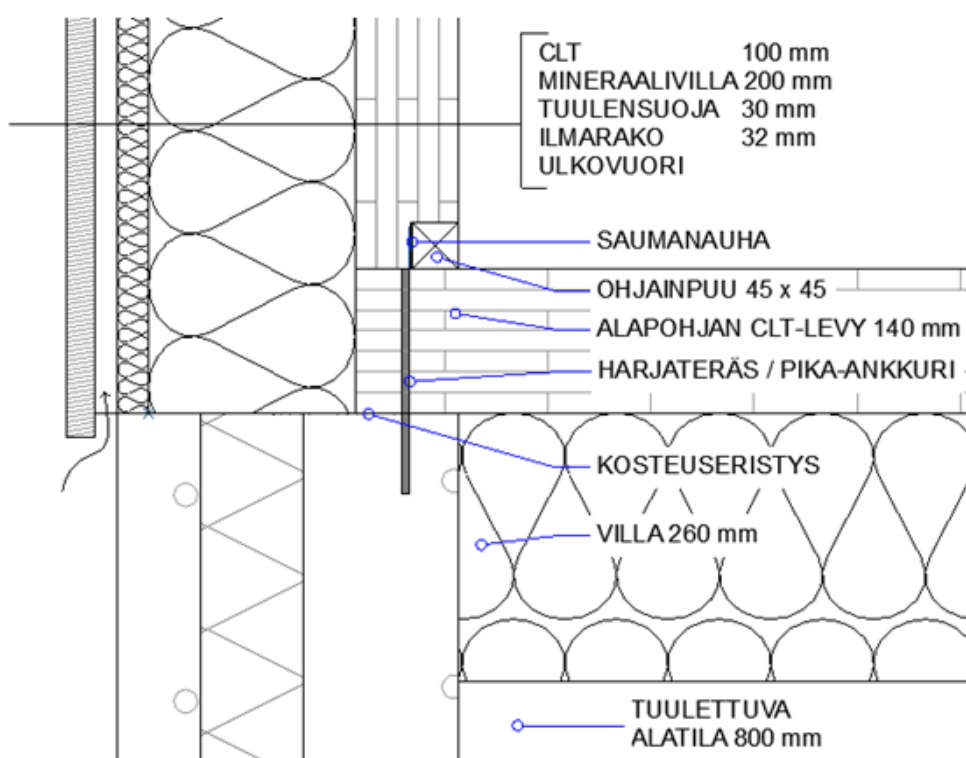
CLT-levy kiinnitetään ruuveilla alasidepuuhun ulkopuolelta noin 45 asteen kulmassa ja toiselta puolelta ohjainpuun läpi. Kuvaan ei ole selvyiden vuoksi piirretty sitä, että tarvittaessa levy voidaan lujuuden lisäämiseksi kiinnittää myös sisäpuolelta 45 asteen kulmassa olevilla ruuveilla. Varsinkin paksuimmat CLT-levyt kestävät kiinnittämisen vinoruuvauksella molemmilta puolilta.

#### 4.2.2 Perusmuuri ja kantava alapohja, ryömintätila

Kuvioissa 6 ja 7 on esitetty CLT-alapohjalevyn kiinnittäminen perusmuuriin ja CLT-seinälevyn kiinnittäminen alapohjaan. Alapohjan ollessa CLT-levyä ei alasidepuuta tarvita, mutta muuten liitosrakenne on vastaava kuin edellä kuvioissa 4 ja 5 esitetty ratkaisu. Ohjainpuu on rakenteessa edelleen helpottamassa asennusta ja sen kiinnittäminen tapahtuu kuin edellä kohdassa 4.2.1 on kerrottu. CLT-alapohjalevyn alle tuulettuvaan ryömintätilaan asennettava villakerros asennetaan vaihtoehtoisesti; liimaamalla, mekaanisilla kiinnikkeillä, koolauksen avulla tai yhdistelemällä näitä kolmea vaihtoehtoa.



Kuvio 6. Liittäminen perusmuuriin ja kantavaan alapohjaan (3D-kuva)



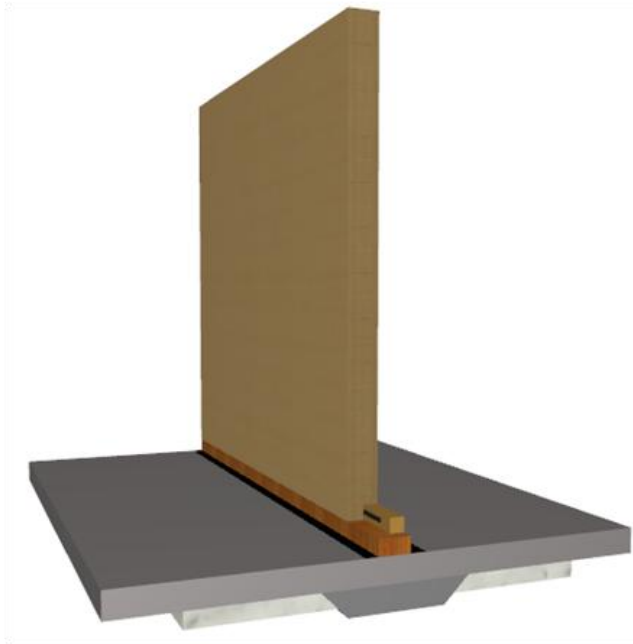
Kuvio 7. Liittäminen perusmuuriin ja kantavaan alapohjaan (pystyleikkaus)

#### 4.2.3 Kantavat väliseinät

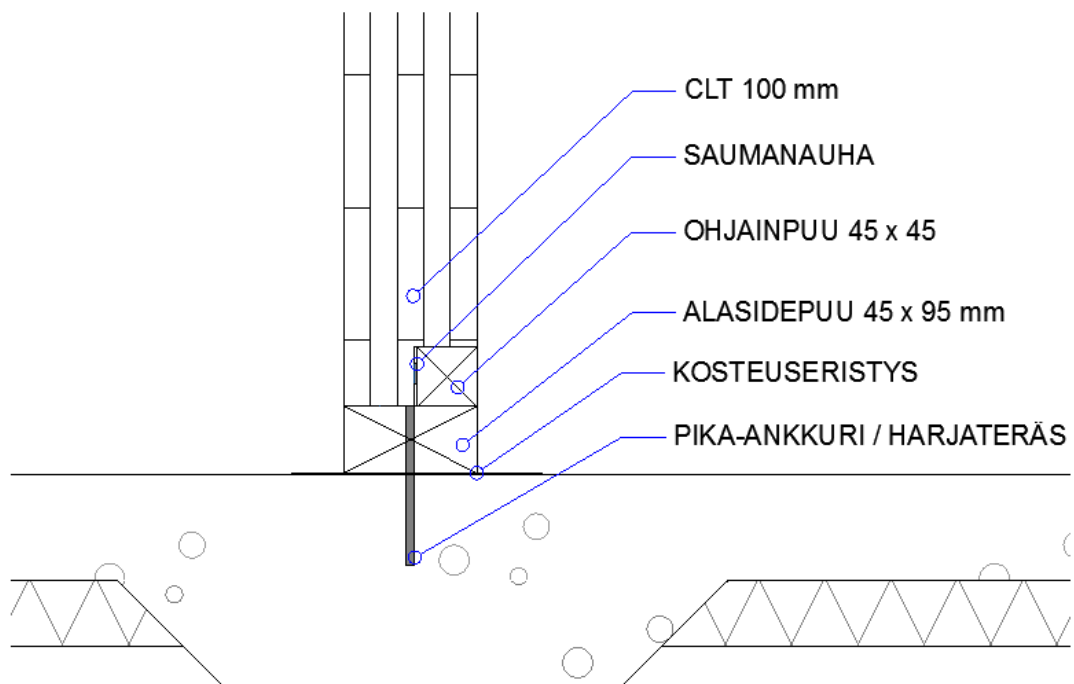
Tässä aluvuossa käsitellään kolmea erilaista kantavan väliseinän rakennetta yhdistettynä maanvaraiseen sekä kantavaan alapohjarakenteeseen. Yhdessä esimerkiksi on otettu myös huoneistojen välinen kantavaväliseinä. Seinärakenne huoneistojen välillä rakentuu useista eri rakennekerroksista, jotka vaativat tiettyjä rakenteellisia ratkaisuja myös perustuksilta.

Kuvioissa 8 ja 9 on esitetty kantavan CLT-väliseinän liittäminen maanvaraiseen laattaan. Kantavana rakenteena laattaan on tehty vahvike, jotta se kestää yläpuoliset kuormat ja välittää ne maaperään. Seinän ja perustuksen välinen liitosrakenne ei poikkea aiemmin esitetyistä ratkaisuista.

Seinärakenteen lähtötaso on huomioitava mitoitettaessa CLT-väliseinän korkeutta. Toisin kun kantavaan alapohjaan liittyvässä väliseinässä, tässä vaihtoehdossa väliseinän lähtökorko on eri kuin ulkoseinän CLT-levyllä. Kantavaan alapohjaan liitetty väliseinä lähtee alasidepuun paksuuden verran korkeammalta kuin ulkoseinän CLT-levy (vrt. kuvio 5).



Kuvio 8. CLT-väliseinän liittäminen maanvaraiseen laattaan (3D-kuva)

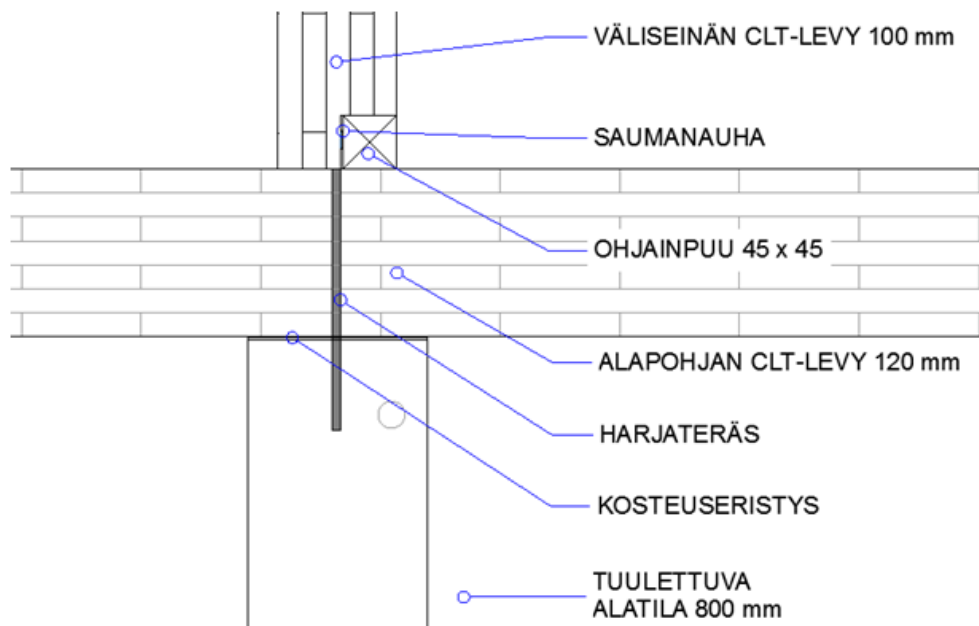


Kuvio 9. CLT-väliseinän liittäminen maanvaraiseen laattaan (pystyleikkaus)

Kuvioissa 10 ja 11 on esitetty kantavalla alapohjalla olevan, eli niin sanotun rossipohjaisen rakennuksen CLT-väliseinän liittäminen alapohjan CLT-levyyn. Liityntärakenne ei poikkea aiemmin esitetyistä, eikä väliseinän ja ulkoseinän alapinnan korko poikkea toisistaan (vrt. kuvio 7).



Kuvio 10. CLT-väliseinän liittäminen kantavaan alapohjaan (3D-kuva)



Kuvio 11. CLT-väliseinän liittäminen kantavaan alapohjaan (pystyleikkaus)

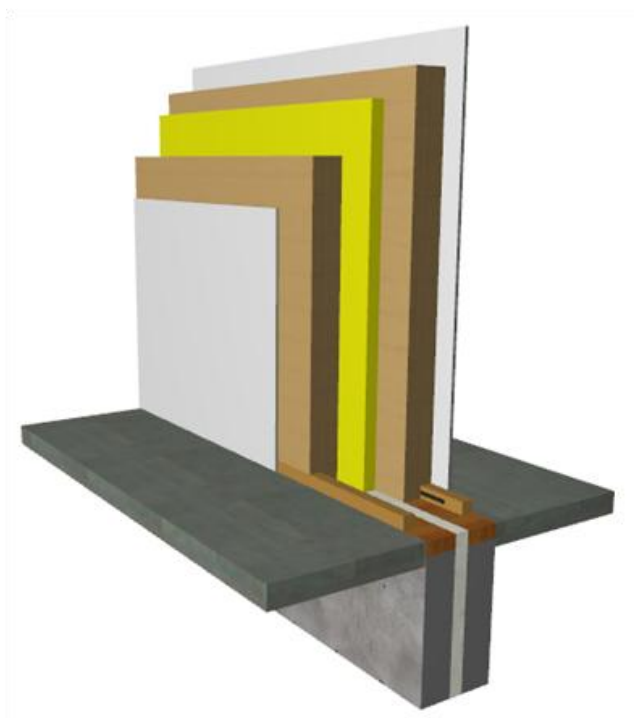
Palomitoituksen kannalta on hyvä tietää, että edellä esitetty rakenneosa (CLT 100 mm) yhdistettynä seinän molemmille puolille asennettavaan 15 millimetriä paksuun palokipsilevyyn ylittää paloluokkaan REI 30 (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). Kyseinen rakenne riittää siis paloluokan P3 rakennuksen kerroksien ja kellarin osastoivaksi seinärakenteeksi (ks. luku 2.4.).



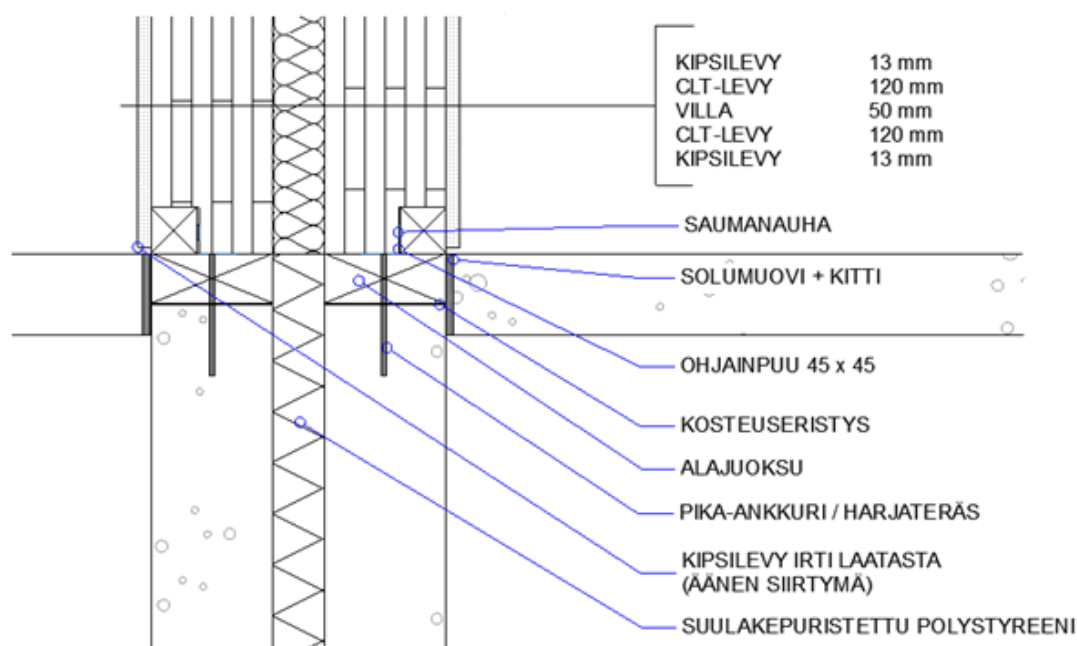
#### 4.2.4 Huoneistojen välinen seinä

Kuvioissa 12 ja 13 on esitetty viimeinen kolmesta perustuksiin liittyvästä kantavasta väliseinärakenteesta. Kuvioissa on kuvattuna huoneistojen välille sijoittuva seinä, jonka perusrakenteelta vaaditaan erityistä ääneneristävyyttä. Seinän rakenne-ehdotuksessa onkin useita rakennekerroksia ja sokkeli on halkaistu äänen siirtymäreitin katkaisemiseksi. Liittymistapa perustuksiin on samanlainen kuin edellä on esitetty.

Rakenneosan paloluokaksi ilmoitetaan REI 60 ja sen ilmaääneneristävyyden arvoksi  $R'_w \geq 55$  desibeliä, mikä tarkoittaa että se täyttää huoneistojen väliselle seinälle asetetut palo- ja äänitekniset vaatimukset. Väliseinän rakentamisessa on tietenkin huomioitava, että seinälevyjen väliin tuleva villa on asennettava ennen toisen levyn asentamista.



Kuvio 12. Huoneistojen välinen seinärakenne (3D-kuva)



Kuvio 13. Huoneistojen välinen seinärakenne (pystyleikkaus)

### 4.3 CLT-levyjen liitokset

Tässä aluvussa käsitellään CLT-levyjen välisiä ala- ja välipohjalaattojen liitoksia, seinien pysty- ja vaakaliitoksia sekä nurkkien liitoksia. Alaluvun ratkaisut pohjautuvat pääosin eri CLT-levyjen valmistajien ratkaisuihin, mutta niitä on tarvittaessa hieman sovellettu.

Omana ratkaisuna esitellään hirsirakenteesta kehitelty kiilauraliitos, jossa kiilamainen rakenne auttaa levyjen kohdistamisessa. Kiilauraliitos tiedetään vaikeaksi työstää, sillä valmistajilta ei löytyne suoraan työstöön soveltuvaa terää. Tämän ei kuitenkaan annettu estää liitoksen kehittelyä, vaan kiilauraliitos halutaan esitellä uutena ja innovatiivisena vaihtoehtona.

#### 4.3.1 Elementtien välinen liitos

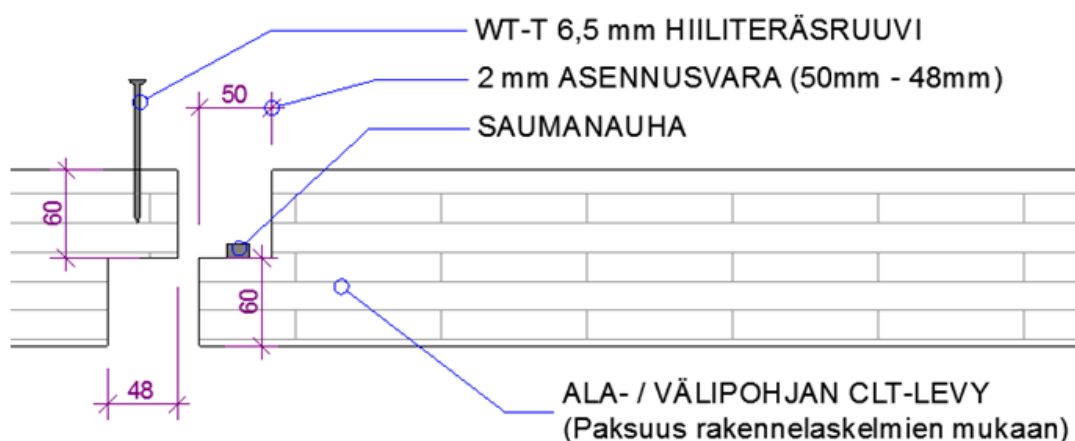
Kuvioissa 14 ja 15 esitetään vaakatasossa olevien laattojen välinen puoliponttiliitos. Ratkaisu löytyy käytännössä kaikkien suurten valmistajien manuaaleissa (liite 7, 3). Liitosta voi käyttää muun muassa alapohja-, välipohja-, vesikatto-, sekä parvekelevyjen liittämässä toisiinsa.

Levyjen väliseen saumaan asennetaan saumanauha ja levyt kiinnitetään ylhäältä päin ruuveilla toisiinsa. Puoliponttiratkaisussa on hyvää se, että esimerkiksi yhteen välipohjalevyyn tulevat kuormitukset jakautuvat tehok-

kaasti puolipontin ansiosta levyltä toiselle. Yksinkertaisen saumarakenteen ansiosta levyjen liittäminen toisiinsa on nopeaa ja 2 millimetrin asennusvara varmistaa, että alapuolinen sauma asettuu tiiviisti yhteen (kuvio 15). Saumarakenne voidaan kääntää myös toisin päin. Kääntäminen voi tulla kyseeseen silloin, kun halutaankin jättää yläpuolinen sauma näkyville.



Kuvio 14. CLT-levyjen puoliponttiliitos (3D-kuva)

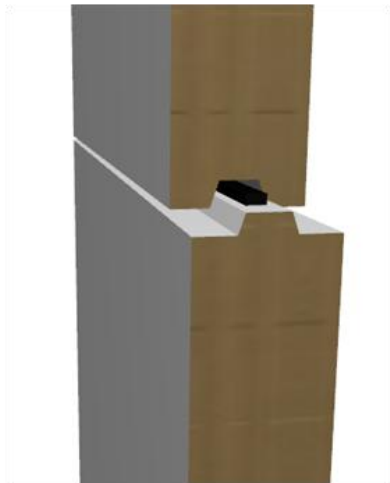


Kuvio 15. CLT-levyjen puoliponttiliitos (pystyleikkaus)

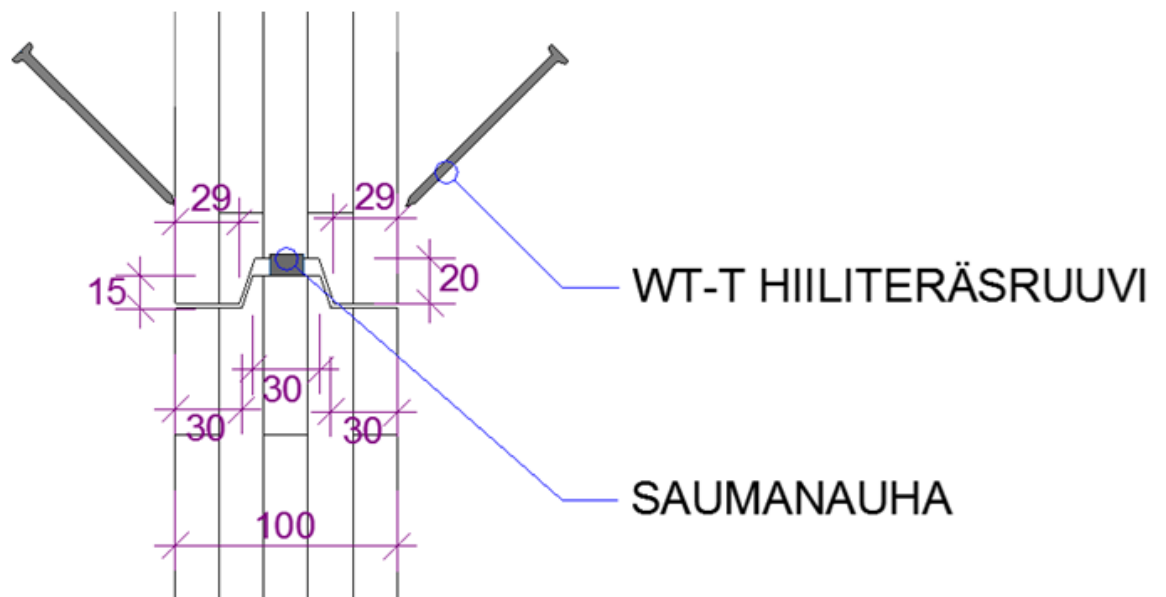
Kuvioissa 16 ja 17 esitetään CLT-levyjen vaaka- ja pystysaumaan soveltuva kiilauraliitos. Liitos on kehitelty hirsirakentamisen profiileista vastaamaan CLT-rakentamisen tarpeita. Hirsiprofiileihin verrattuna, kiilauraa on yksinkertaistettu ja sen työstömitoituksessa on huomioitu mahdollinen puun kosteuseläminen ja työstötarkkuus. Kiilauran naarasponttiin on jätetty pieni välys saumanauhalle. Välys estää saumanauhan vahingoittumisen asennustyön aikana, kun levyjä liikutetaan niiden vastatessa toisiinsa. Ilman tarvittavaa

välystä on oletettavaa, että saumanauha rullautuisi ja katkeilisi asennuksen aikana

Liitos kiinnitetään ruuveilla, minkä vuoksi urosponatin kiilan korkeus on pidetty maltillisena, jottei levy halkeaisi. Kiilauraprofiilissa mietittiin työstöä 100 millimetriä paksulle CLT-levylle, minkä vuoksi kuvion 17 leikkauksen dimensiot soveltuvat parhaiten juuri sen paksuiselle levyille. Muun paksuisille levyille kiilauran koko on suhteutettava erikseen.



Kuvio 16. CLT-levyjen välinen kiilauraliitos (3D-kuva)



Kuvio 17. CLT-levyjen välinen kiilauraliitos (pysty- / vaakaleikkaus)

### 4.3.2 Väliseinien liitokset CLT-seinään

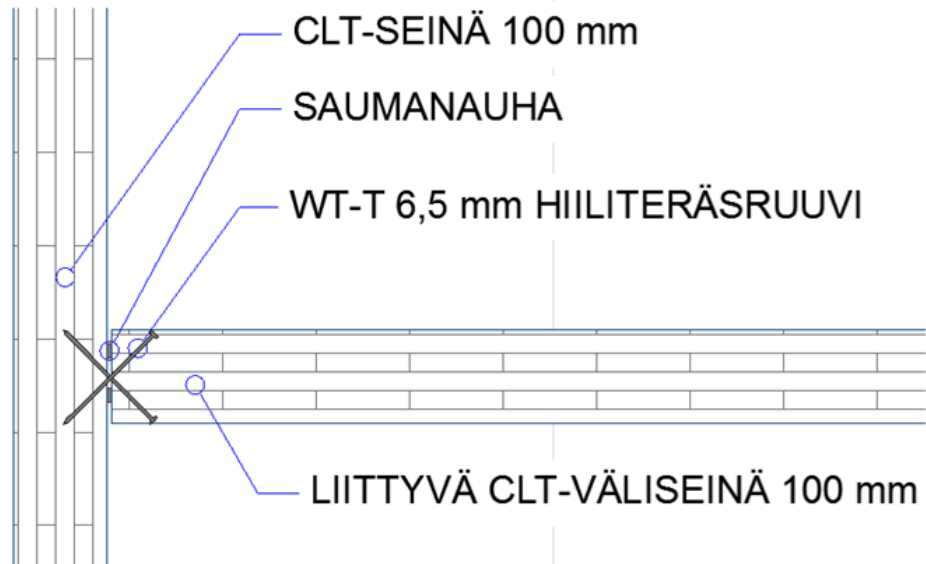
Tässä aluvuossa esitellään väliseinien pystyliitoksien liittämätkaisuja. Rakenne-ehdotukset soveltuvat niin ulkoseinä-väliseinä liitoksiin kuin väliseinien keskinäisiin liitoksiin.

Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty CLT-väliseinän liittäminen toiseen CLT-seinään. Liitoksessa käytetään jälleen saumanauhaa ja ruuveja. Ruuviliitoksissa on huomioitava, että vinoruuvaus on rakenteellisesti paljon parempi ratkaisu, kuin esimerkiksi kiinnittämällä ruuvi suoraan ulkopuolisen seinän läpi liittyvän väliseinän pätyyn.

Seinää asennettaessa voi olla hyvä käyttää asennusta helpottavia ”tukikapuloita”. Kapulat auttavat seinän pitämisessä paikoillaan ruuvaamisen aikana, sillä seinässä johon väliseinä liittyy, ei ole työstöuria. Työstöurat väliseinille voidaan tehdäkin, mutta jättämälle ne pois voidaan työmaalla väliseinien paikkaa vielä tarvittaessa muuttaa.

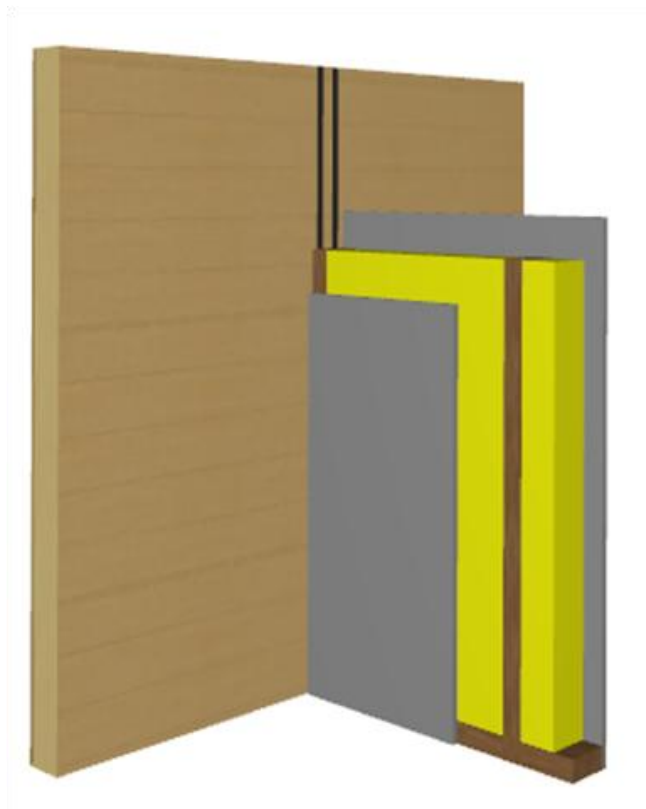


Kuvio 18. CLT-väliseinän liittäminen (3D-kuva)

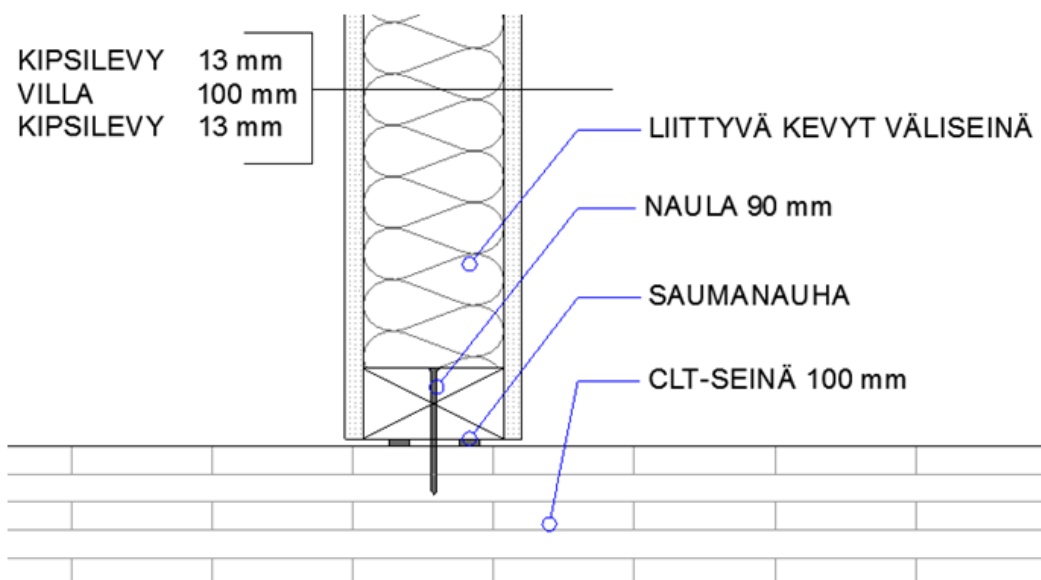


Kuvio 19. CLT-väliseinän liittäminen (vaakaleikkaus)

Seuraavissa kuvioissa 20 ja 21 on käsitelty kappaletavarasta tehdyn väliseinän liittämistä CLT-seinään. Seinän liittäminen tapahtuu liitämällä väliseinän pystypuu nauloilla CLT-levyyn, unohtamatta väliin tulevia saumanauhoja. Vaikkei CLT-rakenne pientalojen kuormalla juurikaan painu, on syytä muistaa jättää pienehkö painumavara kevyen väliseinän ja välipohjan liitokseen.



Kuvio 20. Puurankaisen väliseinän liittäminen (3D-kuva)

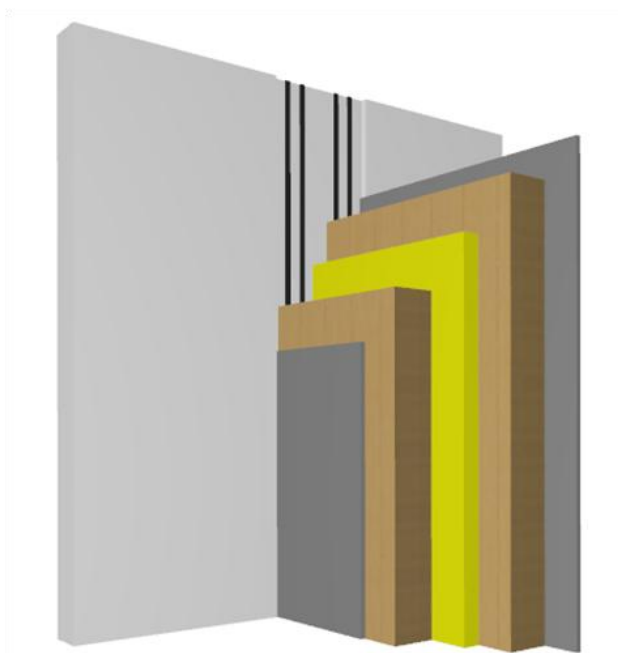


Kuvio 21. Puurankaisen väliseinän liittäminen (vaakaleikkaus)

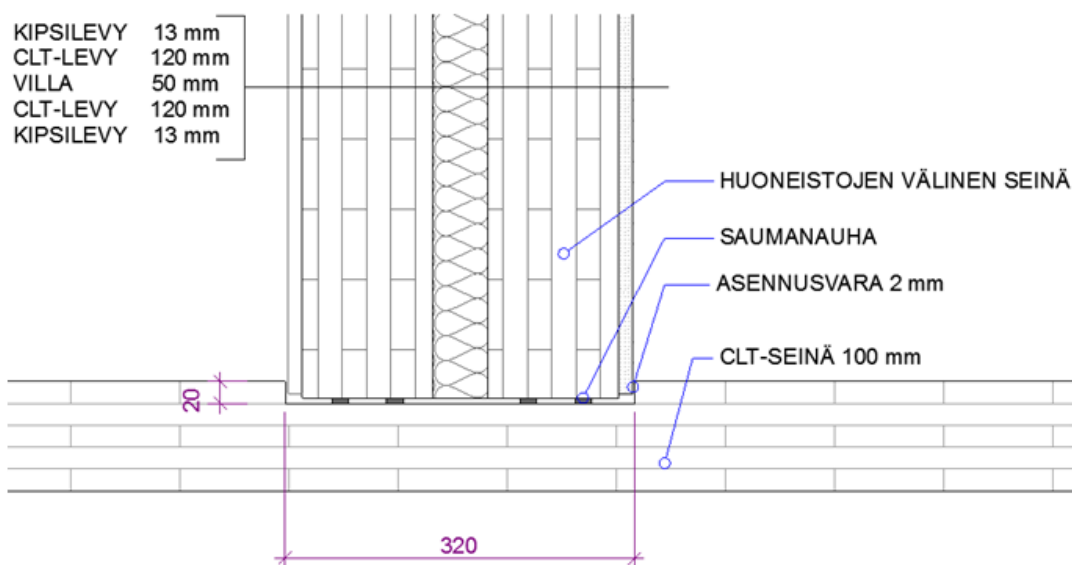
Huoneistojen välisen väliseinän liittäminen CLT-seinään on esitetty kuvioissa 22 ja 23. Poiketen edellä esitetyistä ratkaisuista on tässä seinään, johon huoneistojen välinen seinä liittyy, tehty 20 millimetrin syvyinen syvennys liitettävälle seinälle. Syvennys joudutaan tekemään ääniteknisten seikkojen parantamiseksi, sillä upotuksen ansiosta huoneistojen välinen ilmaääneneristävyys paranee. Mikäli halutaan minimoida muun muassa sivutiesiirtymää, voidaan kapeiden saumanauhojen sijaan käyttää leveämpää solumuovia.

Väliseinälle tehtävä syvennys voi olla syvempikin, jotta rakenteen ääniteknisestä toimivuudesta varmistutaan. Lisäksi on muistettava, että saumat on tiivistettävä huolellisesti saumamassalla ääni- ja paloteknisistä syistä. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.)

Seinän rakentamiseen liittyen tulee huomata, ettei edellä kuviossa 19 esitettyä vinoruuvausta voida molempien CLT-väliseinälevyjen osalta toteuttaa, sillä levyjen väliin ei pääse ruuvaamaan. Tällöin on toinen levyistä kiinnitettävä vinoruuvauksella vain toiselta sivulta ja varmistettava liitoksen kestävyys ruuvaamalla lovetun seinän läpi ruuvi kohtisuoraan väliseinälevyn päähän.



Kuvio 22. Huoneistojen välisen CLT-seinän liittäminen (3D-kuva)



Kuvio 23. Huoneistojen välisen CLT-seinän liittäminen (vaakaleikkaus)

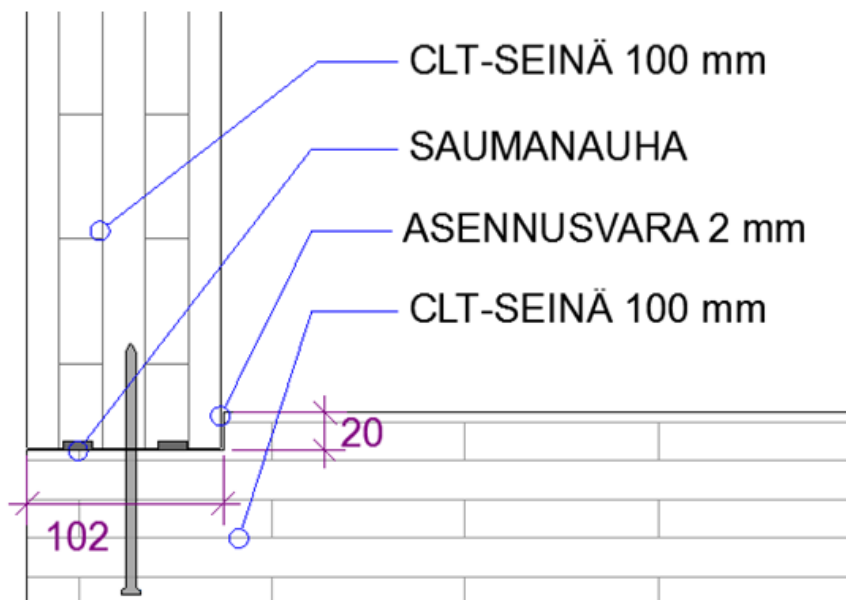
#### 4.3.3 Nurkkaliitos

Kuviossa 24 on esitetty vaakaleikkaus CLT-seinän nurkasta. Samaa mallia voidaan käyttää niin ulko- kuin väliseinissä. Kyseinen ratkaisu löytyy myös Stora Enson ”Rakentamisen ratkaisut”-manuaalista.

Loveamalla toinen CLT-levyistä saadaan lämpötekniisesti parempi ratkaisu kuin esimerkiksi suorilla puskusaumoilla. Loveuksen vuoksi ulkoilmalla on pitempi matka kulkea sisälle ja vaikka saumanauhat hieman vuotaisivatkin,



ilma ehtii lämmetä enemmän matkalla. Loveus ja asennusvara antavat myös hieman säätömahdollisuuksia, mikäli esimerkiksi rakennuksen ristimitan tasaamiseksi seinälevyjä pitää liikuttaa. Kuviossa 24 levyt ovat kiinnitetty kohtisuoraan ruuvaamalla, mutta myös vinoruuvausta voidaan käyttää.



Kuvio 24. CLT-seinän nurkkaliitos (vaakaleikkaus)

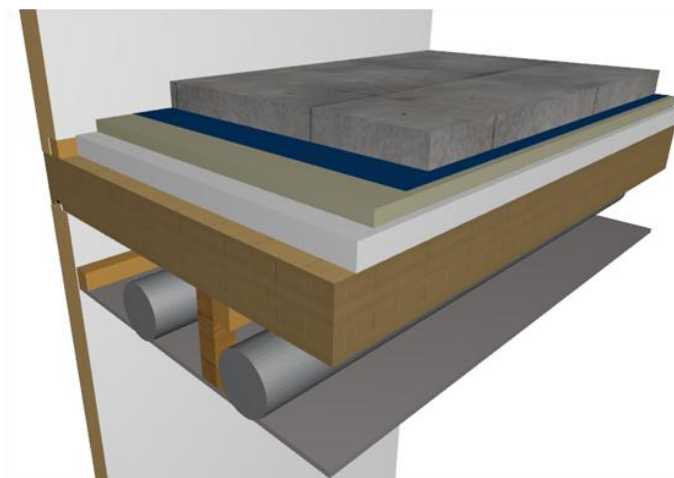
#### 4.4 Välipohjan liittäminen runkoon

Seuraavaksi kuvioissa 25 ja 26 on esitetty huoneistojen välisen välipohjarakenteen ja seinän välinen liitosratkaisu. Detaljiin on lisätty samalla välipohjan rakenne-ehdotus, joka on sovellettu liitteessä 3 välipohjan rakenne-ehdotuksesta ”4.3 Floor slab” (liite 3, 2). Tällä haluttiin varmistua siitä, että kuvioissa esitetty välipohjarakenne täyttää äänitekniset vaatimukset, etenkin askeläänieristyksen osalta.

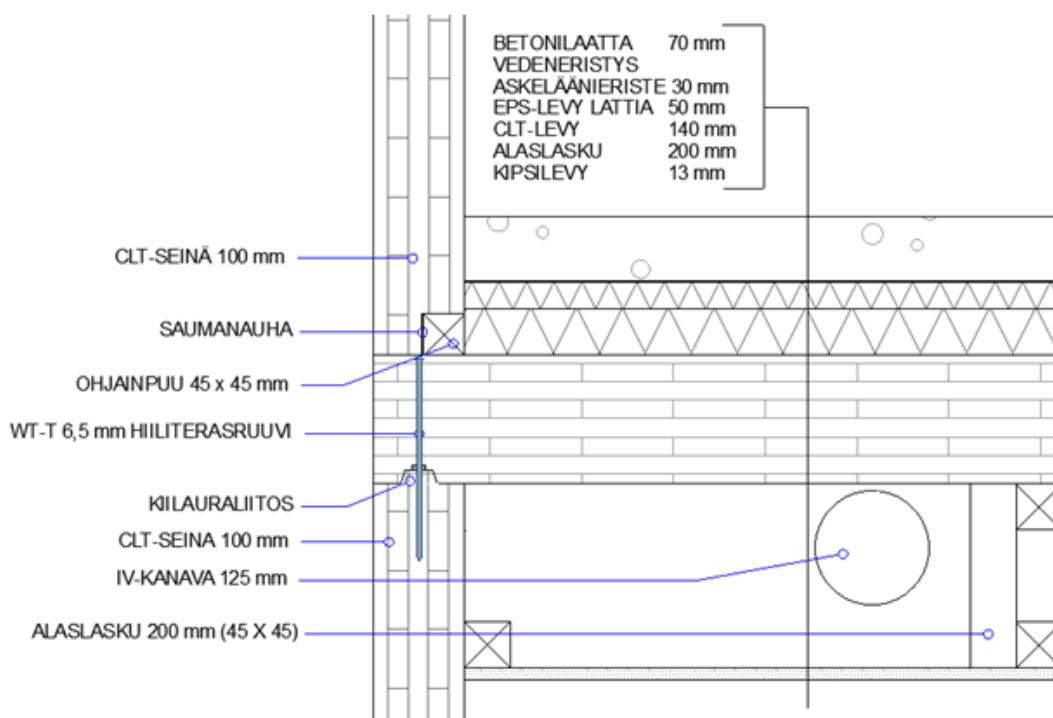
Välipohjan ja alapuolisen seinän liitoksessa on käytetty edellä mainittua kii-lauraliitosta, mutta yläpuolelle on valittu samanlainen ohjainpuuliitos kuin seinien ja alapohjan välisessä liitoksessa. Sillä on haluttu, että seinälevyjen profiili pysyisi molemmissa kerroksissa samanlaisena.

Ruuviliitokset ovat samanlaiset kuin edellä olleissa detaljeissa. Huomionarvoista detaljissa on välipohjan alle tehtävä alaslasku. Ilman sitä askeläänieristävyys ei rakenteella luultavasti riittäisi. Tähän tulokseen päädyttiin, koska liitteessä kolme ilman alaslaskua oleva rakenne-ehdotus ”4.2 Floor slab” ei täytä askeläänieristävyysvaatimusta (liite 3, 2). Toinen riittävän

korkean alaslaskun hyöty on se, että sen sisällä voidaan jakaa LVIS-tekniikkaa rakennuksessa, kuten kuvioihin 25 ja 26 on visualisoitu.



Kuvio 25. Huoneistojen välisen välipohjarakenteen liittäminen (3D-kuva)



Kuvio 26. Huoneistojen välisen välipohjarakenteen liittäminen (pystyleikkaus)

#### 4.5 Yläpohjan ja vesikattorakenteiden liittäminen runkoon

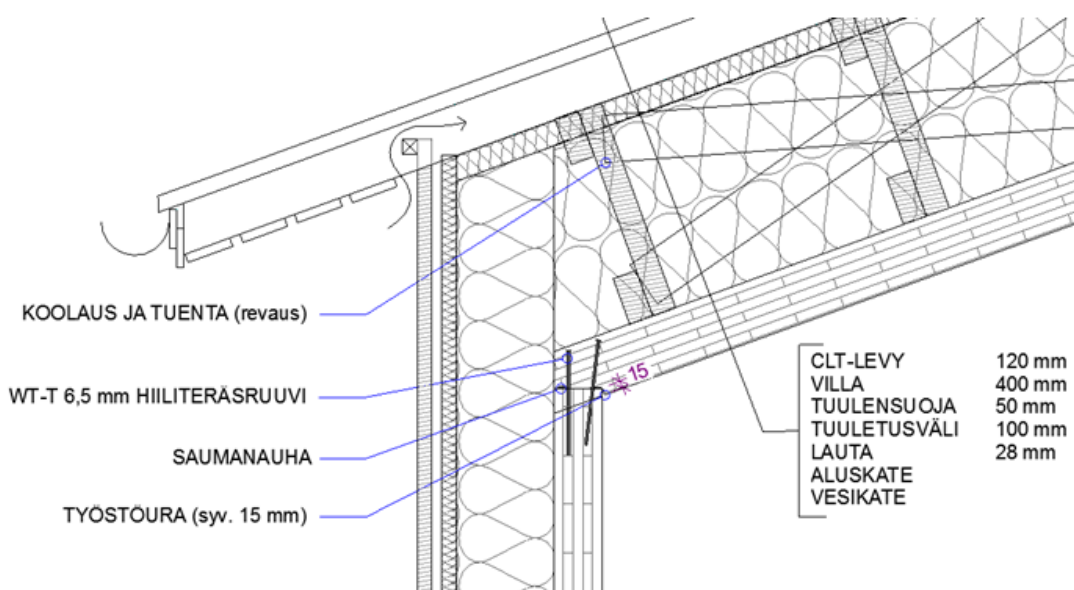
Tässä alaluvussa esitellään kaksi vaihtoehtoista tapaa rakentaa CLT-levyistä vesikattorakenteet ja annetaan ehdotus sille, miten muut rakennekerrokset tulisi liittää CLT-levyyn. Vesikattorakenteen muodostamisessa on kaksi vaihtoehtoista pääperiaatetta, CLT-levyn asentaminen vesikattoraken-

teessa alimmaisiksi tai päällimmäiseksi. Milloin CLT-levy asennetaan niin sanotusti päällimmäiseksi, tulee sen päälle asentaa tietenkin vielä vesikate.

Kuvioissa 27 ja 28 on esitetty vaihtoehdoista ensimmäinen. Rakennuksen sisätilat saadaan kyllä nopeasti sateelta suojaan, mutta katolle jää paljon säälle alttiita ja putoamisriskin sisältäviä eristystöitä. Hyvänä puolena CLT:n asentamissa rakenteen alapintaan on se, ettei erillistä höyrynsulkua tarvita. CLT-levyn liittämisen helpottamiseksi on molemmissa vaihtoehdoissa tehty työstöurat yläpohjan CLT-levyyn (kuviot 28 ja 30). Muuten seinän ja yläpohjan CLT-levyjen väliin asennetaan normaalisti saumanauhat ja levyt kiinnitetään yhteen ruuveilla.

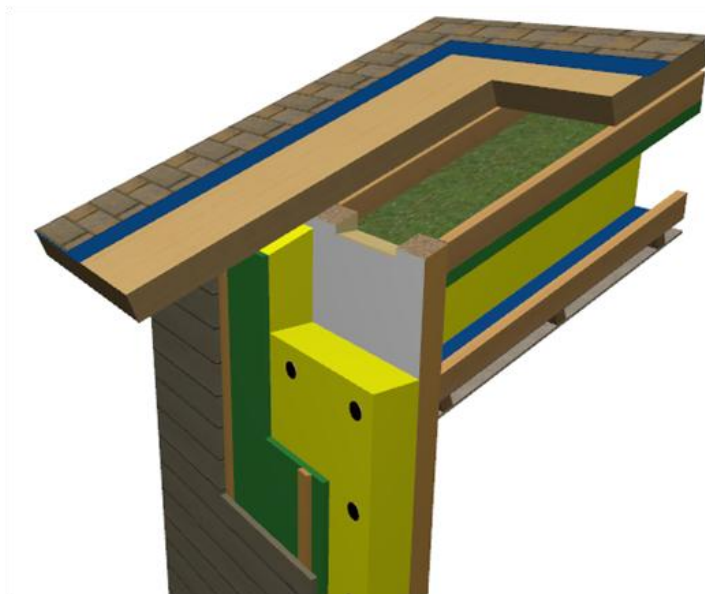


Kuvio 27. CLT-levy yläpohjarakenteen alapuolella (3D-kuva)



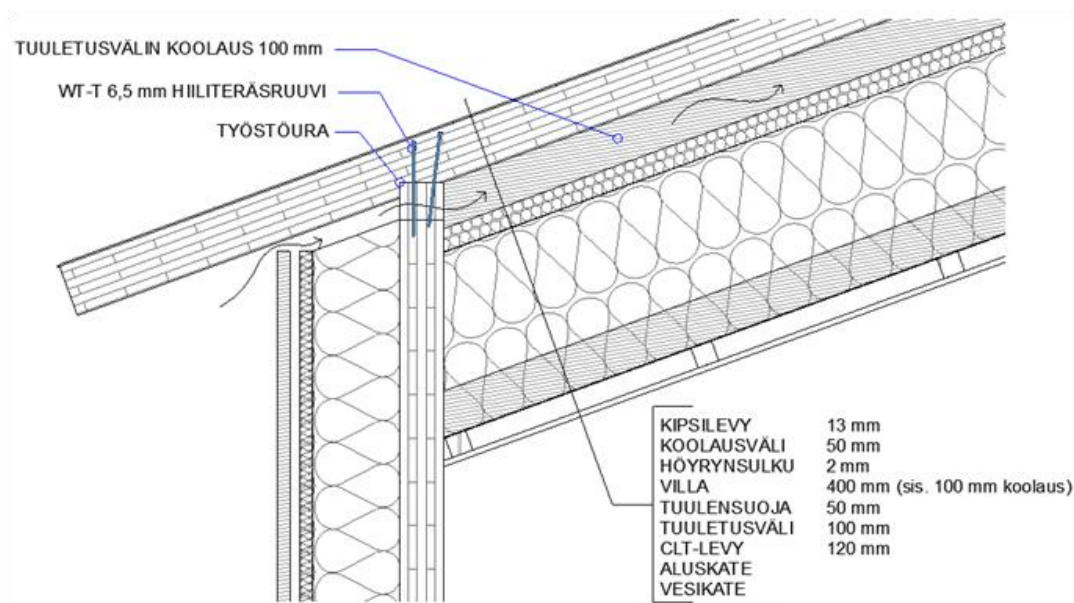
Kuvio 28. CLT-levy yläpohjarakenteen alapuolella (pystyleikkaus)

Toinen yläpohjarakenteen rakentamistapa on asentaa CLT-levy rakenteessa lämmöneristyksen ja tuuletusraon päälle. Kuten ensimmäisessä vaihtoehdossa, tässäkin rakennus saadaan heti vesisateilta suojaan. Erona kuitenkin on se, ettei säälle alttiita ja putoamisriskin sisältäviä kattotöitä ole lähellekään niin paljon kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. Katon asennuksessa tulee muistaa suojata CLT-levy peitteillä ennen vesikatemateriaalin asennusta.



Kuvio 29. CLT-levy yläpohjarakenteen yläpuolella (3D-kuva)

Yläpohjarakenteen tuuletus on tässä vaihtoehdossa järjestetty työstämällä seinälevyjen yläosaan ilma-aukot. Kuviossa 29 näkyy ilma-aukon työstö vaaleaksi jätetyn CLT-seinälevyn yläosassa.



Kuvio 30. CLT-levy yläpohjarakenteen yläpuolella (pystyleikkaus)

#### 4.6 Ovien ja ikkunoiden liittäminen runkoon

Tässä alaluvussa esitellään perusratkaisut ovien ja ikkunoiden kiinnittämiseen CLT-levyihin. Ratkaisuissa mietittiin tavallisten perus ikkuna- ja ovi-mallien kiinnittämistä, vaikka markkinoilta saa tilaustyönä hyvinkin erilaisia malleja. Toinen lähtökohta oli se, että ikkunat ja ovet pyrittiin viemään mahdollisimman lähelle lämmöneristyskerroksen ulkopintaa. Tämä on lämpö-tekniisesti parempi ratkaisu, kuin asentaa ikkunat sisemmäksi, esimerkiksi suoraan CLT-levyyn tehtyyn ikkuna-aukkoon. Kun ikkunat ovat sisempänä, kylmällä ilmalla on paljon lyhyempi johtumismatka ikkunanpinnasta talon sisälle.

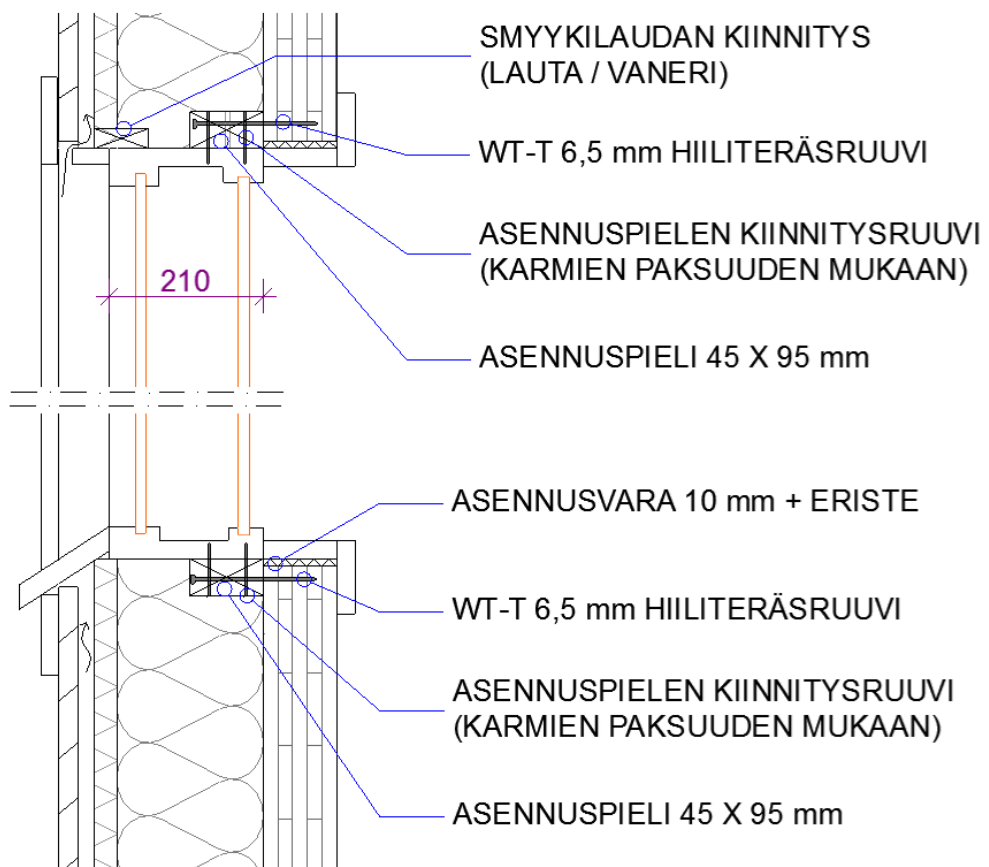
Niin ikkunoiden kuin ovienkin osalta päädyttiin ratkaisuun, jossa asennettavan oven tai ikkunan ympärille rakennetaan kappaletavarasta erillinen asennuspieli (kuviot 31 ja 33). Ainoa ero ikkunoiden ja ovien asennuksessa on asennusjärjestys. Ikkunoihin asennuspieli saumanauhoineen kiinnitetään jo ennen kiinnittämistä seinään, mutta ovien asennuspieli asennetaan ensiksi CLT-seinässä olevan oviaukon ympärille, joihin sitten ovi kiinnitetään.

Syynä erilaiseen asennusjärjestykseen on kaksi asiaa. Ensiksikin ikkunoiden asennuskorkeus saattaa olla suuri, jolloin on helpompaa, kun ikkunan voi asennuspielineen kiinnittää CLT-seinään. Toiseksi, koska ovien käyntiä joutuu säätämään paikan päällä, niitä ei kannata asentaa valmiiksi asennuspielen muodostamaan kehään.

Kuvioissa 31 ja 32 on esitetty ikkunan asentaminen CLT-rakenteeseen. Asennuspieli näkyy kuviossa 31 tummanruskeana. Asennuspielet kiinnitetään ensiksi ruuveilla ikkunan runkoon. Sitten asennuspieliin porataan kiinnitysreiät ja esiporattuihin reikiin laitetaan valmiiksi ruuvit paikoilleen. Menettely mahdollistaa ikkunan nopean kiinnittämisen, kun se on saatu nostettua paikoilleen. Asennusta helpottamaan voidaan ikkuna-aukon alalaitaan kiinnittää väliaikaisesti kapula, jonka avulla ikkuna saadaan heti oikeaan korkoon.



Kuvio 31. Ikkunan liittäminen CLT-rakenteiseen seinään (3D-kuva)

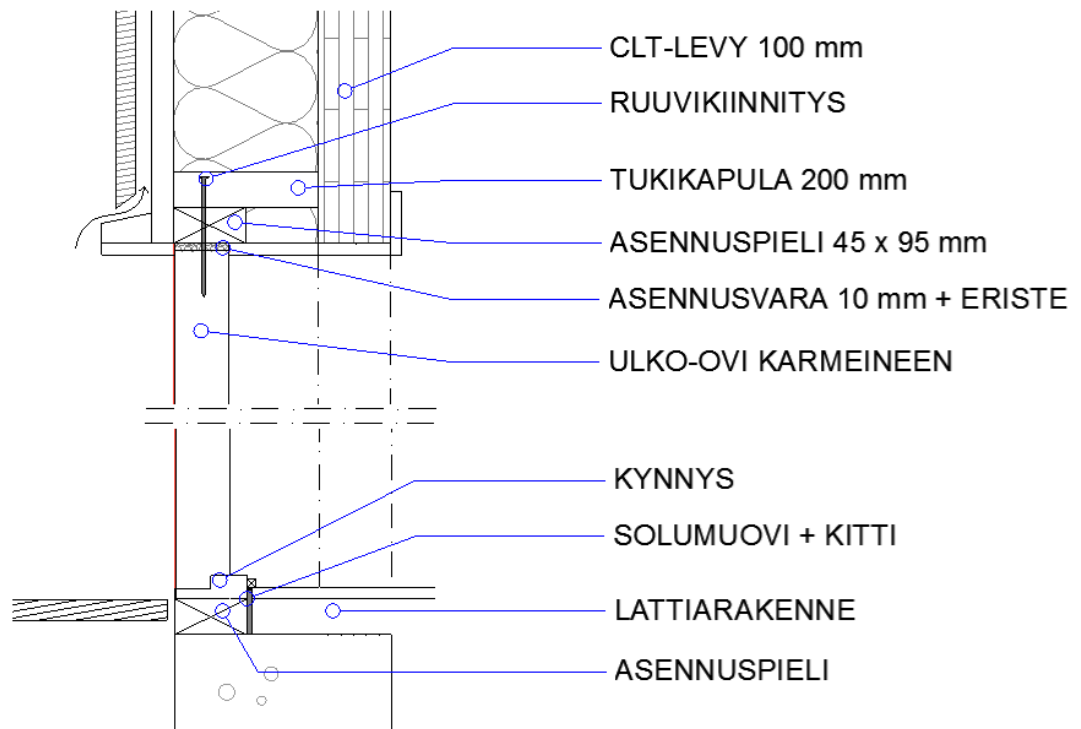


Kuvio 32. Ikkunan liittäminen CLT-rakenteiseen seinään (pystyleikkaus)

Oven kiinnittäminen on kuvattu kuvioissa 33 ja 34. Seinärakenteen kokonaisvahvuuden muuttuessa oven asemointia seinän syvyys suunnassa voi halutessa muuttaa. Säättäminen tapahtuu muuttamalla asennuspielen tukikapulan mitta. Kuvioissa 33 ja 34 kapulan pituutena on käytetty 200 millimetriä.



Kuvio 33. Oven kiinnittäminen CLT-seinälevyyn (3D-kuva)



Kuvio 34. Oven kiinnittäminen CLT-seinärakenteeseen (pystyleikkaus)

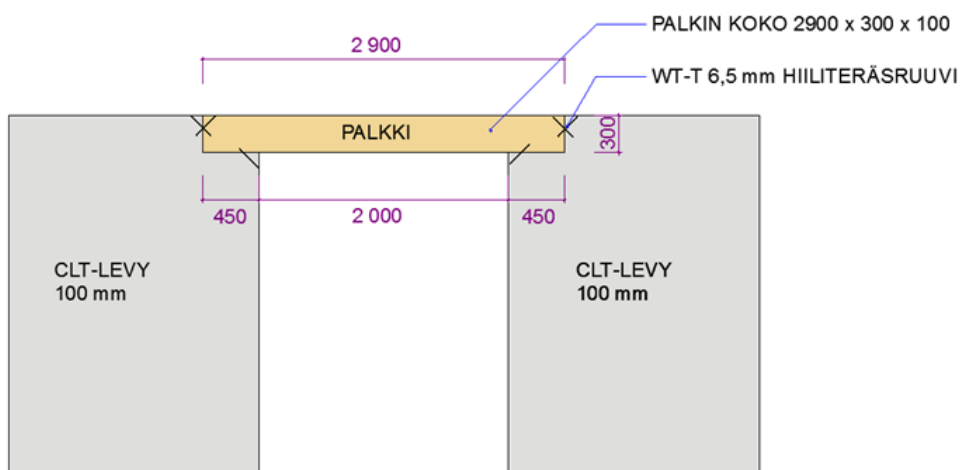
#### 4.7 Aukkopalkin ja seinän liitos

Seuraavaksi kuvioissa 35 ja 36 on kuvattuna aukkopalkin ja CLT-seinän välinen liitos. Kuvioissa ilmoitetut aukkopalkin mitat eivät ole sidottuja mihinkään mitoitustilanteeseen. Palkin mitoitus ja seinän tukisyyvydet tulee tehdä aina erillisten lujuuslaskelmien mukaan. Riippuen seinän yläpuolisista kuormista, aukon ylitykseen voidaan käyttää CLT-levyä, liimapuupalkkia tai vaikkapa teräspalkkia.

Aukkopalkin kiinnitykseen kuvioissa 35 ja 36 on käytetty ruuveja, mutta tarvittaessa lisää jäykkyyttä rakenteelle saadaan käyttämällä esimerkiksi kulmarautoja ja naulalevyjä. Työstöihin liittyen on huomioitava se, että mikäli seinälevyt on tilattu näkyvällä laadulla, tehdään palkin asennusaukko seinälevyyn jyrsimellä. Tällöin kulmiin ei tule 90 asteen terävää kulmaa, vaan kulmiin jää säteeltään 20 millimetrin pyöristys (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012).



Kuvio 35. Aukkopalkin liittäminen CLT-seinään (3D-kuva)



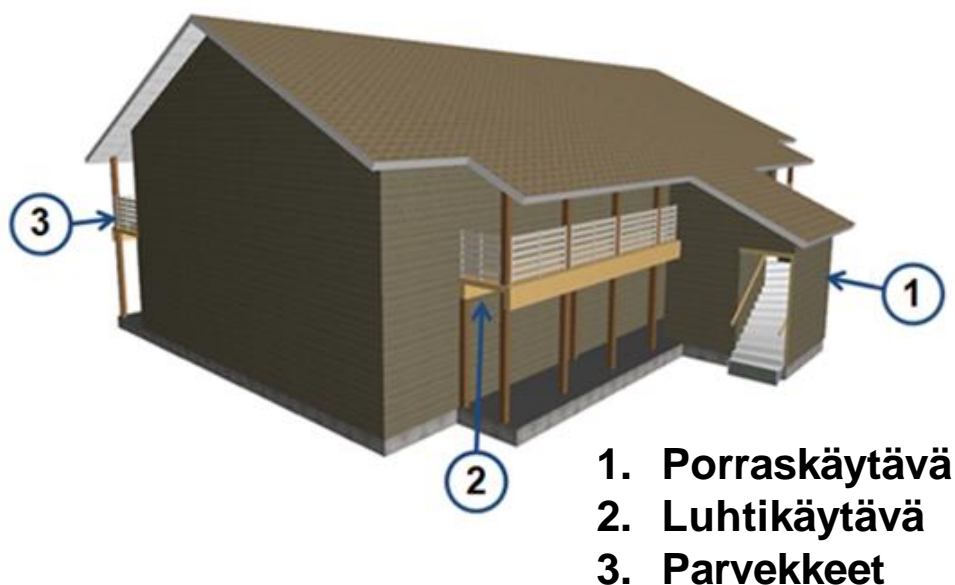
Kuvio 36. Aukkopalkin liittäminen CLT-seinään (pystyleikkaus)



#### 4.8 Luhtitalon detaljit

Tässä viimeisessä detaljeja sisältävässä aluvussa on käsitelty luhtitalon erityisrakenteet. Esitetyjä ratkaisuja tarvitaan myös rakennettaessa CLT-levyistä mitä tahansa useampi kerroksista rakennusta. Keskeisin seikka CLT-rakennuksessa, on huomioida seinärakenteen erityisvaatimukset. Mikäli seinä on rakennettu ilman puurankakoolausta, niin kuin tässä opinnäytteessä on ehdotettu, välittömästi ulkovuoren takana ei ole kiinnityspintaa parvekkeille tai muille tasoille. Seinän sisäpuolinen CLT-levy kantaisi kuormat, mutta tasojen tukirakenteet halkaisisivat koko lämmöneristyskerroksen muodostaen liian suuren kylmäsilan. Lisäksi CLT-levyyn ulottuvat tukirakenteet välittäisivät myös ilma- ja askelääniä luhtikäytävästä asuinhuoneeseen. Edellä esitettyjen seikkojen perusteella päädyttiinkin ratkaisuun, jossa tasojen tukirakenteet rakennetaan kokonaan seinärakenteen ulkopuolelle.

Luhtitalon detaljeissa kuvioissa 37–44 esitetään rakenneratkaisut luhtitalon porraskäytävälle, luhtikäytävälle ja parvekkeille. Ajatustyön avuksi luotiin ArchiCAD-ohjelmalla luhtitalon luonnos, joka sisältää kaikki edellä mainitut rakenteet (kuvio 37).

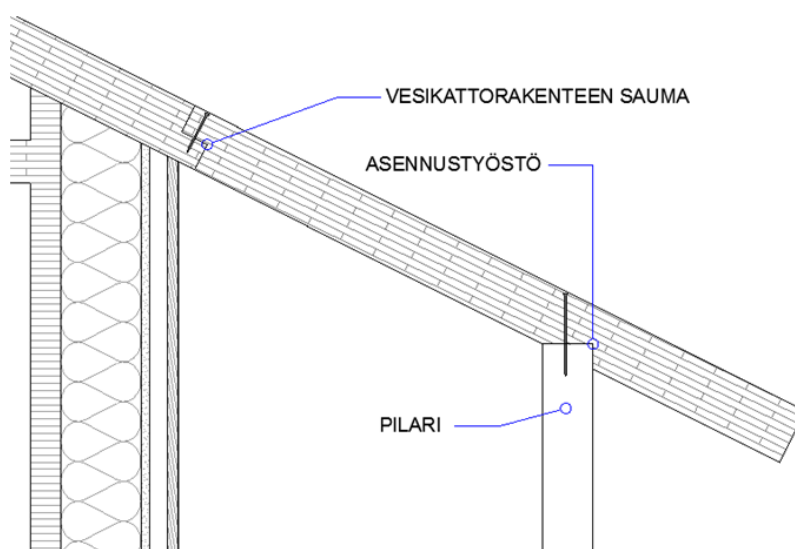


Kuvio 37. Yleiskuva luhtitalosta (3D-kuva)

Niin kuin edellä mainittiin, parvekkeiden ja luhtikäytävän tuentaan valittiin lämpö- ja ääniteknisistä syistä seinän ulkopuoliset tukirakenteet. Tämä tarkoittaa käytännössä tasoja, joiden tukeminen on toteutettu pilari-palkkirakenteella.

Rakennuksen ulkovouri on kuitenkin rakennettava ennen pilareiden ja parvekkeiden asennusta, sillä pilarit estävät ulkovoeripaneelien asentamisen. Toinen rakentamisjärjestykseen vaikuttava seikka oli vesikaton asennus parvekkeiden sekä luhti- ja porraskäytävän osalta. Mikäli koko vesikatto tukipilareineen asennetaan jo runkovaiheessa paikoilleen, ei toisen kerroksen käytävän ja parvekkeiden CLT-levyjä voida nostaa paikoilleen.

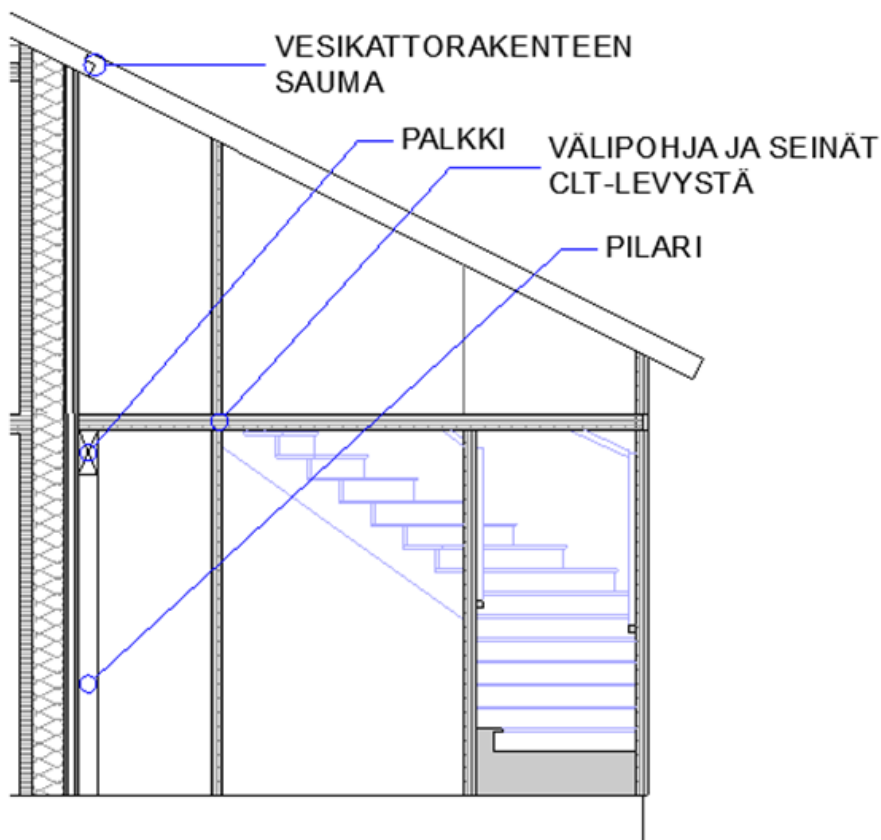
Edellä mainitut seikat pakottavatkin rakentamaan vesikattorakenteen kahdessa osassa. Ensiksi vesikatto rakennetaan talon ulkoseinien tasalle, minkä jälkeen asuinrakennuksen ulkoseinät tehdään valmiiksi. Seinien, mukaan luettuna porraskäytävän seinät ja portaikko, valmistumisen jälkeen asennetaan parvekkeiden ja luhtikäytävän kaikki rakenteet. Vasta näiden työvaiheiden jälkeen voidaan jälkimmäinen osa vesikatosta rakentaa loppuun. Kuviossa 38 on kuvattuna kohta, mistä kohti vesikattorakenne voidaan katkaista, jolloin räystästä jäisi vielä ulkovoiren eristystöiden suojaksi.



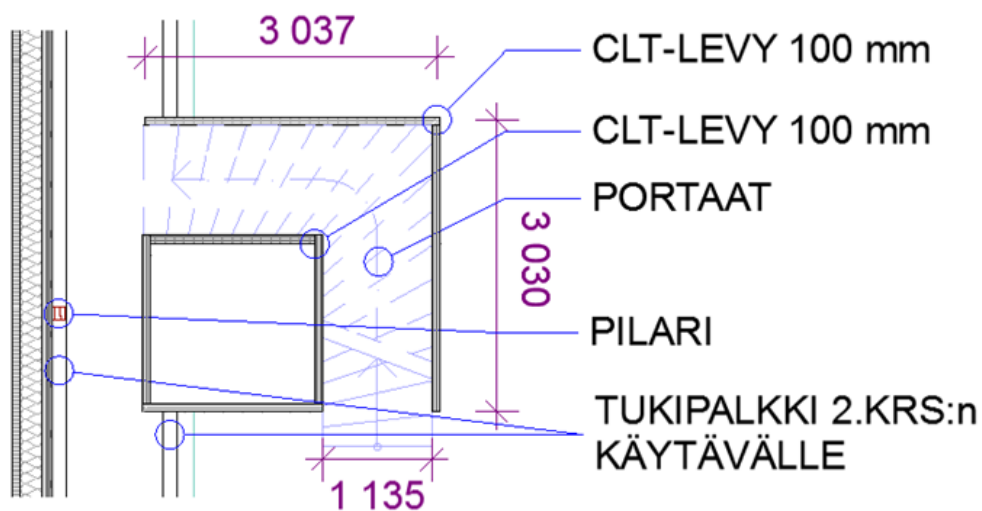
Kuvio 38. Vesikattorakenteen sauma (pystyleikkaus)

#### 4.8.1 Porraskäytävä

Porraskäytävän rakenne on kuvattu leikkauksilla kuvioissa 39 ja 40. On huomioitava, että kuvion 40 dimensiot eivät välttämättä vastaa todellisuutta. Kuvien tarkoitus on ainoastaan antaa lukijalle yleiskuva siitä, miten porraskäytävän rakenteet CLT-levyillä voidaan toteuttaa.



Kuvio 39. Porraskäytävä (pystyleikkaus)



Kuvio 40. Porraskäytävä (vaakaleikkaus)

Porraskäytävän kaikki seinät ja tasot ovat CLT-levyjä. Levyjen väliset liitokset on tarkoitus toteuttaa edellä tässä opinnäytteessä esitettyjen liitosdetaljiin mukaan. Itse portaat voidaan rakentaa myös CLT-levyistä. Portaat voidaan joko kiinnittää ympäröiviin seiniin askelma kerrallaan tai sitten rakennetaan levyistä porraselementti, joka nostetaan kokonaisena paikoilleen.

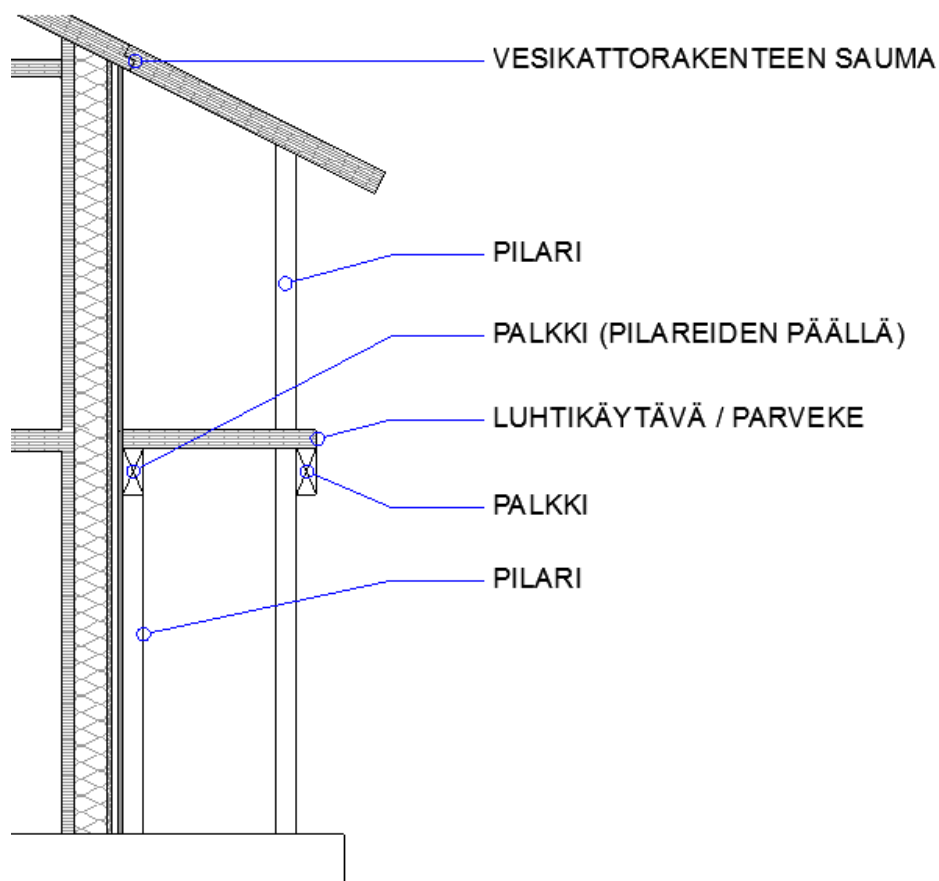
## 4.8.2 Luhtikäytävä

Luhtikäytävän ja parvekkeiden rakenneratkaisujen ja rakentamisjärjestyksen perustelut kerrottiin aiemmin alaluvussa 4.8. Kuvioissa 41–43 onkin käsitelty tarkemmin luhtikäytävän ja parvekkeiden pilari-palkkirakenteita sekä niiden ruuviliitoksia.

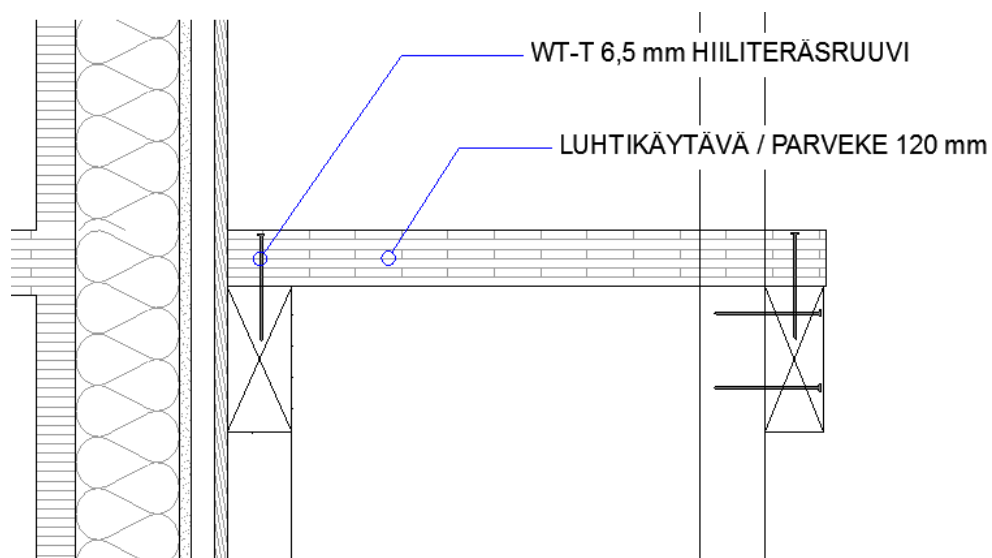


Kuvio 41. Luhtikäytävä (3D-kuva)

Huomion arvoinen yksityiskohta on se, että ulompi pilarilinja voidaan rakentaa katkaisemattomana vesikattorakenteeseen saakka, työstämällä pilarille ura CLT-tasoon (kuvio 42). Katkaisematon pilari tukevoittaa paremmin koko rakennetta.



Kuvio 42. Luhtikäytävä tai parveke (pystyleikkaus)



Kuvio 43. Luhtikäytävän tai parvekkeen kiinnitys (pystyleikkaus)

Edellä kuviossa 43 on kuvattuna tarkemmin käytävän tai parvekkeen tasona toimivan CLT-levyn kiinnittäminen ruuveilla tukirakenteisiin. Kuvassa ulompi pilari on piirretty katkaisemattomana, kuten edellä mainittiin. Pilari voidaan tarvittaessa myös katkaista tasanteen kohdalta ja kiinnittää vaikkapa pilari-kengällä käytävän CLT-levyyn.

### 4.8.3 Parvekkeet

Parvekkeen rakenne ja ulkoasu ilmenevät kuvioista 42 ja 44. Parvekkeisiin ja luhtikäytävään liittyy eräs yksityiskohta, jota ei ole vielä käsitelty - pintalamellien suunta. Parvekkeiden ja luhtikäytävän CLT-levyt on järkevää tilata pituussuuntaan nähden poikittaisilla pintalamelleilla kahdestakin syystä. Ensimmäiseksi, lamellien saumat keräävät roskaa, joiden lakaisu lamellisaumojen suunnassa parveketasolta alas on helpompaa. Toinen ja merkittävämpi syy on sadevesien poistaminen rakenteen pinnalta. Tason poikittainen lamellisuunta yhdistettynä maltilliseen kaatoon ohjaa tehokkaammin räystäään ohi levyille sataneen veden pois rakenteesta. Tällöin pintakäsittelty CLT-levy kuivaa nopeammin harventaen pintakäsittelyn uusimistarvetta.



Kuvio 44. Luhtitalon parveke (3D-kuva)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytteen tuloksia arvioitaessa voidaan nostaa tärkeimpänä esille CLT-rakentamiseen liittyvien rakenneratkaisuiden soveltamismallit. Opinnäytetyössä on huomioitu eri valmistajien manuaalien ratkaisut, joita on tarvittaessa jalostettu paremmin suomalaiseen rakentamistapaan soveltuviksi. Julkaisun 3D- ja leikkauskuviin lisätyt tekstiselostukset, madaltavat mielestäni oleellisesti CLT-rakentamisesta kiinnostuneen rakentajan kynnystä ryhtyä toteuttamaan CLT-hanketta, minkä vuoksi voidaankin sanoa, että tutkimustyö on kannattanut.

Tutkimusongelmat opinnäytteessä oli aseteltu mielestäni hyvin loogisesti. Opinnäytteen tulokset huipentuvatkin ominaisuuksien ja rakentamismääräysten huomioimisesta käytännön ratkaisumallien laatimiseen. Tietoperusta ja rakentamismääräykset selvitettiin teoriaosiossa riittävällä tarkkuudella tutkimusongelmien ratkaisemiseksi.

Tutkimustyön luotettavuutta arvioitaessa on kuitenkin huomioitava, ettei opinnäytteen ratkaisujen tueksi suoritettu yhtäkään mittausta tai kenttäkoetta. Mittauksista olisi ollut suurta hyötyä muun muassa eri rakenteiden ääneneristävyyden varmentamiseen. Kenttäkokeilla puolestaan olisi voitu osoittaa muun muassa rakenneratkaisujen käytännöllisyys ja liitoksien ruuvauksen kesto. Kenttäkokeiden puuttuessa suoritettiin kuitenkin yksi työmaakäynti opinnäytetyön käytäntöön sitomiseksi. Työmaakäyntejä olisi voinut olla useampiakin, mutta CLT-rakentamisen vähäisyyden ja pitkien välimatkojen vuoksi tyydyttiin yhteen työmaakäyntiin. Onkin huomioitava, että vaikka työmaakäynti muistioineen tuo merkittävää lisäarvoa tutkimukselle, voivat sen huomiot ylikorostua kenttäkokeiden puuttuessa. Käytännön kokeiden puute voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa sen, että jotkin esitetyistä rakenneratkaisuista osoittautuvat käytännössä huonoiksi ratkaisuuksi.

Edellä mainitut tutkimuksen luotettavuutta horjuttavat seikat pyrittiin kuitenkin minimoimaan pitämällä liitosratkaisut ja liittimet mahdollisimman yksinkertaisina. CLT-levyjen väliseen pysty- ja vaakasaumaan esitetty kiilauraliitos ei välttämättä ole toteuttamiskelpoinen tuotantolinjastoista johtuvien seikkojen vuoksi. Työstön aiheuttamat rajoitukset tuodaan kuitenkin julki kiilauraliitoksen yhteydessä riittävän selkeästi.

CLT-levyjen liittimiä ja liityntöjä muihin rakenteisiin esiteltiin työssä vähän, kun ottaa huomioon markkinoilla olevien erilaisten liittimien ja rakennusmateriaalien määrän. Työssä liittimistä perehdyttiin ainoastaan ruuviliitoksiin ja liitynnöistä muihin rakenteisiin annettiin perustuksien ja vesikattoranteiden lisäksi ratkaisut vain oville, ikkunoille ja luhtitalon rakenteille. Mielestäni ruuviliitoksissa ja CLT-levyjen välisissä liitoksissa pysyminen on ollut kuitenkin perusteltua. Opinnäytteen tehtävänähän oli selvittää suomalaiseen rakentamistapaan ja pientaloihin soveltuvia ratkaisuja. Asia olisi ollut toisin, mikäli tutkimustyön kohteena olisi ollut esimerkiksi puu- ja betonirakenteinen hybridikerrostalo. Tällöin olisi täytynyt käsitellä useampia erilaisia kiinnitysmekanismia sekä ainakin CLT-levyjen ja erilaisten teräsbetonirakenteiden liityntöjä.

Työssä tuodaan julki myös rakentamismääräyksien päivittämistarve muun muassa, CLT-ulkoseinän lämmöneristävyysvaatimukseen liittyen. Myöskään puurakenteiden suunnitteluohjeissa en törmännyt CLT-levyyn, sillä uutena materiaalina sitä ei ole vielä niissä huomioitu. Tämä on seikka, joka tulee korjata pikimmiten, sillä se estää jo nyt rakennesuunnittelijoita ja arkkitehteja perehtymästä CLT-rakenteen erilaisiin mahdollisuuksiin.

Koska CLT-levyihin liittyvää suomenkielistä tutkimusta on hyvin vähän, tämä julkaisu toimii mielestäni hyvänä oppaana perehdyttäessä CLT-rakentamisen perusteisiin. Tuotantoteknisesti opinnäyte antaa rakentajalle hyviä perusratkaisuja rakenteen käyttömahdollisuuksista. Uutena materiaalina CLT-rakenteesta riittää tutkittavaa. Suomalaisen tutkimuksen lisätarve on välttämätöntä CLT-rakenteen tunnetuksi tekemisessä. Opinnäytteen laatimisen aikana pääällimmäisiksi jatkotutkimusaiheiksi nousivat ”CLT-levyjen ääniteknisten ominaisuuksien kehittäminen” sekä ”CLT-rakenteen luomat uudet mahdollisuudet rakennesuunnittelulle”.

Opinnäytteeseen tehdyn tutkimuksen pohjalta voidaan lopuksi todeta, että CLT-rakentaminen uutena puurakentamisjärjestelmänä on mielenkiintoinen ja varteenotettava vaihtoehto nykyisille rakentamisjärjestelmille. Ekologisena ja työvoimakustannuksia säästävänä rakennusmateriaalina, CLT tulee tietoisuuden lisääntymisen myötä haastamaan markkinoita nykyään hallitsevat rakentamisjärjestelmät.



## LÄHTEET

- Digipolis Oy 2012a. Kiintopuuesitys. Osoitteessa <http://www.digipolis.fi/media/puu-rake/kiintopuu-esitys-10.8.12.pdf>. 19.9.2012.
- 2012b. Puurakentamisen Road Show 2012 -seminaarisarja. Puurakentaminen valtiovallannäkökulmasta. Osoitteessa <http://www.digipolis.fi/media/puu-rake/road-show-2012/2.-markku-karjalainen-tem-mso-roadshow2012.pdf>. 13.9.2012.
- FPIInnovations 2011. CLT Handbook. Cross-Laminated Timber. Québec: ISBN 978-0-86488-547-0
- Helamo, M. 2012. Sähköposti opinnäytetyön tilaajan edustajalta, koskien CLT-levyn hintoja 4.10.2012.
- Kakkonen, J. 2012. Sovelluslaskelmat jäykistävään CLT-elementtiseinään toteutettavasta tappivaarnaliitoksesta ja ruuviliitoksesta. Osoitteessa <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41307/Kakkonen%20Jussi.pdf?sequence=1>. 17.9.2012.
- KLH Massivholz GmbH PEFC 2009. Osoitteessa [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Nachhaltigkeit/PEFC\\_Zertifizierung/EN/KLH\\_PEFC\\_Zertifikat\\_dt..pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Nachhaltigkeit/PEFC_Zertifizierung/EN/KLH_PEFC_Zertifikat_dt..pdf). 20.9.2012.
- KLH Technical Characteristics. Osoitteessa <http://www.klhuk.com/media/29233/technical%20characteristics.pdf>. 31.10.2012.
- Korhonen, A. 2010. PES vauhdittamaan puukerrostalorakentamista. Rakennuslehti 10.6.2010. Osoitteessa <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/21736.html>. 13.10.2012.
- Kupiainen, J. 2012. Puukerrostalot houkuttavat asukkaita ja rakentajia. Rakennusmaailma 8/12.
- Martinsons Byggsystem AB. Massivträ Handboken 2006. Byggsiljum, Sweden 2006.
- Puuinfo 2011. CLT Ristiinliimattu massiivipuu. Osoitteessa <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>. 31.10.2012.
- Puuinfo 2012a. CLT-info. Osoitteessa <http://www.puuinfo.fi/tuotteet/clt-levy-cross-laminated-timber-ristiinliimattu-massiivipuulevy-runkovalipohja-ja-kattorakentamiseen>. 12.9.2012.

- 2012b. CLT-rakenteet suunnittelun näkökulmasta. Osoitteessa <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-roadshow-2012/CLT-rakenteiden%20suunnittelusta-23%202%202012.pdf>. 17.9.2012.
- 2012c. PuuSuomi-verkostohanke. Osoitteessa <http://www.puuinfo.fi/puusuomi>. 13.9.2012.
- 2012d. Puurakentamisen merkittävä puute poistuu. Alalle vihdoinkin yhtenäisen avoin standardi Osoitteessa <http://www.puuinfo.fi/ajankohtaista/puurakentamisen-merkittava-puute-poistuu-alalle-vihdoinkin-yhtenainen-avoin-standardi>. 13.10.2012.

Puuinfo, Woodfocus 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyden suunnitteluohje.

Rakennustieto 2010. RT 14-11016. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen runkotyöt.

SFS intec. Osoitteessa [http://www.sfsintec.biz/internet/SFS15.nsf/PageID/Timber\\_Work](http://www.sfsintec.biz/internet/SFS15.nsf/PageID/Timber_Work). 5.11.2012.

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, U. 1998. Puurakennusten suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Stora Enso Building Solutions 2012. Osoitteessa [http://www.storaenso.com/products/wood-products/products/buildingsystems/Documents/Stora%20Enso%20Building%20Solutions%20CLT\\_EN.pdf](http://www.storaenso.com/products/wood-products/products/buildingsystems/Documents/Stora%20Enso%20Building%20Solutions%20CLT_EN.pdf). 22.9.2012.

Stora Enso Wood Products 2011. Rakentamisen uusi aikakausi. Osoitteessa <http://www.eridomic.fi/pdf/StoraEnsoCLTfi.pdf>. 20.9.2012.

Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012. CLT-manuaali.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki 2007. ISBN 978-951-758-481-4.

Suomen ympäristökeskus 2011. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2011. Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa. Osoitteessa <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=134333&lan=fi>. 13.9.2012.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2011. CLT-rakenteiden rakennusfysiikallinen toimivuus. Tutkimusraportti Nro VTT-S-08847-11. 9.12.2011.

Ympäristöministeriö 1998. RakMk C1, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa.

Ympäristöministeriö 2010a. Puurakentamisen asema rakentamismääräyksissä. Työryhmän loppuraportti. Osoitteessa <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123032&lan=fi>. 13.9.2012.

– 2010b. RakMk C3, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten lämmöneristys.

Ympäristöministeriö 2011. RakMk E1, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.

Ympäristöministeriö 2012. RakMk D3, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus.

**LIITTEET**

Perustietoa CLT-levyistä	Liite 1
Massiivisen rakenteen ilmaääneneristävyys	Liite 2
Rakenne-ehdotuksia	Liite 3
Työmaakäynnin muistio (VillaRa, Vantaa)	Liite 4
CLT-levyn standardimittoja	Liite 5
SFS Intec WT-T-ruuvi	Liite 6
CLT-levyn liityntöjä ja liitoksia	Liite 7

## Perustietoa CLT-levyistä

# Perustietoa CLT-levyistä

CLT-LEVYN RAKENNE 2/2012

CLT-levyt koostuvat yksittäisistä puulevyistä, jotka on liimattu ristiin yhteen. Levyn maksimileveys on 2,95 m ja maksimipituus 16,00 m.

**Esimerkki: viisikerroksisen CLT-levyn rakenne**

Syrjäliimaus

Lapeliimaus


Lapteen suuntainen sormijatkos

Syrjäliimaus

Syrjäliimaus

maks. 16,00 m

maks. 2,95 m



storaenso

Lähde: Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012

# Perustietoa CLT-levyistä

CLT – RISTIINLIIMATTU PUULEVY

2/2012

## CLT - Yleistä

<b>Käyttö</b>	Pääasiassa asuin- ja muiden rakennusten seinät, välipohjat ja yläpohjat
<b>Maksimileveys</b>	2,95 m
<b>Maksimipituus</b>	16,00 m
<b>Maksimipaksuus</b>	40 cm
<b>Kerrosrakenne</b>	Ristiinliimatut puulevyt
<b>Puulaji</b>	Kuusi (mänty ja lehtikuusi tilauksesta)
<b>Lujuusluokka</b>	C24 (muut luokat tilauksesta)
<b>Kosteuspitoisuus</b>	11 % ± 2 %, näkyvä laatu 9 % ± 2 %
<b>Liima</b>	Syrjä-, sormijatkos- ja lapeliimauksiin käytetään formaldehydivapaita liimoja
<b>Pintalaadut</b>	Näkyvä ja ei-näkyvä laatu; pinta on aina hiottu
<b>Paino</b>	Rakenneanalyysit: 5,0 kN/m <sup>3</sup> (DIN 1055-1:2002), kuljetuspainon määrittely: noin 470 kg/m <sup>3</sup>

## CLT – teknisiä tietoja

<b>Mittavaihtelu kosteuspitoisuuden mukaan</b>	Laajenema ja kutistuma DIN 1052:2008 -standardin mukaisesti normaalkosteusolosuhteissa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pituus-/leveyssuunnassa: 0,02 prosenttia puun kosteuspitoisuuden muuttuessa yhden prosentin</li> <li>• Paksuudessa: 0,24 prosenttia puun kosteuspitoisuuden muuttuessa yhden prosentin</li> </ul>
<b>Paloluokitus, pintaluokka</b>	Euroopan komission päätöksen 2003/43/EY mukaisesti: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puulevyt pois lukien lattiat → Euroclass D-s2, d0</li> <li>• Lattiat → Euroclass Dfl-s1</li> </ul>
<b>Vesihöyryn diffuusiorestantssi <math>\mu</math></b>	EN 12524 -standardin mukaan → 20–50
<b>Lämmönläpäisykerroin <math>\lambda</math></b>	0,11 W/m <sup>2</sup> K (SP Sweden raportti 10.7.2009)
<b>Ominaislämpökapasiteetti, <math>c_p</math></b>	EN 12524 -standardin mukaan → 1600 J/(kgK)
<b>Ilmatiiviys</b>	CLT valmistetaan yksittäisistä levyistä, minkä ansiosta ilmatiiviys on erinomainen. 3-kerroksisen CLT-levyn ja sen puskusaumojen ilmatiiviys on testattu EN 12114 -standardin mukaisesti. Kokeessa todettiin ilmapuodon olevan niin pieni, ettei sitä pystytty mittaamaan.
<b>Käyttöluokat/käyttö</b>	Soveltuu EN 1995-1-1 -standardin mukaisiin käyttöluokkiin 1 ja 2



storaenso

Lähde: Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012

# Perustietoa CLT-levyistä

CLT-LEVYJEN PINTALUOKITUS

2/2012

Ote standardista EN 13017-1

Tuoteominaisuus	Laadut		
	A	B	C
<b>Liimaus</b>	Ei avoimia liimasaumojia	Avointa saumaa sallitaan $\leq 100$ mm/1 m liimasaumaa	
<b>Eri puulajien käyttö</b>	Ei sallita	Ei sallita; kuusen kohdalla sallitaan 10 % pihntaa	Sallitaan
<b>Ulkonäkö ja väri</b>	Tasainen väri ja pinta	Pääasiassa tasainen väri ja pinta	Ei spesifikaatioita
<b>Oksat</b>	Terveet ja kiinteät oksat, kuusi: sallittu läpimitta 40 mm, yksittäisten kuolleiden oksien sallittu läpimitta 60 mm	Terveet ja kiinteät oksat ja yksittäiset kuolleet oksat sallitaan	Sallitaan
<b>Paikat</b>	Oksareikien puupaikat sallittu	Sallitaan	Sallitaan
<b>Pihkakolot</b>	Satunnaiset kolot, maks. 3 x 40 mm, sallittu	Satunnaiset kolot, maks. 5 x 50 mm, sallittu	Sallitaan
<b>Korjatut pihkakolot</b>	Sallitaan	Sallitaan	Sallitaan
<b>Kaarnakolot</b>	Ei sallita	Satunnaiset kolot sallittuja	Sallitaan
<b>Halkeamat</b>	Satunnaiset pintahalkeamat sallitaan	Satunnaiset pintahalkeamat ja päätyhalkeamat (maks. 50 mm pitkä) sallitaan	Sallitaan
<b>Sydänpuu</b>	Sallitaan satunnaisesti, maks. 400 mm pitkä	Sallitaan	Sallitaan
<b>Lyly</b>	Satunnainen esiintyminen sallitaan	Sallitaan	Sallitaan
<b>Hyönteisvahingot</b>	Ei sallita	Ei sallita	Satunnaiset ei-aktiivisten toukkien pienet reiät sallitaan
<b>Värivika</b>	Ei sallita	Lievä värivika sallitaan	Sallitaan
<b>Laho</b>	Ei sallita	Ei sallita	Ei sallita
<b>Pintapuu</b>	Sallitaan kuudessa ja männyssä; lehtikuudessa sallitaan kapeat esiintymät, korkeintaan 20 % lamellin leveydestä	Sallitaan	Sallitaan
<b>Virheet pinnan viimeistelyssä</b>	Pieniä virheitä sallitaan rajoitetusti	Virheitä sallitaan rajoitetusti	Ei spesifikaatioita
<b>Syrjen ja päätyjen laatu</b>	Pieniä virheitä sallitaan rajoitetusti	Virheitä sallitaan rajoitetusti	Ei spesifikaatioita
<b>Yksittäisen lamellin leveys</b>	Vähintään 60 mm (ei koske reunalamellia)	Ei spesifikaatioita	Ei spesifikaatioita
<b>Lamellien sahaus</b>	Sahaus yhdensuuntainen	Sahaus yhdensuuntainen	Sahaus yhdensuuntainen tai kiilamainen



Lähde: Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012

Massiivisen rakenteen ilmaääneneristävyys.

$$R_{CLT} = 20 \lg (mf) - 49:$$

missä

$R$	on	CLT-rakenteen ilmaääneneristävyys [dB]
$m$	on	CLT-rakenteen massa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]
$f$	on	äänentaajuus [Hz]

CLT:n ominaistilavuuspainoksi on Stora Enson ”Rakentamisen ratkaisut” -  
manuaalin mukaan määriteltä  $512\text{kg}/\text{m}^3$ , puun kosteuspuitoisuuden ollessa 12 %.

sijoitetaan

$m_{CLT300}$	on	$512\text{kg} \cdot (1\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 0,3\text{m}) = 153,6 \text{ kg}/\text{m}^2$
$m_{CLT600}$	on	$512\text{kg} \cdot (1\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 0,6\text{m}) = 307,2 \text{ kg}/\text{m}^2$
$f$	on	500 [Hz]

saadaan

$R_{CLT300}$	on	$20 \lg (153,6 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot 500 \text{ Hz}) - 49 = \underline{48,7 \text{ dB}}$
$R_{CLT600}$	on	$20 \lg (307,2 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot 500 \text{ Hz}) - 49 = \underline{54,7 \text{ dB}}$

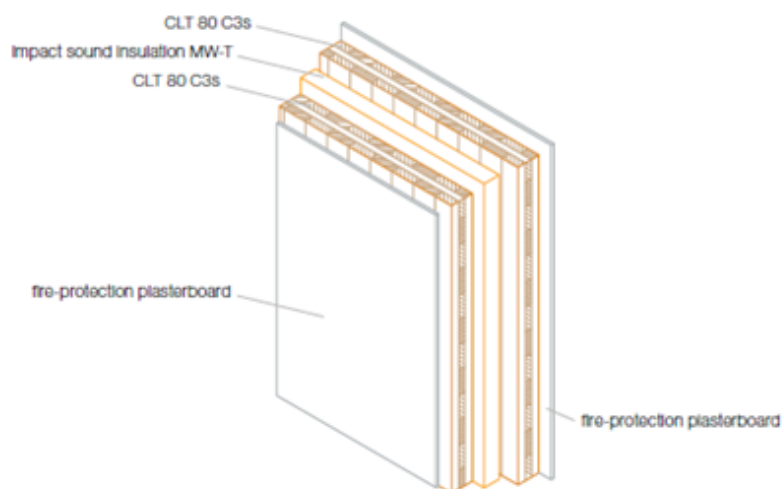
Lähde: Puuinfo, Woodfocus 2004, 18



Rakenne-ehdotuksia

Huoneistojen välinen seinä

### 3.10 Partition wall



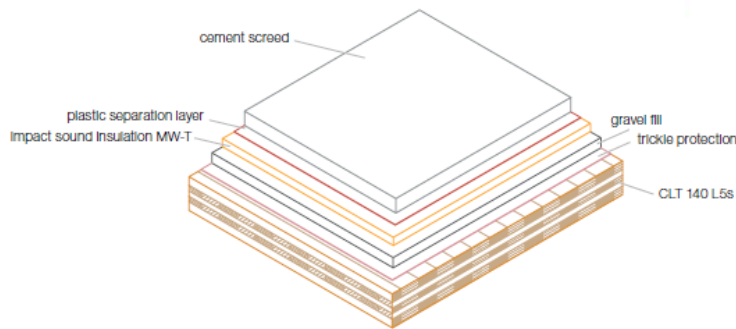
Component design					
Material	Thick. [cm]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\mu$	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Flamm. cat.
Fire-protection plasterboard	1.3	0.250		800	A2
CLT 80 C3s	8	0.110	50	470	D
Impact sound insulation MW-T	6	0.035	1	68	A1
Air gap	2				
CLT 80 C3s	8	0.110	50	470	D
Fire-protection plasterboard	1.3	0.250		800	A2

Structural-physical analysis							
Insul. thick. [cm]	Fire protection $i \rightarrow o$		Thermal performance			Acoustic performance	
	Fire resistance	Load [kN/m]	U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Permeability	Thermal mass $m_{w,B,A}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$L_{n,w}$
6	REI 90	35	0.27	adequate	39.4	60	
	EI 120						

Lähde: Stora Enso Building Solutions 2012, 245

Huoneistojen välinen välipohja

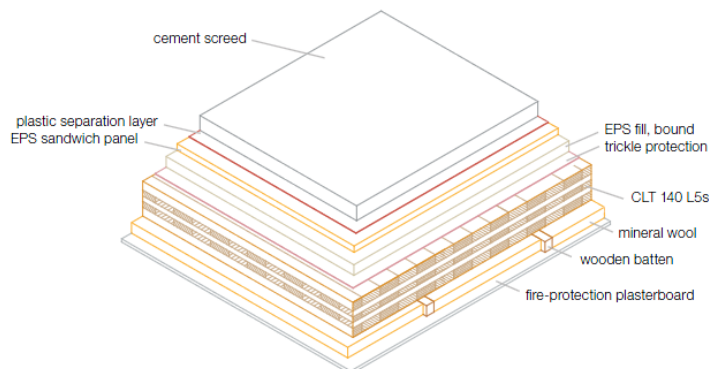
4.2 Floor slab



Component design					
Material	Thick. [cm]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\mu$	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Flamm. cat.
Cement screed	7	1.330	50-100	2,000	A1
Plastic separation layer		0.200	100,000	1,400	E
EPS sandwich panel	3	0.04	60	18	E
EPS fill, bound	5				
Trickle protection at joints		0.2	423	636	E
CLT 140 L5s	14	0.110	50	470	D
Fire-protection plasterboard	1.5	0.250		800	A2

Structural-physical analysis							
Insul. thick. [cm]	Fire protection I → o		Thermal performance			Acoustic performance	
	Fire resistance	Load [kN/m]	U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Permeability	Thermal mass $m_{w,B,A}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$L_{n,w}$
8	REI 90	5	0.35	adequate	Inner 37.7	56	59
					Outer 140.4		

4.3 Floor slab



Component design					
Material	Thick. [cm]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\mu$	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Flamm. cat.
Cement screed	7	1.330	50-100	2,000	A1
Plastic separation layer		0.200	100,000	1,400	E
EPS sandwich panel	3	0.04	60	18	E
EPS fill, bound	5				
Trickle protection at joints		0.2	423	636	E
CLT 140 L5s	14	0.110	50	470	D
Service cavity consisting of:					
Wooden battens 40/50, e = 62.5 cm	5	0.130	50	500	D
Mineral wool	5	0.035		18	A1
Fire-protection plasterboard	1.5	0.250		800	A2

Structural-physical analysis							
Insul. thick. [cm]	Fire protection I → o		Thermal performance			Acoustic performance	
	Fire resistance	Load [kN/m]	U-value [W/m <sup>2</sup> K]	Permeability	Thermal mass $m_{w,B,A}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_w$	$L_{n,w}$
8	REI 90	5	0.24	adequate	Inner 16.5	60	55
					Outer 140.4		

## TYÖMAAKÄYNTI

MUISTIO  
25.9.2012

### ”VillaRa - Suomen ensimmäinen rapattu CLT-talo”

#### AIKA

24.9.2012 klo 7:35 - 12:30

#### OSALLISTUJAT

Rakennuttaja Jani Rantanen (rak.ins) ja Jani Brännare (rak.ins.opiskelija)

#### RAKENNUTTAJAN TYÖKOKEMUS JA KOKEMUS CLT RAKENTAMISESTA

Rantanen on valmistunut rakennusinsinööriksi (AMK, rakennesuunnittelu) 1/2001. Hänen työhistoria on pääpiirteissään seuraavanlainen:

- Woodworld bungalow (pilari-palkki) moduulijärjestelmä (rak.suunnittelijana)
- Rak-systems (rakennesuunnittelija)
- Oma yritys, Instra oy (v.2002 ->, pää- ja rakennesuunnittelu)
- Herrala-talomyynti
- Storan CLT-projekti 8kk

CLT-rakentamiseen Rantanen on perehtynyt Stora Enson CLT kehitysprojektissa (8kk). Lisäksi kokemusta on kertynyt (tarkastelukohde ml.) kahden CLT –runkoisen talon rakentamisesta.

#### TAPAAMISEN TARKOITUS

Työmaakäynnin tarkoituksena oli tutustua rakenteilla olevan pientaloon ja CLT- rakentamiseen liittyviin seikkoihin. Päällimmäisinä olivat opinnäytteeni työsuunnitelmaan merkityt tehtävät:

- Selvittää toimivia ratkaisuja suomalaiseen rakennustapaan
- Selvittää elementoinnin ulottuvuudet ja periaatteet
- Liitoksiin ja liittimiin tutustuminen

#### TYÖMAAN VAIHE

Rakennuksen CLT-elementit olivat asennettu reilu viikko ennen vierailua. Elementtien asennuksen jälkeen oli asennettu ikkunat ja käsitelty CLT-levyjen pinnat saunasuojalla pintahalkeilun vähentämiseksi. Tämän jälkeen oli siirrytty yläpohjan alaslaskujen tekoon ja eristämiseen. Samoihin aikoihin olivat saapuneet ulkoseinän eristysvillat, joiden asennus oli vain vähän kesken.

#### TAPAAMISEN KULKU

Tapaaminen alkoi yleisesittelyllä kohteeseen. Kierroksen kesto venyi, sillä aina mielenkiintoiseen yksityiskohtaan törmätessä keskustelu lähti innostumisen myötä rönsyilemään. Kierroksen aikana tutustuttiin huonejärjestyksen lisäksi mm. ulkoseinän eristykseen, liitoksiin, liittimiin, levyjen käsittelyyn, portaiden toteuttamiseen, yläpohjan eristämiseen, ikkunoiden asennukseen, LVI- läpivienteihin ja roilotuksiin

(johtolinjojen uritus CLT-levyyn) sekä muutoksiin alkuperäisistä suunnitelmista. Kierroksen aikana otin kuvia mielenkiintoisista yksityiskohdista, minkä lisäksi Rantanen lupasi käyttää tarvittaessa opinnäytteessäni myös hänen laatimillaan Internet-sivuilla olevia kuvia ([www.omaankotiin.fi](http://www.omaankotiin.fi)). Sain myös muistoksi vierailustani CLT-levyjen kiinnitys- ja nostoruuvit.

Yleisesittelyn jälkeen siirryttiin työmaatoimistoon (asuntovaunu) keskustelemaan kierroksen aikana esiin tulleista asioista ja ryhdyttiin käsittelemään minun laatimia kysymyksiä CLT-rakentamisesta. Olin valmistellut kysymykset huomioiden opinnäytteen tavoitteet ja Rantanen Internet sivuista minulle heränneet ajatukset. Kysymykset ovat muiston liitteenä 2.

Kysymyksien käsittelyn jälkeen puhuttiin avoimesti aika paljon CLT:n tuotteistamisesta ja markkinoinnista. Tuotteistamisessa Rantanen painotti hyvän alun merkitystä uuden tuotteen markkinoinnissa. Laadin myös liitteen tapaamisen aikana esille tulleista havainnoista, jotka kannattaa huomioida CLT-rakentamisen yhteydessä (liite 3).

Tapaamisen lopuksi Rantanen lupasi auttaa opinnäytetyön laatimisen aikana nousevissa kysymyksissä. Sain myös luvan käyttää [www.omaankotiin.fi](http://www.omaankotiin.fi) Internet-sivuilta löytyvien kuvien lisäksi myös muuta aineistoa opinnäytteessäni. Hän lupasi myös lukea opinnäytetyöni läpi ja antaa tarvittaessa kehittämisideoita ennen sen palauttamista.

Tapaaminen oli minulle tarpeellinen. Esille tuli paljon CLT-rakentamiseen liittyviä yksityiskohtia ja toimintamalleja, joita en ollut aiemmin miettinyt ja jotka eivät ilman työmaakäyntiä olisi tulleet mieleenikään. Rantanen oli perehtynyt hyvin kyseiseen tuotteeseen ja on rakennuttajana mielestäni sisäistänyt CLT-rakenteen sisältämät realistiset mahdollisuudet. Käytännön kokemusta omaavana hän osasi kertoa, mikä on toteuttamiskelpoinen ratkaisu ja mikä ei.

Rakennustekniikan opiskelija

Jani Brännare

- LIITTEET
1. Perustiedot kohteesta, pohjapiirustus, julkisivut
  2. Rantaselle esitetyt kysymykset
  3. Havainnot CLT-rakentamisesta
  4. Plussat ja miinukset CLT-rakentamisessa

PERUSTIETOJA KOHTEESTA

Kohde:	Pulpettikattoinen kaksi kerroksinen omakotitalo (pientalo)
Osoite:	Onervantie 23, Vantaa
Energialuokka:	A, vähän kuluttava. Energiatehokkuusluku 129 (kWh/brm2)
Kerrosala:	1.krs = 68,5m <sup>2</sup> + 2.krs = 58,5 m <sup>2</sup> = Yht. 127 m <sup>2</sup>
Runkorakenne:	Asuinrakennus CLT-levy (talousrakennus kappale-tavara)
Julkisivu :	Rapattu lasivilla
Perustamistapa:	Paaluperustus, tb-sokkelipalkilla , tuulettuva alapohja. Sokkelin eristys ulkopuolella 200 mm EPS
Pohjatutkimus:	Tehty viikolla 26/2011. Rakennukset ehdotetaan perustettavaksi tuki- tai porapaalujen sekä kantavan alapohjan varaan. Alueella on kantohautoja metsänhakkuiden jäljiltä ja radon pitoisuutta ei mitattu. Lisäksi massanvaihtoperustamista ei suositella suuren kaivussyvyyden (n.1,5m...3m) ja lähellä olevan vanhan rakennuksen vuoksi.
Lämmitysjärjestelmä:	Sähkölämmitys + tehokas LTO
CLT-elementit:	Paksuudet; seinät 3 krs – 100 mm, katto 5krs – 120 mm, ala- ja välipohja 5 krs -140 mm.
Elementtien lkm:	Ap ja vp molemmat 4 kpl, 1 krs 6 kpl, 2 krs 11 kpl, katto 6 kpl ja autokatos 5 kpl
Rakenneosia:	Ala- ja välipohjan CLT-elementtien paksuudet olivat 140 mm (ei 120 mm).

ULKOSEINÄ 1. U-ARVO 0,118 W/m<sup>2</sup>K

OHUTRAPPAUS 10 mm  
ERISTE ISOVER FL 300 mm  
CLT LEVY 100 mm  
SISÄVERHOUS

YLÄPOHJA: (U-ARVO N. 0,072 W/m<sup>2</sup>K)

KERMI  
CLT 120 mm  
KOOLAUS/TUULETUSVÄLI 98 mm  
TUULENSUOJAVILLA 50 mm  
ERISTE 350 mm  
KOOLAUS + ERISTE 98 mm  
HÖYRYNSULKU  
KOOLAUS 48\*48, SISÄVERHOUS.

ALAPOHJA 1. U-ARVO 0,119 W/m<sup>2</sup>K

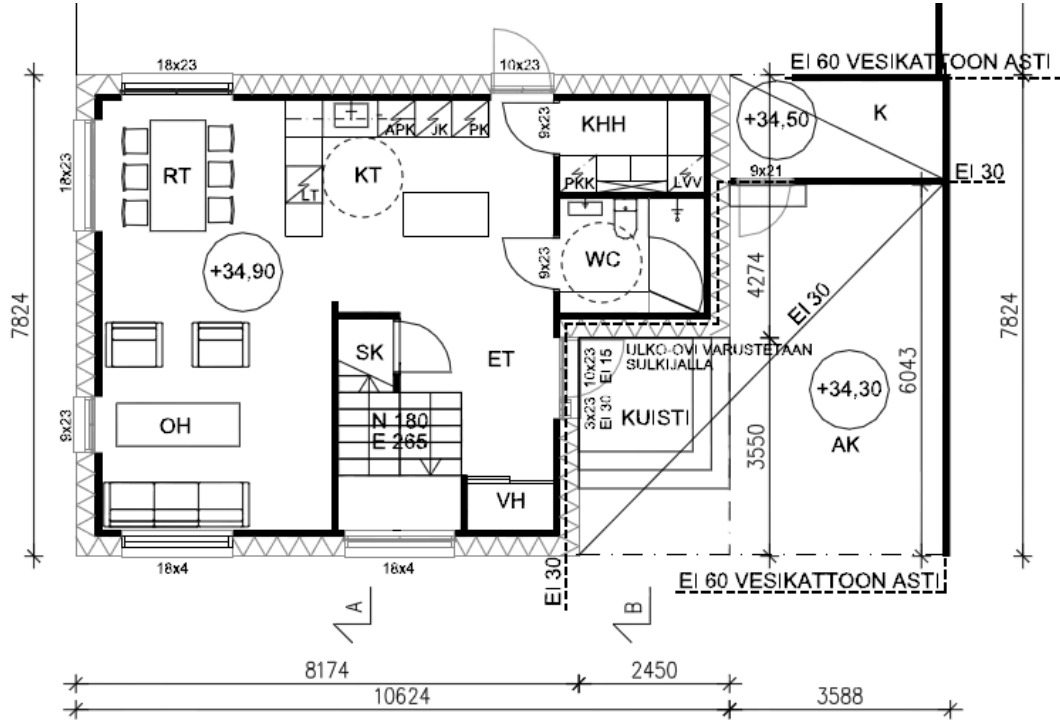
LATTIAPINNOITE  
CLT LEVY 120 mm  
ERISTE ISOVER OL-ET 260 mm  
TUULETTUVA ALATILA 800 mm  
SEPELI 200 mm  
SUODATINKANGAS  
PERUSMAA

VÄLIPOHJA 1.

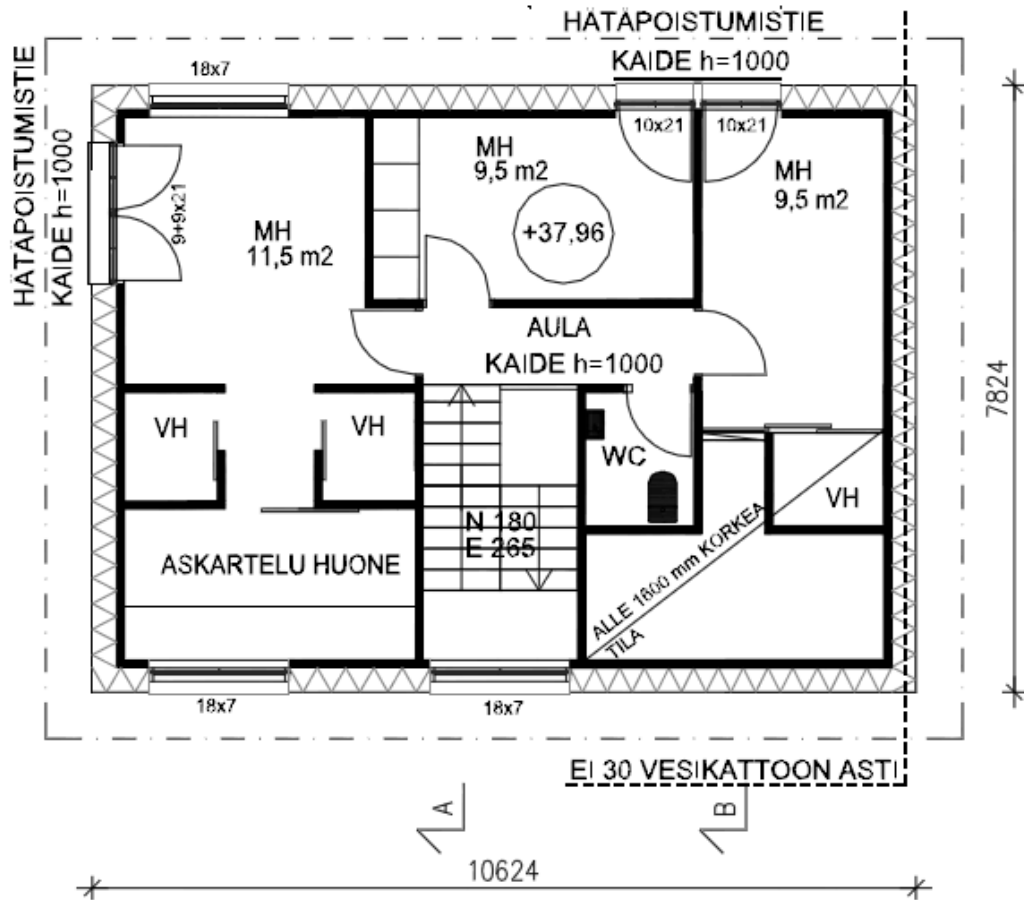
LATTIAPINNOITE  
CLT LEVY 120 mm  
ALASLASKETTU KATTO 200 mm  
SISÄVERHOUS

2. krs:n huonekorkeus on toisessa reunassa 1800 mm ja toisessa reilut 3000 mm. Huonekorkeutta on saatu lisää nostamalla korkean päädyn elementit pystyyn.

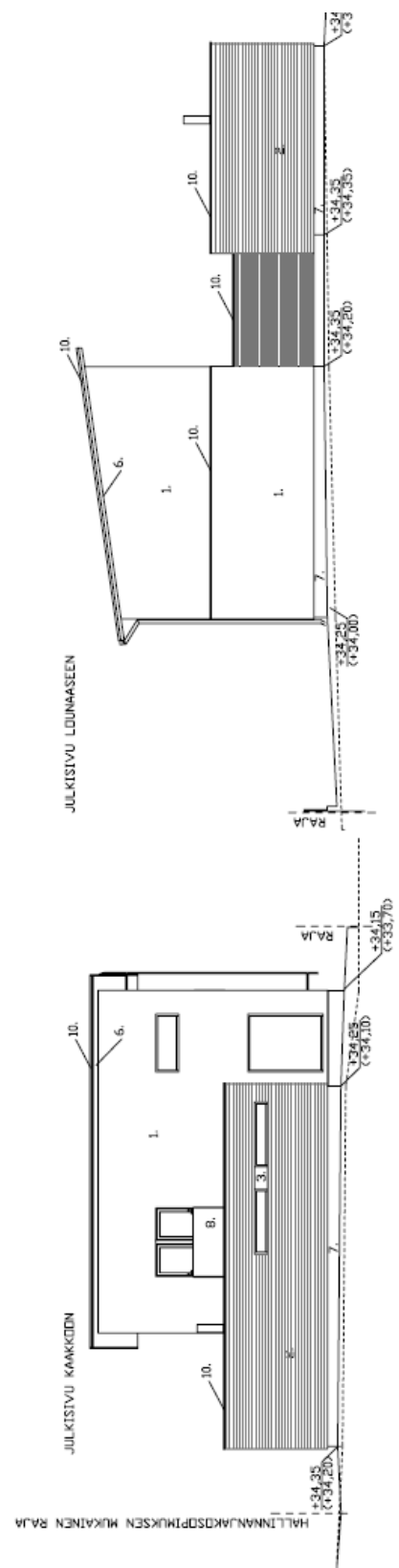
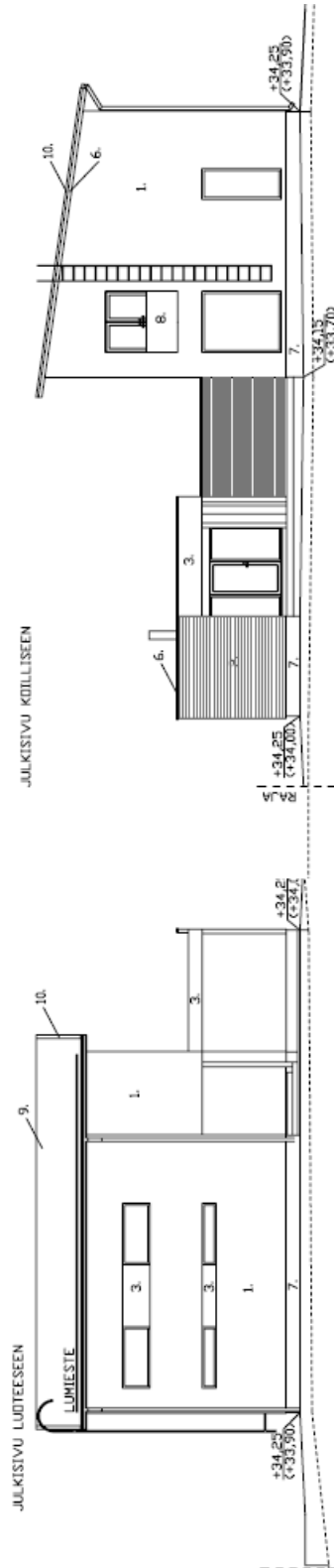
Alakerta:



Yläkerta:



Julkisivuja:



1. Miksi halusit rakentaa juuri CLT:stä ?

*"Oman projektin kautta. Alussa oma mielenkiinto sai kiinnostumaan CLT-rakenteesta. Sitten olin mukana mukaan Storan CLT projektissa, jossa mietittiin tuotetta pientalopuolelle ja nyt kehittelen omaa konseptia tuotteen (CLT) ympärille."*

#### ELEMENTIT, LIITOKSET, LIITTIMET JA ERIKOISTYÖKALUT

2. Onko liitokset toteutettu niin kuin omaankotiin.fi Internet-sivuilla olet esittänyt? Leikkaukset eivät ainakaan vastaa todellisuutta (mm. yläpohjan osalta)?

*"Lupakuvat ovat vanhoja. Yp:n eristys ja talousrakennus muuttuneet ja alun perin suunniteltu pystyasennus muuttui vaaka-asennukseksi. Talousrakennus tehtiin kappalestavarausta kustannussyistä. Pystyasennuksen muuttuminen vaaka-asennukseksi oli ehkä suunnitelman ja toteutuksen välinen suurin seikka."*

3. Mitä muutoksia asennuksen nopeuttamiseksi olisi tehtävissä?

*"Liitosdetaljit tulisi kehitellä uraratkaisuiksi ja turpoava saumanauha tulisi jättää pois. Nauhan sijasta tulisi käyttää esim. elastista saumamassaa. Kaksinkertainen saumanauha (vaaka-asennuksessa) aiheutti voimakkaan kitkan elementtien välille ja oli todella vaikea "liu'uttaa" elementit iholle. Käytännössä jouduttiin tekemään niin, että nosturilla piti keventää asennettavaa elementtiä niin, että toiselta puolelta lekalla lyömällä saatiin elementti liikkumaan. Tämä hidasti elementtien asennusta, sillä nosturi ei voinut lähteä kiinnittämään ja nostamaan uutta elementtiä ennen kuin edellinen oli paikoillaan. Lisäksi tulisi hankkia asennustyötä varten kunnan kevytelementtiset (alum.) 2kpl / elementti, nyt nosturi kannatteli elementtiä kunnes se kiinnitettiin."*

4. Miten asentajien asennoituminen pieneen toleranssiin onnistui?

*"Hyvä, oppimiskykyinen kirvesmies pystyy CLT:n asennustyöhön. Asentajien asennoituminen siihen, että 10 mm asennustoleranssi onkin 1 mm, vaatii pientä hienosäätöä asennoitumiseen. Ihan 1 mm sisään ei vielä päästy, mutta 2 mm sisään kylläkin. Tosin elementtien mitoissa oli tämä 2 mm heitto myös havaittavissa."*

5. Onko toleranssit asennuksessa liian pieniä ? +/- 1mm ?

*"2-3 mm pelivara tulisi olla ja huomioida seinäliitoksissa. Itse en alapohjan mitoituksessa pelivaraa huomannut huomioida. Seinäelementeissä oli jokaisessa 2-3 mm "varaus" joten alapohjasta tuli hieman liian leveä ja sitä jouduttiin leikkaamaan."*



6. Miten hyvin asennustoleransseihin päästiin?

*"Asennuksen jälkeen voidaan todeta että vaakasaumat ovat nolliassa, eli ns. iholla ja pystysaumamat 1..2 mm. Ikkunoiden kohdalla saumat ovat alle 1 mm paksuudella. Eli työstöt tehtaalla, asennustyö ja oma mitoitus onnistuivat hyvin."*

7. Millaisia erikoisliittimiä CLT:n asennuksessa käytit?

*"Kaikki liitokset tehty käytännössä ruuveilla ja kannattaakin tehdä. Alakerran elementeistä osa tuettiin alajuoksuun myös naulalevyillä. Kulmarautoja ei käytetty. Niitä tarvitaan, esim. mikäli CLT-elementit tulisivat tehtaalta ulkovuoren kera, silloin elementit olisi kiinnitettävä sisäpuolelta kulmarautoilla."*

8. Millaisia erikoistyökaluja tarvitaan CLT-elementtien liittämiseen?

*"Perinteisten työkalujen lisäksi "ramlaa" (räikkä) elementtien kiinnittämiseen ja paineilmapulttipyssyä nostoruuvien kiinnittämiseen."*

9. Olivatko jotkin liitokset tai liittimet vaikeita käyttää työmaalla, jos oli mikä olisi parempi ratkaisu? Ks. aikaisempi (saumanauhat + elementtien asennus).

*"Kannattaa miettiä liitoksissa ja niiden tiivistämiseen uraratkaisuja ja elastista saumamassaa. Välipohjien asennus onnistui hyvin, mutta seinät ei, saumanauhojen aiheuttaman kitkan vuoksi. Kannattaa miettiä yhtä saumatyyppiä / rakennus. Tässä kohteessa ei ole mitään pontteja tai uria, kaikki on suoraan puskuliitoksia, joissa elementit on kiinnitetty vino ruuvauksella."*

10. Nettisivuillasi luki että, "WC:hen ei tehdä kallistusvalua, vaan kallistukset toteutetaan valmiiksi CLT elementillä" - miten se toteutetaan?

*"Se jäi pois ja muutettiin se niin, että WC/pesuhuoneen kohdalla on CLT-laatasta syvennys kallistusvaluja varten. Alun perin WC:n kaadot oli tarkoitus teettää yhdelle lappeelle kallistetulla levyllä. Seinän viereen asennetaan kourukaivo (Unidrain)."*

## KUSTANNUKSET

11. Kun vertailee materiaalien hintoja / m<sup>2</sup>, niin tuleeko kustannukset kuinka paljon lähemmäksi toisiaan, kun työmenekki lasketaan mukaan? Eli voiko CLT-rakentamista puolustella halvempänä vaihtoehtona kuin perinteistä puurankaista taloa?

*"Kysymys on lähinnä siitä mihin haluaa tuotetta verrata ja tarvitseeo verrata? Kustannuksilla ei pysty kilpailemaan rankarakenteista puu-elementtiteollisuutta, eikä pitkää tavaraa vastaan. Mutta esimerkiksi muurattuun kivitaloon verrattuna tämä on jo kustannustehokas ratkaisu. Kustannuksissa tulee huomioida mukaan LVIS-töiden suorittamisen ja muutenkin koko paketin hinta – tämä on järkevää myös asiakkaan kannalta. Välttämättä pelkän rungon markkinointi ei kannata eikä anna loppukustannuksistaan oikeata kuvaa."*

#### PERUSTUKSET

12. Mitä perustuksissa on elementoinnin kannalta huomioitava?

*"Kaikki perustamistavat sopivat. Lähinnä huomiota kannattaa kiinnittää alapohjan, sokkellin ja eristyksen detaljeihin. Nykyään on tullut sokkellin ja alapohjan eristämisen uusia tuotteita kuten vaahtolasiharkko ja murske, niihin kannattaa tutustua."*

#### ÄÄNI

13. Miten olen varmentanut äänitekniset arvot tai huomioinut rakenteissa mm. askeläänieristyksen rakenteissa?

*"Ei ole tarvinnut miettiä, koska kaava ei niitä määrää, pois lukien lentomelualueella. Välipohjan päälle tulevan laminaatin / parketin alle tulevaan äänen eristyskerroksen materiaaliin tulee kiinnittää huomiota. Kokemukset osoittavat, että yli vuosi sitten Vantaalle rakennetussa toisessa CLT-kohteessa välipohjat ja lattiat kumahtelevat pahasti."*

#### LÄMPÖ + TIIVEYS

14. Onko taloon arvioitu ilmavaihtolukua per/tunti (passiivitalo 0,6 krt/h)?

*"On energiatodistuksessa se on juuri tuo 0,6 krt/h"*

15. Seinissä ei ole höyrynsulkua, mutta kattoon joudutte sen nyt laittamaan kun eriste tulee CLT-levyn sisäpuolelle, mitä höyrynsulkumuovia käytät ja miksi?

*"Käytetään Vario höyrynsulkua (ISOVER VARIO KM Duplex UV), jolla on omat etunsa. Vario päästää rakenteen kosteuden kuivumiseen sekä sisälle että ulospäin." Muovi liitetään CLT-rakenteisiin käyttäen turpoavia liimattavia tiivistysnauhoja, samoja nauhoja (Tremco) joita käytettiin elementtien välissä."*

16. Tiivistitkö elementtien saumat teipillä, ulkoa vai sisältä ?

*"En tiivistänyt ollenkaan. Luotan siihen, että tiiviit CLT -elementit ja niiden saumat riittävät."*

17. Onko sinusta väliä käyttääkö CLT:n kanssa lämmöneristeenä lasi- / puukuituvillaa (ekovillaa)?

*”Ei ole väliä, toinen on vain kalliimpaa, CLT:n kanssa ja oikeilla rakentamistavalla ei kosteutta pitäisi päästä syntymään. Lamelli lasivilla (300mm) valittu rappauksen takia, se tarttuu lujasti rakenteeseen PU-liimalla ja toimii samalla rappauksen kynsinä. Tulosvetokokeet osoittavat että rappaus pysyy lasivillassa. Käytetty eriste on Isover flo- lamellieriste, joka kiinnitetty uretaaniliimalla.”*

18. Mitä eristettä olet käyttänyt sokkelissa ja miksi?

*”Sokkelissa olen käyttänyt ulkopuolella 200 mm EPS:ää. Lämmöneristysominaisuudet ovat riittävät ja se on halvempaa kuin XPS.”*

## HAVAINTOJA

### Logistiikkaa

Elementit tuonut rekka lavoineen seisoi pihassa á 70€ / tunti, kun lastia purettiin. Pitäisi olla toimittajan puolelta joustavampi järjestely kustannusten pienentämiseksi. Esimerkiksi lavan tulisi voida jättää asiakkaalle ja nouto olisi sovittuna ajankohtana. Stora Enson manuaalissa on kirjattu, että kuljetusmaksu sisältää purkuaikaa 3 h, sen jälkeen 15 €/alkava 15 min.

Kuljetuskustannukset ovat huomattavat tehtaan sijainnin takia (Itävalta), 4000 – 5000 €, joka on levyjen hinnasta jopa yli 10 %.

### Markkinointi

Pelkän rungon markkinointi ei kannata vaan pitää markkinoida tuotetta (taloa) kokonaisuutena (palvelukonsepti-ajattelu). Lisäksi talotehtaille ”pitää” toimittaa valmis suunnittelutyökalu, joka helpottaa markkinointia – eli hyvä syy miksi juuri ko. rakennetta kannattaa alkaa valmistamaan.

### Kustannuksia

3- ja 5-kerroksisen levyn hintaero suuri. Siksi tuotteen miettiminen nykyisillä kustannuksilla massiivi rakenteena (esim. 300 mm paksuna) on ”haihatte-lua”.

Rantasen laskemia neliöhintoja: <http://www.omaankotiin.fi/rakenteiden-vertailu>

Alapohja:	CLT (5 krs 140mm)	91 € / m <sup>2</sup>
	Sahatavara	42 € / m <sup>2</sup>

Näkyvälaatu maksaa n. 15 €/m<sup>2</sup> enemmän kuin NVI.

### ”Passiivitalon” lämmityksestä:

- Hyvin eristetty talo ei vaadi raskaita lämmitysjärjestelmiä (ylilämmitys)
- Esim. lattialämmityksen ja iv:n yhteensovittaminen on ollut vaikeaa (kuuma/kylmä)
- Lämmityskausi pienenee passiivitaloissa, nykyäänkin lattia saa olla ”kylmä” kesäisin muttei talvella - miksi näin!

### Muuta lattialämmityksestä:

Lattialämmitystä kun ei tule, niin ei tarvitse tehdä valujakaan. Tällöin rakennuksen kuivuminen nopeutuu ja riskit rakennusajan kosteusvaurioille vähenevät. Lattiavalun CLT-kestää, mutta värähtelymitoitus tulee huomioida.

### Painumat

CLT-rakennus painuu kuormien ja kuivumisen vuoksi olemattoman vähän, mutta kuitenkin painuu. Onkin mietittävä missä vaiheessa ruuviliitokset tulisi kiinnittää? Kosteiden levyjen ruuviliitokset voivat jäädä kantamaan rakenteen kuivumisen myötä.

#### Suunnittelu ja elementointi

Suomessa vähän arkkitehteja ja rakennesuunnittelijoita, jotka ovat perehtyneet CLT-rakenteeseen. Tämä tulisivikin huomioida alan koulutuksessa, tosin sitä ei tapahdu ennen kuin järjestelmä yleistyy.

LVIS-suunnittelussa tulisi huomioida kaikkien suunnittelijoiden yhteistyö. CLT:n edut tiedostettava mm. kiinnitysten ja läpivientien osalta. Lisäksi mahdollisuus johtaa tuloilma 2. kerrokseen alakautta tulee huomioida IV-suunnittelussa.

Rakennesuunnittelussa CLT antaa uusia mahdollisuuksia arkkitehdeille ja suunnittelijoille. Välipohja voidaan muun muassa tukea yläpuoliseen kantavaan CLT-seinään, jolloin alapuolista tuentaa ei tarvita.

Tiiveyden saavuttamisessa tuotteita tärkeämmiksi ovat muodostumassa rakennedetailit ja työn toteutus. On vielä tätä päivää, että höyrynsulkumuovisaumoja ei teipata puuelementtien saumoissa ja välipohjan kohdalla seinien höyrynsulkumuovit eivät kohtaa.

Nostamalla elementit pystyyn saadaan tarvittaessa lisää huonekorkeutta

Mikäli elementoinnin suorittaa pystyasennuksena voitaisiin välipohjat asentaa mihin tahansa korkoon. Lisäksi olisi helppo asettaa pystyssä olevat levyt korokepaloilla tai pulteilla oikeaan korkeusasemaan, eli välipohjan ja 2.krs:n elementtien kanssa ei tarvitsisi "mallailia" mitään. Mikäli asennuksen aikana olisi vesisade, pystyasennuksena välipohjaelementit eivät joutuisi niin pitkään suoraan vedenvaikutuksen alle.

Suunnittelussa ei tule hylätä yhdistelyä muihin rakenteisiin (esim. kappaletavara tai betonirakenteet), vaan ajattelun täytyy olla avointa.

Perustuksien ja CLT-levyjen tasaamisessa kannattaa käyttää esimerkiksi "pulttitasausta". Asennetaan sokkeliin pultit joiden päässä levyt, jotka kannattelevat CLT-levyä. Pultteja kiertämällä asetetaan levyt "vaateriin" ja oikeaan asennuskorkeuteen. Tämän jälkeen mahdollinen rako levyn ja perusmuurin välillä valetaan umpeen tai eristetään jollain muulla tavalla.

**PLUSSIA (+)**

- + Rakennuksien tiivistys tapahtuu pelkästään CLT-levyillä, voidaan päästä passiivitalon vaatimuksiin. (ilmavuotoluku alle 0,6 krt/h)
- + CLT massiivipuulevyt ovat ilmatiiviitä rakenneosia joiden ilmatiiveyteen eivät seinille tehtävät kiinnitykset ja työnaikaiset kolhut vaikuta.
- + Puulevyt toimivat kantavina ja jäykistävinä rakenteina.
- + Samalla ne voivat olla valmiita sisäpintoja ja toimivat kiinnitysalustana LVIS tekniikalle, kalusteille, ikkunoille ja oville -> työmenekin säästö.
- + Rakenteiden eristepaksuus voidaan valita rakenteen U-arvo tavoitteiden mukaisesti
- + Yhtenäinen eristyskerros ilman kylmäsiltoja on helppo toteuttaa alapohjaan, ulkoseiniin ja yläpohjaan.
- + Ulkoverhous voi olla puuta, kiveä tai tiiltä. = YHDISTELTÄVYYYS
- + Massiivipuurunko mahdollistaa perinteisistä rakenneratkaisuista poikkeavat rakenteet ja sitä kautta uusia mahdollisuuksia pientalojen arkkitehtuuriin.
- + Ulokkeet ja rakenteiden ripustamiset on helppo toteuttaa. (ks. edellinen kohta)
- + Rakentaminen voi olla paikanpäällä rakentamista, tai sitten CLT elementteihin voidaan lisätä eristeet, ulkoverhous ja sisäpinnat sähköputkituksineen valmiiksi talotoimittajan toimesta.
- + Valaistuksessa pyritään epäsuoraan valoon käyttämällä CLT levyjen uritusmahdollisuutta hyväksi, sekä käyttämällä erilaisia valolistoja ohjaamaan ja himmentämään led valoista tulevaa valoa.

**MIINUKSIA ( - )**

- Asennuksen jälkeen elementit suojattava heti auringonvalolta kutistumishalkeamien minimoimiseksi (erityisesti näkyvälaatu)
- Elementit, niiden päät sekä läpivientien poraukset on käsiteltävä esim. saunasuojalla kutistumishalkeilun välttämiseksi.
- Halkeilu. Kokemusten perusteella mm. VillaRa:n sisäpintoja ei uskallettu jättää CLT pinnalle (levyt eivät näkyvää laatua).
- Halkeilu muodostaa kovia pamauksia, varsinkin ensimmäisenä vuotena
- Melko kallis tuote, ja varsinkin näkyvänä.
- Äänimaailmaa markkinoidaan miellyttävänä, mutta siitä ei voida olla vakuuttuneita.

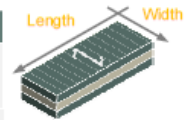
CLT-levyn standardimittoja

# Product information

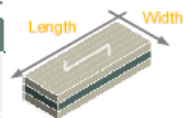
CLT STANDARD DESIGNS

04/2012

C panels									
Nominal thickness [mm]	Designation [—]	Layers [—]	Lamella structure [mm]						
			C	L	C	L	C	L	C
60	C3s	3	20	20	20				
80	C3s	3	30	20	30				
90	C3s	3	30	30	30				
100	C3s	3	30	40	30				
120	C3s	3	40	40	40				
100	C5s	5	20	20	20	20	20		
120	C5s	5	30	20	20	20	30		
140	C5s	5	40	20	20	20	40		
160	C5s	5	40	20	40	20	40		



L panels									
Nominal thickness [mm]	Designation [—]	Layers [—]	Lamella structure [mm]						
			L	C	L	C	L	C	L
60	L3s	3	20	20	20				
80	L3s	3	30	20	30				
90	L3s	3	30	30	30				
100	L3s	3	30	40	30				
120	L3s	3	40	40	40				
100	L5s	5	20	20	20	20	20		
120	L5s	5	30	20	20	20	30		
140	L5s	5	40	20	20	20	40		
160	L5s	5	40	20	40	20	40		
180	L5s	5	40	30	40	30	40		
200	L5s	5	40	40	40	40	40		
160	L5s-2*	5	60	40	60				
180	L7s	7	30	20	30	20	30	20	30
200	L7s	7	20	40	20	40	20	40	20
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
220	L7s-2*	7	60	30	40	30	60		
240	L7s-2*	7	80	20	40	20	80		
260	L7s-2*	7	80	30	40	30	80		
280	L7s-2*	7	80	40	40	40	80		
300	L8s-2**	8	80	30	80	30	80		
320	L8s-2**	8	80	40	80	40	80		



\* Cover layers consisting of 2 lengthwise layers  
\*\* Cover layers and inner layer consisting of 2 lengthwise layers

Status: 04/2012

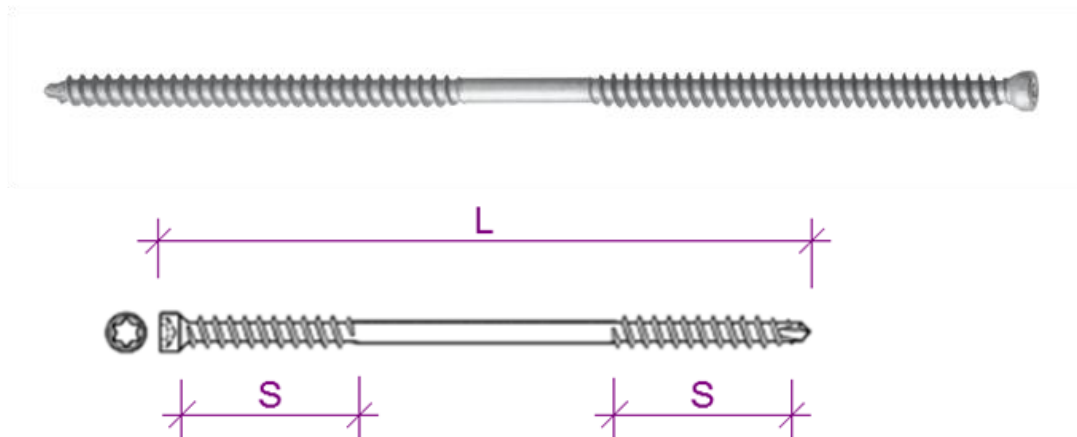
Width (Charged widths): 245 cm, 275 cm, 295 cm  
Length (Production lengths): From minimum production length of 8.00 m per charged width up to max. 16.00 m (in 10 cm increments).



storaenso

Lähde: Stora Enso Building Solutions 2012, 5

SFS Intecin WT-T-ruuvi



	Kierteen- pituus		Pakkausko- ko
	L	S	
WT-T-6,5 x	65	28	100
WT-T-6,5 x	90	40	100
WT-T-6,5 x	130	40	100
WT-T-6,5 x	160	65	100
WT-T-6,5 x	190	80	100
WT-T-6,5 x	220	95	100

	Kierteen- pituus		Pakkausko- ko
	L	S	
WT-T-8,2 x	160	65	100
WT-T-8,2 x	190	80	100
WT-T-8,2 x	220	95	100
WT-T-8,2 x	245	107	100
WT-T-8,2 x	300	135	50

**WT-T-6,5 x puuruuvi**

**Materiaali**

Karkaistu hiiliteräs SIS 1370. Durocoat pinnoite (KLA).

**Käyttöalue**

Puuosien ja rakennuselementtien kiinnitykset, lattia- , seinä- ja kattorakenteet sekä julkisivurakenteet.

**WT-T-8,2 x puuruuvi**

**Materiaali**

Karkaistu hiiliteräs SIS 1370. Durocoat pinnoite (KLA).

**Käyttöalue**

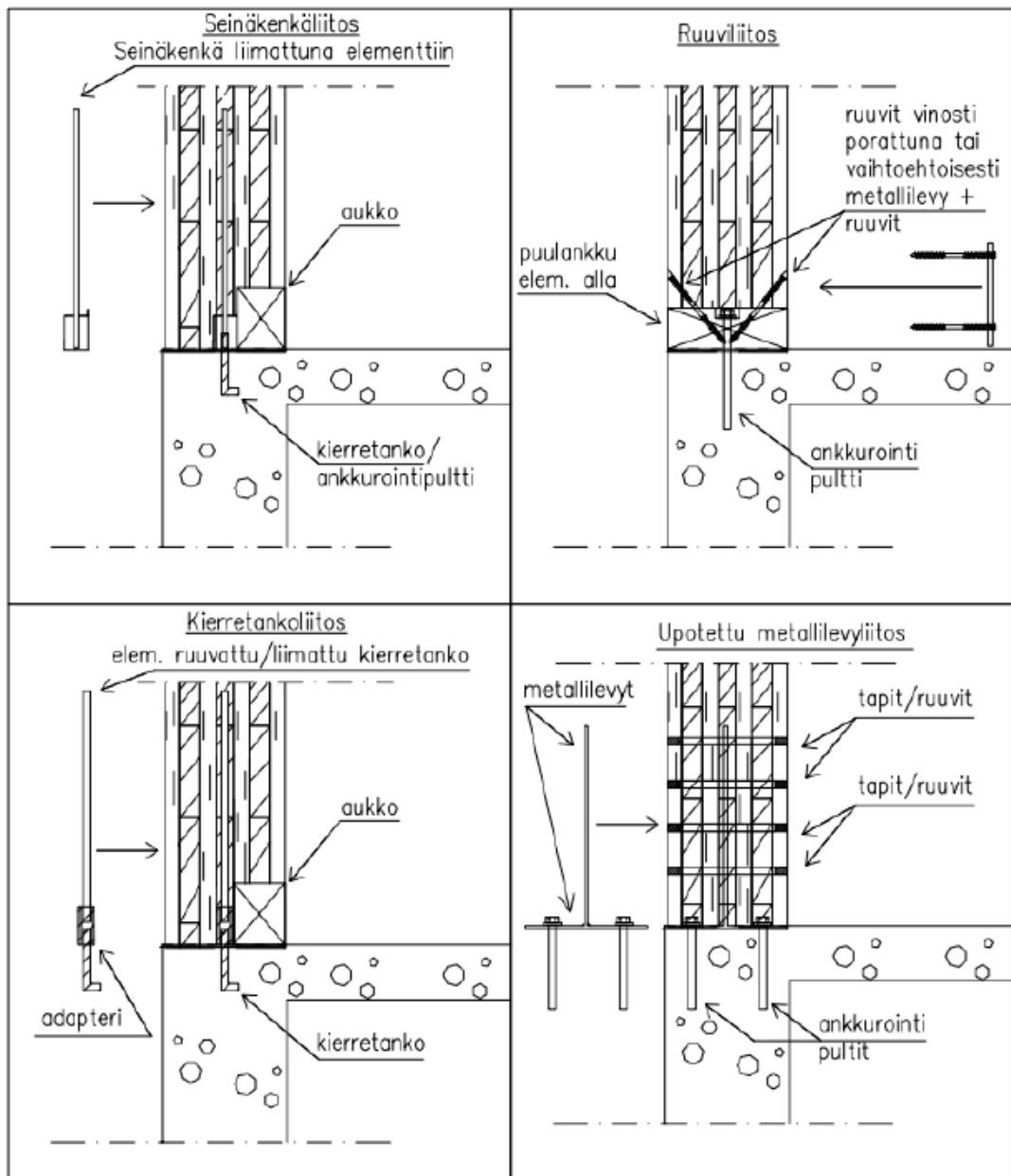
Puuosien kiinnitykset, orret ja kannatinpalkit, jatko- ja tukiliitokset sekä vahvistukset. Ruuvin porakärki estää tehokkaasti puun halkeamisen kiinnitysvaiheessa.

Lähde: SFS intec. Osoitteessa

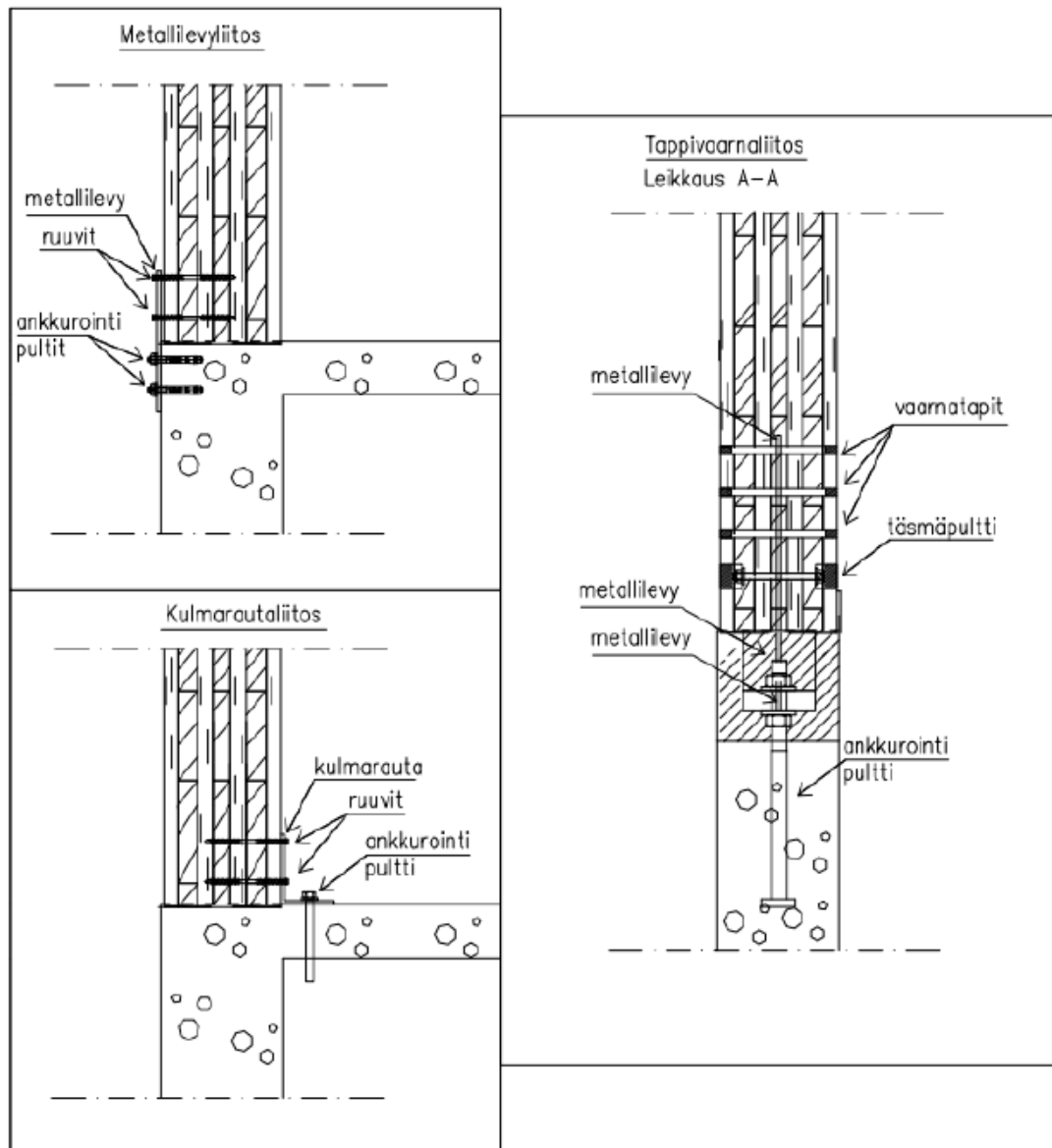
[http://www.sfsintec.biz/internet/SFS15.nsf/PageID/Timber\\_Work](http://www.sfsintec.biz/internet/SFS15.nsf/PageID/Timber_Work). 5.11.2012



CLT-levyn liityntöjä ja liitoksia



Lähde: Kakkonen 2012, liite 2



Lähde: Kakkonen 2012, liite 2

