

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Joonas Valtonen
Ville-Petteri Horttanainen

CLT-SANDWICH-ELEMENTTI PIENTALORAKENTAMISESSA SUO-
MESSA

Opinnäytetyö

Marraskuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Kuukausi 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 6800

Tekijät

Ville-Petteri Horttanainen, Joonas Valtonen

Nimeke

CLT-sandwich-elementti pientalorakentamisessa Suomessa

Toimeksiantaja

Thinkwood Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Thinkwood Oy:lle. Yritys on kehittänyt uudenlaisen CLT-seinäelementtirakenteen. Elementti toimisi betonirakentamisessa käytettyjen sandwich-elementtien tapaan. Ennen elementin käyttöönottoa yritys halusi varmistaa rakenteen toimivuuden sekä selvittää rakenteen kilpailukyvyn. Tutkimus jaettiin kahteen eri opinnäytetyöhön, joista toinen keskittyy rakennusfyysikkalliseen toimivuuteen ja toinen rakenteelliseen kestävyysvarmistamiseen sekä rakennuskustannuksiin. Tämä opinnäytetyö keskittyy kahteen jälkimmäiseen aiheeseen.

Aikaisemmin mainittujen asioiden lisäksi opinnäytetyö sisältää detaljien suunnittelun, koristeuritusten käytön CLT-elementtiseinässä ja CLT:n valmistuksessa syntyvien hukkapalojen hyödyntämisen.

Opinnäytetyössä käytettiin mallitaloa, josta saatiin rakenteille mitat. Mallitaloon rakennepiirroksia tehdessä rakenteen kiinnitysten ongelmakohtat saatiin selville. Näihin ongelmiin opinnäytetyössä pyrittiin antamaan ratkaisuehdotuksia. Mallitalon pohjalta tehtiin kustannusvertailu kehityksen kohteena olevan elementtiseinän ja kahden muun vaihtoehdon kanssa.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin, että CLT-sandwich-elementillä on mahdollisuuksia kilpailla pientaloissa käytetyn puurankarakentamisen kanssa. Rakennetta ei voida kuitenkaan toteuttaa nykyisellään täysin tilaajan toiveiden mukaisesti. Saatuja ratkaisuehdotuksia voi käyttää hyödyksi rakenteen jatkokehityksessä.

Kieli
suomi

Sivuja 67
Liitteet 6
Liitesivumäärä 57

Asiasanat

CLT, sandwich-elementti, pientalorakentaminen, rakentamiskustannukset



THESIS
November 2016
Construction engineering
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
(013) 260 6800

Authors
Ville-Petteri Horttanainen, Joonas Valtonen

Title
Use of CLT-sandwich-wall element on detached houses in Finland

Commissioned by
Thinkwood Oy

Abstract

This thesis was commissioned by Thinkwood Ltd, a construction company based in Joensuu, which had had developed a new type of CLT wall element structure. This structure can be used in a similar fashion to sandwich elements used in concrete construction. Before introducing the CLT element, the company wanted to ensure performance of the structure and explore competitiveness of the structure. The research was divided into two separate theses. This thesis focuses on the element's structural analysis and building costs and the other one on structural physics of the CLT element.

In addition to structural analysis of the CLT element and building costs, this thesis introduces the planning of the details for the structure, use of decoration corrugations in a CLT walls, use of waste wood left over from CLT manufacturing.

A model house was used in thesis, which provided the needed measurements for the structures. As details were being drawn, it was possible to detect problems with fittings and, consequently, provide solutions to these problems. Based on the model house a cost comparison between the CLT element wall and two alternative structures was also made.

The results showed that CLT sandwich wall element has possibilities to compete price with wooden frame constructions frequently used in single-family houses. However, the structure cannot currently be executed as the commissioner would have hoped. Solutions introduced in this thesis can be used to develop the CLT structure further.

Language
Finnish

Pages 67
Appendices 6
Pages of Appendices 57

Keywords
CLT, sandwich element, building single-family houses, building costs

Sisällysluettelo

Käsitteet.....	6
1 Johdanto	8
1.1 Tausta.....	8
1.2 Tutkimusongelmat ja aiheen rajaus	8
1.3 Tilaajan visio	8
2 Tutkimusmenetelmät.....	9
2.1 Rakennelaskelmien menetelmät.....	11
2.1.1 Kuormat	11
2.1.2 Lähtöarvojen syöttö Stora Enson laskuriin	11
2.2 Kustannukset	13
2.3.1 Kustannuslaskennan periaatteet.....	13
2.3.2 Rakentamisaika	16
2.4 Rakennedetaljiikan suunnittelun menetelmät.....	18
3 CLT rakennusmateriaalina	19
3.1 Ristiinliimattu massiivipuu	19
3.2 CLT:n valmistusprosessi.....	20
3.3 Teknisiä tietoja	21
3.4 Laatu- ja pintaluokittelu	21
3.5 Yleisimmät käytössä olevat CLT-seinäratkaisut.....	22
3.6 Hukkapalat.....	23
4 Tulokset ja ratkaisuehdotukset.....	24
4.1 Rakennelaskelmat	24
4.1.1 Stora Enson CLTengineering-laskurin tulokset.....	26
4.1.2 Nurjahduskestävyyden käsinlaskujen tulokset	27
4.1.3 Tukipainekestävyys.....	29
4.2 Sandwich-elementin toteutus.....	29
4.2.1 CLT-eriste-CLT-elementin toteutus.....	29
4.2.2 CLT-eriste-ulkoverhous-elementin toteutus	32
4.2.3 Seinäelementin kasaus pystytysvalmiiksi tehtaalla	33
4.3 Nurkkaliitosratkaisut.....	34
4.4 Yläpohjaliitos.....	37
4.4.1 Yläpohjaratkaisu CLT-eriste-CLT seinälle.....	38
4.4.2 Yläpohjaratkaisu CLT-eriste ei kantavalla ulkoverhouksella	39
4.5 Alapohjaliitokset.....	40
4.5.1 Alapohjaliitokset, vaihtoehto 1	40
4.5.2 Alapohjaliitokset, vaihtoehto 2	42
4.5.3 Alapohjaliitokset, vaihtoehto 3	43
4.6 CLT-elementin jatkokset	45
4.7 Kustannuslaskennan tulokset ja vertailut rakennetyypit	46
4.7.1 Puurankarunkoinen ulkoseinä.....	46
4.7.2 CLT-eriste-ulkoverhous-ulkoseinä	48
4.7.3 CLT-eriste-CLT-ulkoseinä.....	51
5 Analyysi	54
5.1 Rakennelaskelmien analysointi.....	54
5.1.1 CLTengineering-laskurin tulosten analysointi.....	54
5.1.2 Käsinlaskujen analysointi.....	55
5.2 Liitosdetaljit	56
5.2.1 CLT-sandwich-elementtiseinän toteutus	56
5.2.2 Nurkkaliitokset.....	57
5.2.3 Yläpohja.....	58

5.2.4 Alapohja.....	58
5.3 Kustannuslaskenta.....	59
6 Pohdinta.....	61
Lähteet.....	65

Liitteet

Liite 1. Mittapiirrokset

Liite 2. Stora Enson CLT:n hintatiedot

Liite 3. Rakennelaskelmat

Liite 4. Klara Net -laskelmat

Liite 5. Stora Enso CLTengineering-tulokset

Liite 6. Seinävaihtoehtojen U-arvot

Käsitteet

CLT. Cross Laminated Timber eli ristiinliimattu puulevy.

Detalji. Rakenteen tarkka yksityiskohta.

Frekvenssi. Taajuus, kuvaa jonkin tapahtuman toistoja aikayksikköä kohti. Taajuuden yksikkö on 1/s, joka on nimeltään hertsi.

Hankintakustannukset. Rakennuskustannuksiin sisältyvät kustannukset, jotka tulevat esimerkiksi nostureiden, telineiden tai muun vastaavan työssä tarvittavan kaluston hankinnasta.

Käyttöaste. Kertoo kuinka suuren osuuden rasitus vie materiaalin kapasiteetista.

Käyttöluokka 1. Materiaali pysyy käyttökohteessaan noin 20 C°:ssa ja kosteus sen nousee yli 65 %:iin muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokkaan 1 kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa. Käyttöluokkaan 1 voidaan yleensä lukea myös lämpöeristekerroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisällä.

Käyttöluokka 2. Materiaali pysyy käyttökohteessaan noin 20 C:ssa° ja kosteus nousee yli 85 %:iin muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenne. Rakenteen tulee olla katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattu.

Käyttöluokka 3. Käyttöluokkaan 3 kuuluu ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena oleva puurakenne.

Nurjahdus. Rakenteen suuri poikittaisliike kuormituksen suuntaan nähden.

Rakennusfysiikka. Rakennuksen tai rakenteen lämpö- ja kosteustekninen sekä akustinen toiminta.

Rakenteellinen kestävyys. Rakenteen lujuusopillinen kestävyys

T3. Tavoitteellinen työmenekki. Ei sisällä yli tunnin kestäviä häiriöitä tai katkoja työnteossa.

T4. Työvaihe aika, jota voidaan käyttää aikataulujen laatimisessa.

TL3. Lisäaikakerroin, jolla otetaan huomioon keskeytykset ja muut mahdolliset katkot työnteossa.

Tth. Työmenekin yksikkö. Tarkoittaa työntekijän yhden työtunnin aikana tekemä työ.

Tukipainekestävyys. Kertoo käyttöasteen tavoin, kuinka paljon rakenne kestää puristusta kohtisuoraan puun syitä vasten ennen kasaan painumista.

UTV. Ulkoverhouspaneeli

Vaikeuskerroin. Kerroin, joka kuvaa rakennuskohteen vaikeutta. Vaikuttaa työn keston ja sitä kautta kustannuksiin.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää toimeksiantajan kehittämän CLT-ulkoseinäelementin rakenteellista toimivuutta ja sen mahdollista kaupallista soveltuvuutta Suomessa. Opinnäytetyössä päädyttiin valitsemaan Stora Enso CLT-toimittajaksi ja käyttämään heidän hintatietojaan. Opinnäytetyössä tutkitaan elementtiä rakenteellisen kestävyuden, liitos- ja rakennedetaljiikan sekä kustannusten kautta. Tutkimusongelman ollessa laaja, se jaettiin kahteen opinnäytetyöhön, joista ensimmäinen keskittyy rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan. Toisessa opinnäytetyössä keskitytään rakenteen rakenteelliseen toimintaan ja elementin liitosdetaljeihin sekä rakenteen kilpailukyvyn selvittämiseen. Tämä opinnäytetyö käsittelee jälkimmäisiä tutkimusongelmia.

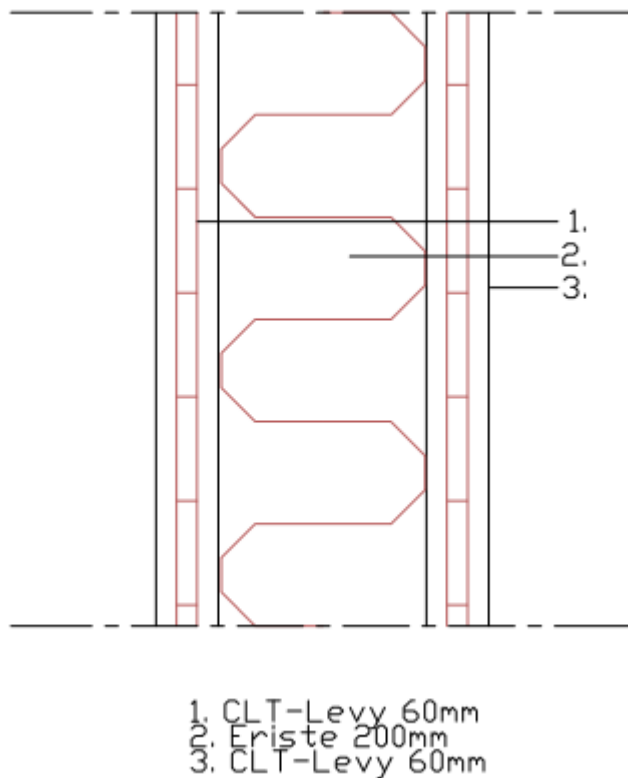
1.2 Tutkimusongelmat ja aiheen rajaus

Rakenteesta täytyi saada selville, onko se Suomen rakennusmääräysten mukainen. Näin ollen oli tutkittava rakenteen lujuusopillista kestävyyttä, paloturvallisuutta, mahdollista koristeuritusten lisäystä kantavaan CLT-levyyn ja lämmöneristävyyden selvittämisen. CLT:n paloturvallisuuteen ei kuitenkaan keskitytty sen enempää, koska opinnäytetyö käsittelee ainoastaan pientalorakentamista. Pientaloissa paloluokka on P3, mikä tarkoittaa, ettei kantaville rakenteille ole palonkestovaatimuksia (ympäristöministeriö 2002, 9–10). CLT-sandwich-elementin ollessa uusi rakenne myös liitosdetaljiikka täytyi suunnitella tarkkaan. Liitoksiin pyrittiin antamaan ratkaisuehdotuksia. CLT-elementtiseinän kilpailukykyä verrattiin tavanomaiseen puurankarakenteeseen ulkoseinään. Lisäksi toimeksiantaja pyysi tutkimuksessa selvittämään CLT:n valmistuksessa jääville hukkapaloille järkeviä käyttökohteita. Tutkimusongelman ollessa laaja, opinnäytetyön painottuu tutkimaan rakenteen toiminnallisuutta Suomen olosuhteissa sekä sen markkinapotentiaalia Suomessa.

1.3 Tilaajan visio

Tutkimuksen kohteena oleva rakenne muistuttaa rakenteeltaan betonirakentamisesta tuttua sandwich-elementtiä. Elementti koostuu kahdesta 60 mm pak-

susta CLT-levystä, joiden väliin asetetaan 200 mm eristettä (kuva 1). Sekä sisimmäinen että ulommainen CLT-elementti on ajateltu kantavaksi. Tämä mahdollistaisi ohuen CLT-levyn käytön. Ajatuksena on toteuttaa rakenne ilman erillistä höyrynsulkumuovia, koska CLT toimii höyrynsulkuna. Toisin kuin perinteisessä CLT-rakentamisessa, tässä mallissa CLT-levyt olisi tarkoitus jättää näkyviin säälle alttiiksi ulkopuolelta. Rakennuksen sisä- ja ulkopuoli jäävät CLT-pintaiseksi, joten kiinnityksistä aiheutuvat jäljet täytyy suunnitella piiloon.

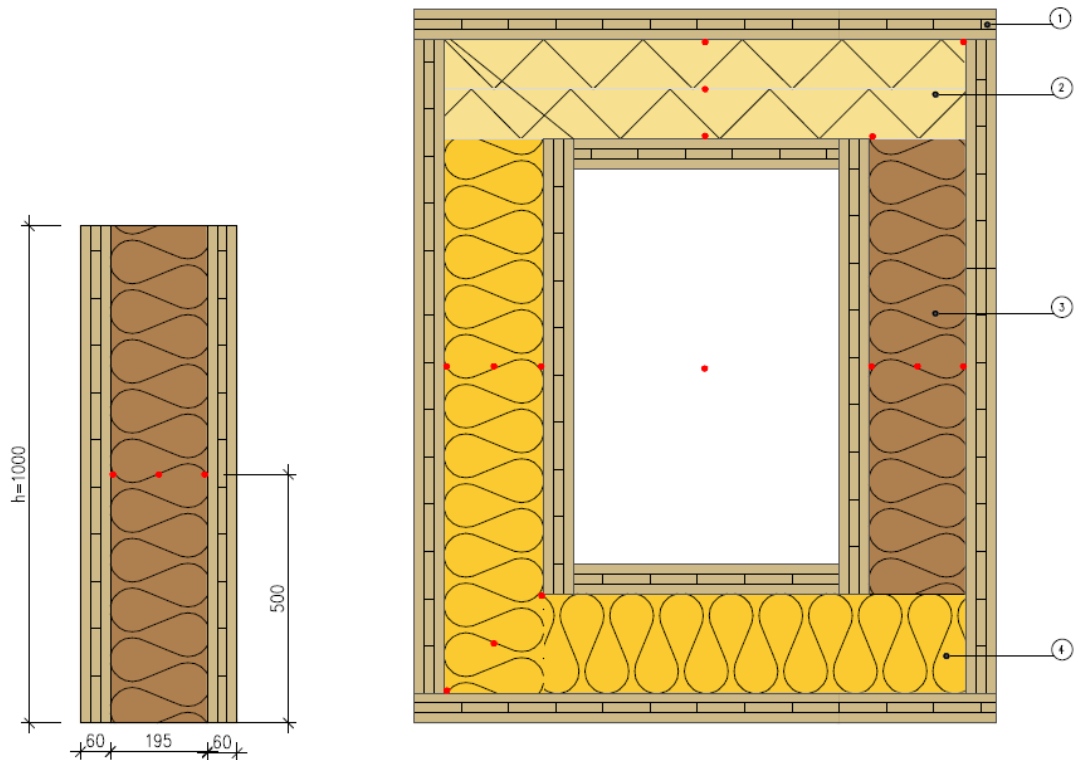


Kuva 1. Tutkittava seinärakenne

2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö on tutkimustyyppinen ja se on toteutettu pääosin teoreettisin menetelmin. Opinnäytetyön laajuudesta johtuen eri osa-alueissa on käytetty erilaisia tutkimusmenetelmiä. CLT-elementistä toista opinnäytetyötä tekevä Ville Martikainen testasi laboratoriossa kolmea eri eristettä seinärakenteen väliin. Eristeiden laatu ja paksuus näkyvät kuvassa 2. Lisäksi Martikainen mallinsi rakenteen kosteusteknisistä toimivuutta Wufilla ja Comsolilla. Martikaisen julkaisemattomasta opinnäytetyöstä on saatu tietoa rakenteen kosteusteknisestä toimi-

vuudesta tätä opinnäytetyötä varten. Aineistoa on lisäksi kerätty internetistä, alan kirjallisuudesta, haastatteluista sähköpostin ja puhelimen välityksellä sekä henkilökohtaisesta haastattelusta.



NRO	TARKOITUS	TUOTE/MENETELMÄ	PAKSUUS
1	CLT-levy	SPU AL	60 mm
2	Suulakepuristettu kova eriste	HUNTON	2 x 100 mm
3	Puukuitueriste	PAROC	200 mm
4	Mineraalivilla	20 kpl	200 mm
	Kosteus- ja lämpöeristys		

Kuva 2. Laboratoriossa testattu CLT-koekappale kolmella eri eristeellä (Martikainen 2016)

Opinnäytetyötä varten on piirretty esimerkkirakennus Autocadillä, josta opinnäytetyön laskuissa käytetty seinäesimerkki on saanut mitat. Esimerkkirakennuksen pohjapiirroksena toimii Kastellitalojen Verso 90/104 Classic. Esimerkkirakennuksen rakennepiirrokset löytyvät liitteestä 1. Laskelmissa on käytetty Microsoft Exceliä, Stora Enson CLTengineering-laskuria, Winramia ja Klara Net-kustannuslaskentaohjelmaa.

2.1 Rakennelaskelmien menetelmät

Opinnäytetyötä varten piirretyistä rakennepiirroksista valittiin suurimmalla aukoksella oleva seinä ja sille on laskettu kantavuuslaskelmat. Näin menetellen on pyritty todistamaan rakenteen mekaaninen toimivuus. Lumi- ja tuulikuormien ominaisarvot on valittu mahdollisimman suureksi. Opinnäytetyössä on haluttu todistaa rakenteen soveltuvuus minne tahansa Suomessa.

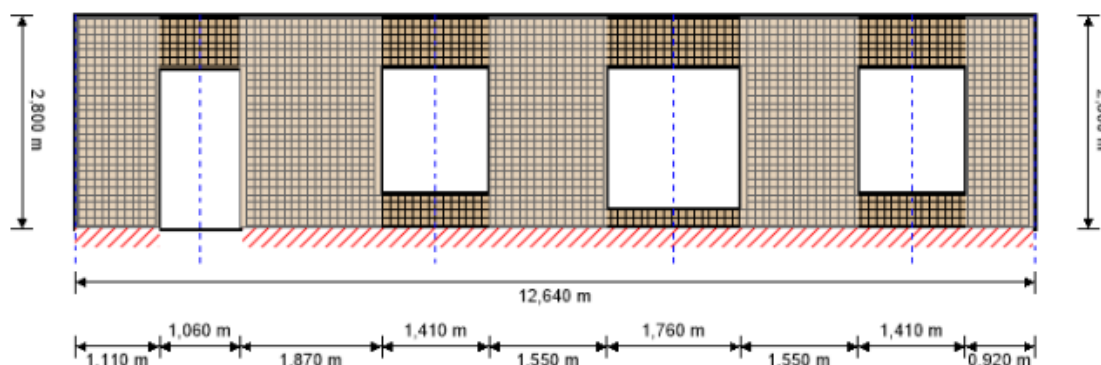
Rakennetta testattiin Stora Enson laskurissa vain maksimikuormilla, mikä tarkoittaa rakennuksen sijoittamista Lappiin. Stora Enson CLTengineering-suunnitteluohjelman antamien tuloksien perusteella rakennetta päädyttiin tutkimaan tarkemmin CLT:n nurjahduskestävyyden kannalta. Nurjahduskestävyyden laskemiseen käytettiin CrossLamin tekemää laskuohjetta (CrossLam Kuhmo CLT 2015a). Ohessa tarkastettiin myös CLT:n tukipainekestävyys, joka laskettiin CrossLamin ohjeen mukaisesti (CrossLam Kuhmo CLT 2015b). Nurjahduskestävyyttä käsinlaskiessa rakennus sijoitettiin eri paikkakunnille erilaisilla sivunpituuksilla ja seinän korkeutta vaihdeltiin. Edellä mainitut asiat tehtiin siksi, että ne vaikuttavat kaikki joko lumikuormaan tai tuulikuormaan, jotka vaikuttavat rakenteen kestävyteen.

2.1.1 Kuormat

Kuormat on laskettu käsin käyttäen apuna lyhennettyä suunnitteluohjetta ja RIL Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat -kirjaa (Puuinfo 2009; RIL 2011). Kattorakenteen omapaino saatiin arvioimalla kattoristikon, ala- ja yläkattorakenteen omien painojen arvot. Lähtöarvot näkyvät liitteessä 3. Lumi- ja tuulikuorman arvoja on muuteltu laskuissa sen mukaan, minne rakennus on kuviteltu sijoitettavaksi.

2.1.2 Lähtöarvojen syöttö Stora Enson laskuriin

Stora Enson CLTengineering-ohjelmaan syötetään alkuun halutut seinän mitat ja lähtötiedot. Kuvassa 3 on laskelmien esimerkkiseinä mittoineen. Lähtötietoja syötettäessä on oltava tarkkana, että pintakerroksen puiden suunta valitaan oikeaksi, koska seinän nurjahduskestävyys mitoitetaan seinän pystysuuntaisten lamellien avulla. (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 1).



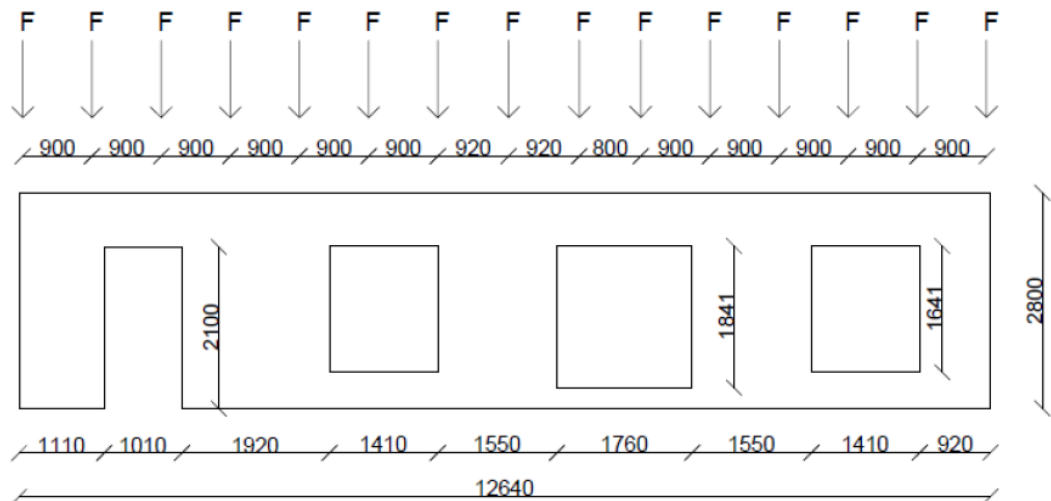
Kuva 3. Esimerkkiseinän mitat

Seinärakenteen käyttörajatila-arvot eli maksimitaipumien arvot ohjelma pyytää syötettäväksi kuvan 4 mukaisesti. Rajatilojen syötön jälkeen ohjelma vertailee, taipuuko rakenne aukotusten kohdalta liikaa. Valitut arvot on otettu lyhennetystä suunnitteluohjeesta (Puuinfo 2009, 21). Käytetyt arvot näkyvät kuvassa 3. Selvennyksenä RIL määrittelee käyttörajatilat seuraavasti: "Käyttörajatiloiksi luokitellaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaali-käytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön" (RIL 2011, 28).

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - muodonmuutoksen tiedot			
SLS -tyyppinen rakenne	Tärkeät ja säännölliset rakenneosat	SLS raja-arvo W_{inst}	L / 400
SLS raja W_h	L / 300	SLS raja-arvo $W_{net,fin}$	L / 300

Kuva 4. Käyttörajatilat

Viimeisenä syötetään saadut kuormat laskuriin pistekuormina erikseen kattoristikoiden kohdalle. Kattoristikoiden paikat näkyvät kuvassa 5. Kattorakenteen omapaino ja lumikuorma on syötettävä laskuriin erikseen omille paikoilleen niille tarkoitetuille kohdille niin, että varmuuskertoimet 1,15 ja 1,5 menevät oikein.



Kuva 5. Aukotusten ja kuormien sijoitus.

2.2 Kustannukset

2.3.1 Kustannuslaskennan periaatteet

Rakennuksen tai rakenteen kustannuksiin vaikuttavat oleellisesti, millä tavalla rakennus rakennetaan ja kuinka kookas rakennuksesta tulee (Mittaviiva Oy 2016,7-8). Talonrakennuksessa kustannukset voidaan määrittää suurimmaksi osaksi etukäteen ennen rakentamisen aloittamista. Rakennuksista tiedetään ennen varsinaisen rakennustyön aloittamista, mitä toimintoja rakennukseen tulee, mikä on tilojen tilojen varustelutaso ja mitkä ovat seinien ja muiden pintojen materiaali vaatimukset ja niin edelleen. Toisaalta esimerkiksi pohjarakentamisessa maapohjan olosuhteet voivat olla kovinkin erilaisia tontin eri osissa eikä pohjatutkimuksessa välttämättä saada selville kaikkea oleellista ennen rakentamista. Tämän takia rakentamiskustannuksia ei voida arvioida täysin varmasti ennakkoon.

Opinnäytetyön aiheena olevan seinärakenteen tai minkä tahansa muunkin rakenteen hinta muodostuu työ- ja materiaalikustannuksista. Materiaalikustannuksiin lasketaan myös hankinnat, jotka eivät suoraan liity kyseisen työvaiheen suorittamiseen. Näitä hankintoja voivat olla muun muassa nosturikalusto, joka yleensä vuokrataan kutakin työvaihetta varten, tai vaikkapa rakennustelineet. Työkustannuksiin vaikuttaa oleellisesti, kuinka ammattitaitoista työvoimaa on käytettävissä sekä kuinka kauan työ kestää. Työkustannukset lasketaan työ-

ryhmän tuntiansion ja työmenekin avulla saatavien työtuntien tulona. Työmenekin yksikkönä on tth/yks, joka se tarkoittaa työntekijän yhden työtunnin aikana tekemää työtä. Esimerkiksi neljä työntekijää tekee kahdeksan tunnin työpäivän aikana 32 tth ja mikäli rakenteen työmenekki olisi $0,5 \text{ tth/m}^2$, työpäivän aikana valmistuisi 16 m^2 rakennetta.

Opinnäytetyössä eri seinärakenteiden kustannuksia laskettaessa käytettiin Rakennusteollisuuden Klara Net -ohjelmaa. Vertailut seinärakenteet on suunniteltu vastaamaan U-arvoiltaan toisiaan, jotta rakennuskustannukset olisit vertailukelpoisia seinärakenteiden ominaisuuksiin nähden. Ohjelma on kustannuslaskentaan kehitetty työkalu, jolla voidaan laskea kustannuksia rakennus- sekä korjaushankkeille ja laatia urakkatarjouksia. Klara Netin rakennekirjasto pohjautuu Rakennusteollisuuden RT-kortiston mukaisiin asuin- ja teollisuusrakennusten rakenteisiin. Ohjelmassa voi itse muokata rakenteita sekä työmenekkejä ja -kustannuksia tarpeen mukaan. Klara Netin hintataso on ajantasalla ja sitä päivitetään vuosittain (Rakennustieto Oy a 2016). Klara Netin rakennekirjastossa ei ole CLT-rakenteita ja niiden kustannusten laskennassa jouduttiin muokkaamaan rakenteita tulosten saamiseksi. Joidenkin rakenneosien, kuten pintakäsittelyiden, todenmukaisuuden varmistamiseen käytetään Rakennusosien Kustannuksia 2016 -kirjaa (Mittaviiva Oy 2016, 67).

CLT-rakenteiden työmenekki on laskettu vuonna 2014 julkaistun Ratu 0424 – Puuelementtirakentaminen, seinät -ohjekortin mukaan (Rakennustieto Oy 2014). Ohjekortissa kerrotaan suuntaa antavasti elementtien työmenekit per kappale ja myös annetaan laskentaohjeet työvaiheittain tarkempaa työmenekin laskentaa varten. Työmenekit annetaan T3-menekkinä, mikä on tavoitteellinen työmenekki eikä se sisällä työssä tulevia häiriöitä tai viivästyksiä. Työvuoroaika käytetään muun muassa viikkoaikataulujen ja rakentamisvaiheikataulujen kestojen laskentaan (Rakennustieto Oy 2014, 5). Aikataulutuksessa käytettävä kokonaisaika, työvaihe aika T4 saadaan, kun T3-luku kerrotaan TL3-lisäaikakertoimella, joka on seinäelementtirakentamisessa 1,1-1,2. Laskennallisten työmenekkien ohella työn todelliseen keston vaikuttavat muun muassa rakennuspaikalla vallitsevat olosuhteet, kuten tuulisuus nostojen aikana tai toimiva aluesuunnitelma, mikä helpottaa rakennusmateriaalin varastointia työmaalle sekä niiden saatavuutta. Työmenekit lasketaan seinäelementeille tth/m^2

ja näin ollen suurten seinäelementtien työmenekki on alhaisempi kuin pienten. Opinnäytetyötä varten tehdyissä laskelmissa arvonlisävero on 0 %, sotukerroin 1,73 ja työn vaikeuskerroin 1,2. Vaikeuskertoimella huomioidaan ”kohteen vaativuus, monimuotoisuus ja koko. Vaikeuskerroin vaikuttaa työmenekkiin kertomalla - - työmenekki annetulla kertoimella.” (Rakennustieto Oy 2009, 2.) Sotukerointa käytetään Klara Netissä määrittämään työn tekemisestä aiheutuvia lakisääteisiä sosiaalikuluja. ”Ohjeellisena arvona on käytetty 73 % tuntipalkasta, eli Klara Netin sotukerroin on 1,73. - - Sotukerroin kertoo laskelmaan rakennekirjastosta tuodun työhinnan.” (Rakennustieto Oy 2009, 8). Työkustannukset on saatu käyttämällä kussakin työvaiheessa tarvittavaa ammattitaitoista työryhmää ja työntekijöiden tuntiansiot on saatu Klara Netistä.

CLT-rakentamisen ollessa vielä uusi ja epätavallinen rakentamismateriaali Suomessa ajankohtaisen hintatiedon saamiseksi otettiin yhteyttä Stora Enson tehtaalte Itävaltaan. Heidän toimittamansa ohjeen mukaan on laskettu opinnäytetyön seinäelementeissä käytetyn CLT:n hinta rahti mukaan lukien. Rahdin hinnaksi on arvioitu noin 100 €/m³ (Koitz 2016). CLT-rakenteiden kustannuksissa työmaalla tarvittava nosturikalusto on otettu huomioon hankintakustannuksissa. CLT-levyjen hinnan muodostuksessa on käytetty liitettä 2. Taulukko 1:een on koottu CLT:n hintaan vaikuttavat tekijät. Taulukko on yhdelle 60 mm paksulle CLT-levylle ja CLT-eriste-CLT-elementtiin näitä levyjä tulee kaksi.

Taulukko 1. Opinnäytetyön kohderakennuksessa käytetyn yhden 60 mm paksun CLT-levyn hinnan muodostuminen. CLT:n hintatiedot ovat liitteessä 2.

Osatekijä	Hinta, €/m ²
CLT, 60 mm	36,00
Pintalaatu, VI	15,00
Työstöt	1,64
Rahti	6,00
Yhteensä	58,64

2.3.2 Rakentamisaika

Rakennuskustannusten ohella rakentamisaika on merkittävä tekijä, kun vertaillaan eri ulkoseinävaihtojen etuja toisiinsa nähden. Myös rakentamisajan laskeamiseen on käytetty Klara Net –ohjelmaa, jonka rakenneosia on muunneltu sopimaan paremmin opinnäytetyön aiheena oleviin rakenteisiin. Ulkoseinän lyhyt rakennusaika tarkoittaa rakennuksen nopeaa säältä suojaan saamista. Näin ollen sisätilojen riskit kosteusongelmille pienenevät ja seuraava työvaihe voidaan aloittaa aikaisemmin. Myös rakenteiden suojauksesta aiheutuviin kustannuksissa säästetään. Rakennusaika ei laskelmissa vaikuta suoraan rakennuskustannuksiin, sillä kustannuksia laskettaessa on otettu huomioon työmenekki ja siitä johtuvat työkustannukset kullekin työvaiheelle. Rakennusaika, kuten rakennuskustannukset, koskevat vain 115,05 m²:n ulkoseinän rakentamista. Muut opinnäytetyön kohteena olevan pientalon rakenteet ovat pitkälle samanlaisia kaikissa vertailuvaihtoehdoissa eikä niitä huomioida. Sekä kustannus- että rakentamisaikalaskelmissa on Klara Netin tukena käytetty Microsoft Excel – taulukkolaskentaohjelmaa.

Ratu 0424 – Puuelementtirakentaminen, seinät –ohjekortin (Rakennustieto Oy 2014) avulla saatu rakennusaika vastaa tilannetta, jossa CLT-eriste-CLT-

elementti valmistetaan tehtaalla ja kuljetetaan työmaalle. Tällöin työmaalla elementit vain puretaan kuormasta ja asennetaan perustusten päälle asiaan kuuluvine työvaiheineen. Klara Net laskee rakenteen paikalla rakennettuna; seinä rakennetaan sisäpuolelta alkaen CLT-levy kerrallaan ja levyjen väliin asennetaisiin eriste runkopuineen. Elementin kokoaminen työmaalla olisi todennäköisesti hitaampaa kuin sen valmistaminen tehtaalla yhtä kokeneella työryhmällä. Mikäli elementti tulisi tehtaalta, hintaan tulisi muutakin kuin materiaalien hinta ja työmaalla tarvittava työ vähenisi. Näitä on kuitenkin vaikea arvioida tarkasti ja kustannuslaskennassa on sovellettu Klara Netin rakennekirjastoa. Opinnäytetyössä lasketut arvot ovat lähellä todellista tilannetta, jotta eri vaihtoehtojen tasavertainen arviointi onnistuu. Klara Netillä tehdyt laskelmat on koottu liitteeseen 4. Taulukossa 2 on laskettu CLT-levyn asennukseen tarvittavat työmenekit. Kun jokaisen työvaiheen T3-arvo on laskettu, se kerrotaan suoritemääräkertoimella ja TL3-lisäkertoimella. Saatua T4-lukua voidaan käyttää työma aikataulujen laadinnassa ja siinä on otettu huomioon rakentamisessa tavallisesti sattuvat katkot ja häiriöt. Opinnäytetyön kohdetaloon tulee yhteensä neljä elementtiä. CLT-eriste-CLT-rakenteeseen tulee kaksi levyä kuhunkin elementtiin ja näin ollen lopullinen T4-aika täytyy ottaa kahdesti huomioon aikataulussa.

Taulukko 2. CLT-levyn asennuksessa käytettävät työmenekit.

Työvaihe	T3	Yksikkö	Yhteensä
Tavarán vastaanotto ja välivarastointi	0,01	tth/kpl	0,04
Alustan mittaus	1	tth/talo	4
Ala- tai yläsidepuun asennus ja kiinnitys	0,3	tth/kpl	1,2
Elementin pituus >5400 mm	1,15	tth/kpl	4,6
Suojaus ja siivous	0,01	tth/kpl	0,04
Suoritemäärän vaikutus	1,2		11,9
TL3-lisäkerroin	1,2		
T4 eli työvaiheaika			14,2

2.4 Rakennedetaljiikan suunnittelun menetelmät

Opinnäytetyön tutkimuskohteen ollessa uusi innovaatio, suurin osa elementtien liitoksista täytyi suunnitella itse. Suunnittelu aloitettiin piirtämällä esimerkkirakennuksen rakennepiirrosluonnoksia, joista rakenteen mahdolliset ongelmat kohdat tulivat ilmi. Detaljit viimeisteltiin rakennus- ja rakennefysikaalisten toimivuuksien varmistuttua. Rakennusfysikaaliset ominaisuudet on saatu Ville Martikaisen julkaisemattomasta opinnäytetyöstä. Detaljien laadinta aloitettiin Rakennusteollisuuden ylläpitämän RT-kortiston hyvän rakennustavan mukaisten mallien pohjalta. Suunnittelussa käytettiin lukuisia eri oppaita, joita ovat: RunkoPES

2.0 (Puuinfo 2013) Stora Enson Layer Structure (Stora Enso 2012), Stora Enson Details (Stora Enso 2012), Stora Enson A Shell Construction (Stora Enso 2012), Binderholzin Processing Guideline (Binderholz 2016), Tero Lahtelan CLT-levyn suunnittelu yleisesti (Puuinfo 2015d).

3 CLT rakennusmateriaalina

CLT-seinärakenteiden edut betoni- ja teräsrakenteisiin verrattuna ovat rakenteiden keveys, rakentamisnopeus, sisäilman laatu, paloturvallisuus, korkea esivalmistusaste ja hyvä työstettävyys. Perinteiseen puurunkoiseen rakentamiseen nähden CLT-seinien käytön hyödyt ovat pitkälti samat kuin betoni- ja teräsrakenteisen rakenteen hyödyt, lukuun ottamatta CLT:n keveyttä. Valmistajasta riippuen CLT-rakenne ei tarvitse erillistä höyrynsulkukalvoa rakenteen sisään, mikä tuo kosteusteknistä turvallisuutta höyrynsulullisiin puurakenteisiin nähden. Opinnäytetyön CLT-valmistajaksi valittiin Stora Enso, koska heidän tuottama CLT on syrjäliimattua, toisin kuin kuhmolaisella CrossLamilla, ja näin ollen erillistä höyrynsulkua ei tarvita.

Haittoina CLT-seinäelementtirakentamiselle ovat materiaalin korkea hinta, suunnitteluohjeiden puutos, Suomen puurakenteiden tiukka rakennuslainsäädäntö, sekä CLT-seinien mahdollinen ääntä tuottava paukahtelu. Toisaalta CLT:n paukahtelun voimakkuus ja frekvenssi laskevat ajan myötä (Ahoranta 2016).

3.1 Ristiinliimattu massiivipuu

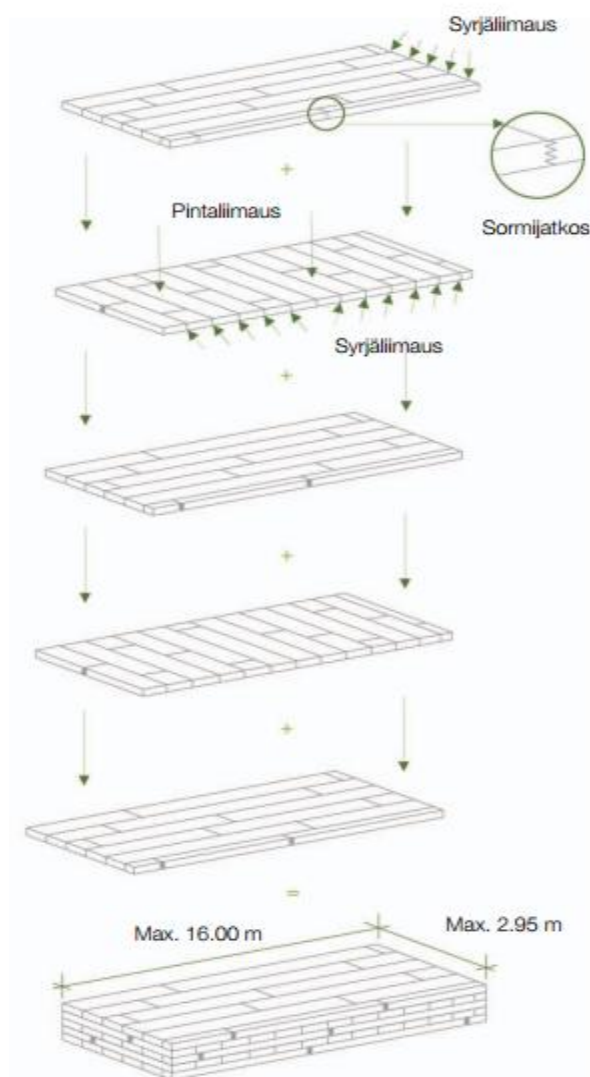
Cross laminated timber eli CLT-levyt ovat massiivipuisia rakennusmateriaaleja. Ne koostuvat ristiinliimatuista lamelli- eli puulevykerroksista (Kuva 6). Ristiin laminointi takaa CLT-levyille lujuuden, jäykkyyden ja tiiviiden. Eripaksuisia CLT-levy-kerroksia on 3,5,7,8,11 riippuen valmistajasta. Levyt työstetään yleensä valmiiksi muotoon tehtaalla, mutta suunnitelmien muuttuessa levyjä voidaan työstää myös työmaalla.

CLT-seinä voi olla myös massiivi-CLT-rakenteinen kuten hirsitalot, eli pelkkää massiivipuuta ilman lisäeristystä. Tämä rakenne kannattaa hyväksyttää rakennusvalvonnassa jo suunnitteluvaiheessa, sillä massiivi CLT-rakenteen tulkitse-

minen hirsirakenteeksi on kuntakohtainen asia (Vivola. 2016a). Esimerkiksi Vivolan toteuttamissa omakotitaloissa runkorakenteena on CLT-massiivipuulementti, joka lisäeristetään ulkopuolelta.

3.2 CLT:n valmistusprosessi

CLT:n valmistus aloitetaan latomalla halutuista lamelleista levyn kokoisia ristikkäisiä kerroksia, jotka kukin liimataan ennen seuraavan kerroksen ladontaa. Kun kaikki lamellikerrokset on liimattu, ne puristetaan kerralla valmiiksi CLT-levyksi. Puristettu CLT-levy leikataan suunnitelman mukaisiin mittoihinsa ja siihen tehdään aukkojen sekä läpivientien vaatimat työstöt (Kiintopuu 2014, 3). Kuvan 6 mukaisesti levyyn täytyy pintaliimauksen lisäksi lisätä syrjäliimaus, jos levy halutaan vesihöyryä läpäisemättömäksi (Helamo 2016).



Kuva 6. Esimerkki 5-kerroksisen CLT:n valmistuksesta. (Puuinfo 2012a)

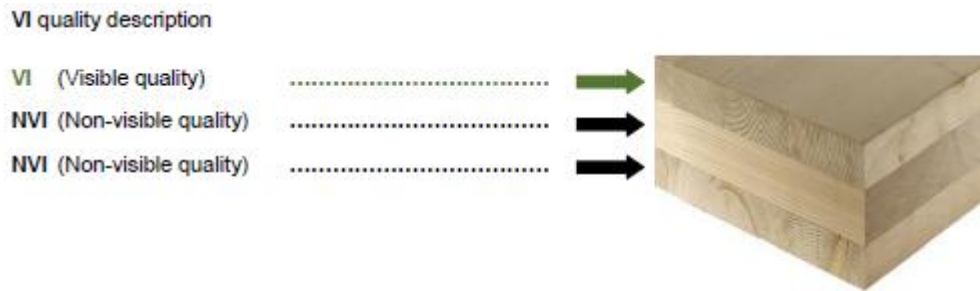
3.3 Teknisiä tietoja

CLT-levyjen lujuusominaisuudet vaihtelevat hieman eri levytoimittajien mukaan. Tässä tutkimuksessa on käytetty CrossLamin ja Stora Enson materiaalitietoja (Puuinfo 2015a; Puuinfo 2012a). Kumpikaan edellä mainituista ei anna CLT-levylle käyttöluokkaa 3. Lahtela mainitsee Puuinfon koulutusmateriaalissaan, ettei ETA:n mukaan käyttöluokka 3 ole CLT:llä mahdollista toteuttaa (Puuinfo 2015b, 4). Tämä tarkoittaa CLT:n kohdalla sitä, ettei CLT-levyä voi käyttää kantavana rakenteena ulko-olosuhteissa. Toisaalta CLT-pinta kestää oikeaoppisesti pinnoitettuna auringonvaloa ja säävaihteluita, kuten mikä tahansa puupinta. Kantavana rakenteena olevan seinäelementin pystysuuntaista lamellia ei saa katkaista urittamalla (Helamo 2016). Täten koristusurituksille pitää varata yksi lamellikerros lisää, jos urituksia halutaan tehdä kantavaan rakenteeseen.

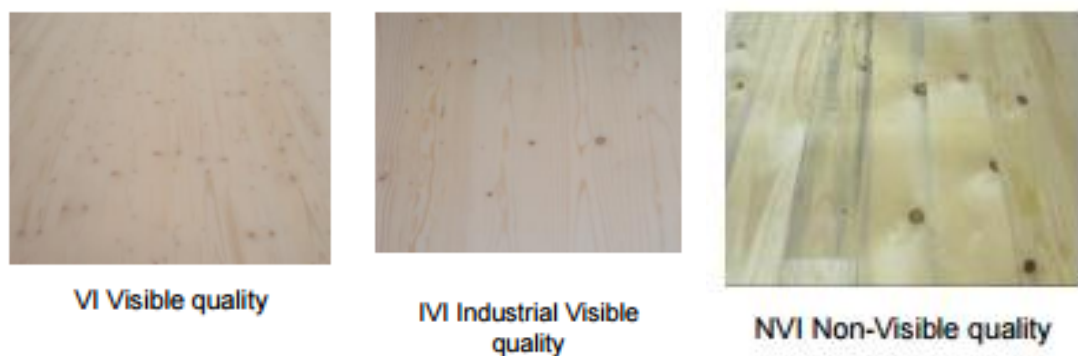
Stora Enson ja CrossLamin materiaaliominaisuuksissa ei ole suuria eroja. Käsien laskuissa on käytetty CrossLamin antamia arvoja, kun taas Stora Enson laskuri asettaa materiaaliominaisuudet itsestään Stora Enson antamille arvoille. Tässä seinäelementissä päädyimme Stora Enson toimittamaan levyyn, koska se on luvattu vesihöyryä läpäisemättömäksi (Puumerkki 2015). CLT:n oma paino on $4,7\text{kN/m}^3$ (Puuinfo 2012a).

3.4 Laatu- ja pintaluokittelu

Levytoimittaja määrittää CLT-levyille eri laatuluokat riippuen levyn käyttökohteesta. Stora Enso käyttää CLT-levyille kolmea erilaista laatuluokkaa: näkyvä laatu, teollisesti näkyvä laatu ja ei näkyvä-laatu (Stora Enso. 2012a). Edellä mainitut pintalaadut näkyvät kuvassa 8 vasemmalta oikealle. Näitä levyjä saa eri variaatioissa tarpeen mukaan. Esimerkiksi kolmekerroslevyssä on mahdollista saada kuusi erilaista variaatiota. Parempi laatuluokka tuo levyille lisää hintaa. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa riittää kuvan 7 mukaisesti, että vain levyn näkyvä pinta on tehty parhaasta laadusta. CLT-levyjä toimitetaan myös erikoislaatuina, joita ovat mänty, jalokuusi, lehtikuusi ja vuorimänty (Stora Enso 2015).



Kuva 7. Laatuluokkien kuvaukset (Stora Enso 2012b, 1)



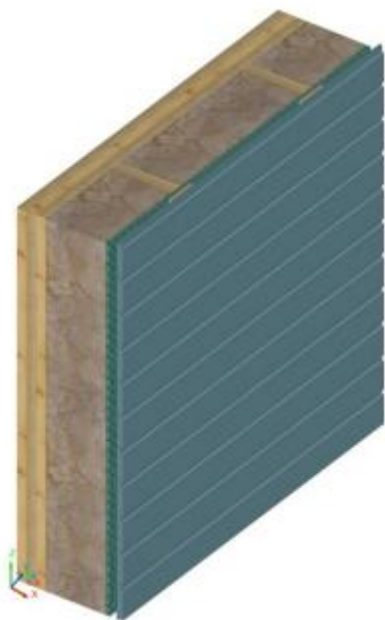
Kuva 8. Levyjen pintalaadut. (Stora Enso 2012a)

3.5 Yleisimmät käytössä olevat CLT-seinäratkaisut

Nykyään CLT:tä käytetään pääasiassa seinärakenteissa vain kantavana rakenteena rakennuksen säältä suojatulta puolella. Yleisin käytötapa CLT-rakentamisella on paikalla rakentaminen. CLT-levyä käytetään eniten runkomateriaalina. Yleensä ensin kasataan elementeistä työmaalla runko, jonka jälkeen lisätään eristekerros ja ulkoverhoilu. Ulkoverhoilu peittää liitokset hyvin alleen, joten sisäpuolella jäävä CLT-elementti jää puhtaaksi työjäljistä. Tämä seikka lisää tehtaalla valmiiksi kasatun elementin suunnittelun haasteellisuutta huomattavasti.

Useat suomalaiset yritykset, kuten Olament Oy ja Elementti Sampo Oy valmistavat hieman tämän opinnäytetyön toimeksiantajan vision mukaista CLT-rakennetta. Eroina näissä on, että ulos jäävä kerros ei ole tehty CLT:stä. Rakennetyypissä valmiit seinäelementit toimitetaan työmaalle, jossa ne pystytetään valmiina oleviin perustuksiin. Seinien pystytysten jälkeen rakennus on kat-

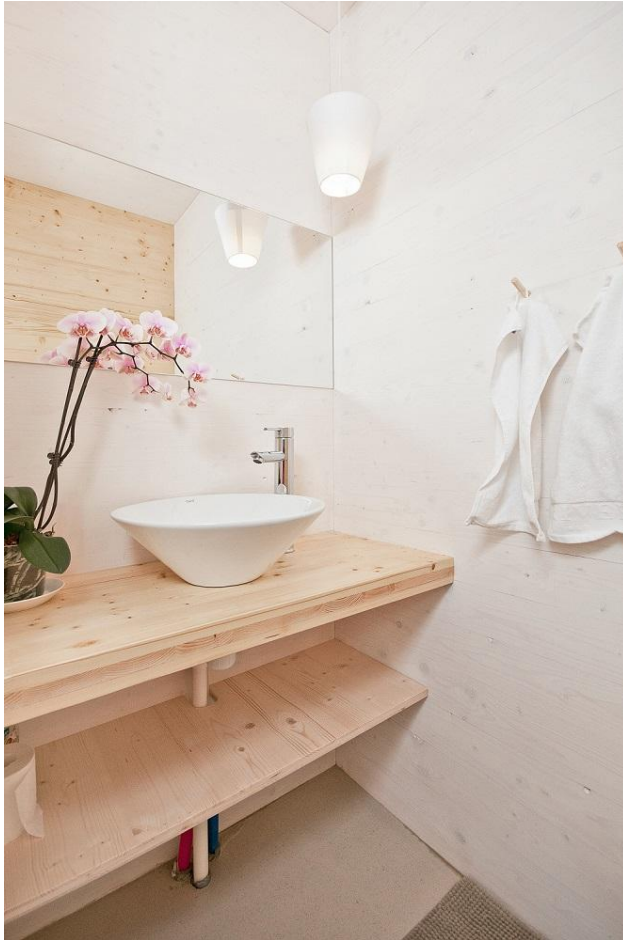
toa ja sisätöitä vaille valmis. Ulkoverhouksen ollessa esimerkiksi ulkoverhouspaneelia sen kiinnittäminen tehtaalla tai työmaalla on myös helppoa, koska pintamateriaali voidaan yksinkertaisesti esimerkiksi naulata kiinni. Kuvassa 9 näkyy tällä hetkellä yleisesti käytetty CLT-ulkoseinärakenne.



Kuva 9. Tyypillinen CLT-seinäelementtiratkaisu (Puuinfo 2012b, 19)

3.6 Hukkapalat

Opinnäytetyössä on selvitetty CLT-elementtirakentamisesta syntyville hukkapaloille mahdollisia käyttökohteita. Levyistä syntyy hukkapaloja jokaisen ikkunan ja oven aukotuksen verran. Hukkapaloille on hankala keksiä sopivaa käyttökohdetta tai muuta kokonaisvaltaista ratkaisua, koska hukkapaloja syntyy paljon ja niiden koko vaihtelee levykohtaisesti. Hukkapaloja voidaan käyttää muun muassa portaiden tekoon, erilaisten kaiteiden tekoon tai vaikkapa huonekaluihin mikäli taitoa riittää. Elementti Sammon mukaan CLT-elementtien hukkapaloille ei ole keksitty järkevää käyttökohdetta vaan ne menevät valtaosin polttoon (Elementti Sampo Oy 2016). Hukkapalojen polttaminen on sekin niiden hyödyntämistä, mutta kallis ja pitkälle työstyetty materiaali menee poltossa hukkaan. Hukkapaloja hyödynnetään tällä hetkellä rakentamisessa pääosin portaissa, työtasoissa, katoksissa ja pienissä piharakennuksissa. Kuvassa 10 hukkapaloja on hyödynnetty tasoina. Käsityksemme mukaan hukkapalat kuuluvat CLT:n hintaan ja ostaja saa ne halutessaan itselle.



Kuva 10. Esimerkki käyttökohde hukkapaloille (Olament 2016)

4 Tulokset ja ratkaisuehdotukset

4.1 Rakennelaskelmat

Seinärakenteen alkuperäinen idea oli toteuttaa seinä erittäin yksinkertaisella rakenteella, jossa myös ulommainen CLT-levy olisi kantava. Tämä ajatusmalli jouduttiin hylkäämään muutamasta syystä. Kuten aiemmin mainittiin, ainakin kaksi materiaalitoimittajaa on antanut CLT-levyjen käyttöluokiksi 1 ja 2.

Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje määrittää käyttöluokat seuraavasti.

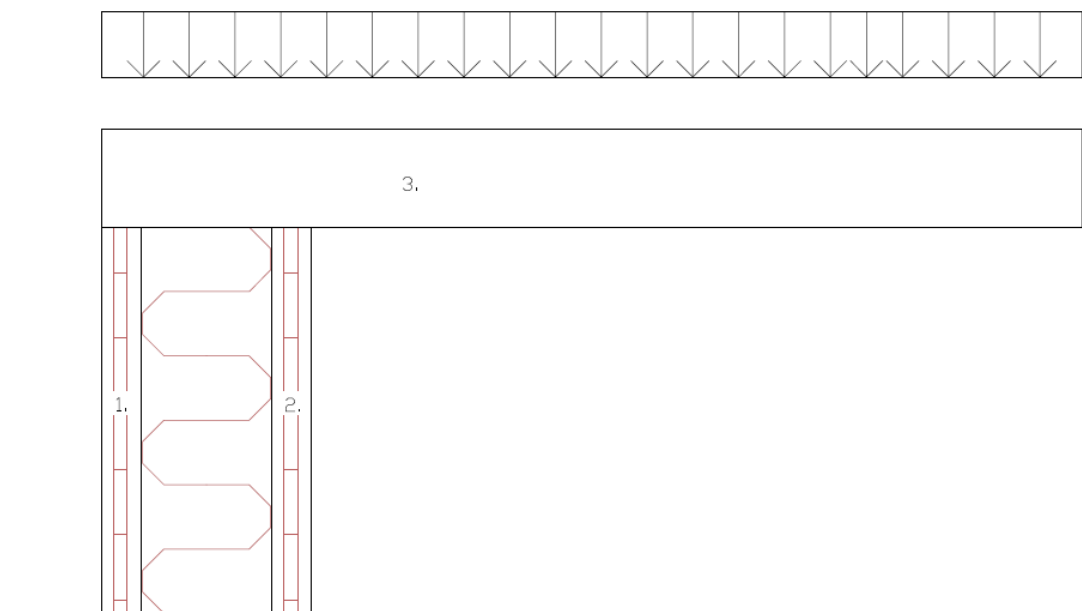
"Käyttöluokalle 1 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa." ja "Käyttöluokalle 2 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva

puurakenne. Rakenteen tulee olla katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattu.” (Puuinfo 2009, 15.)

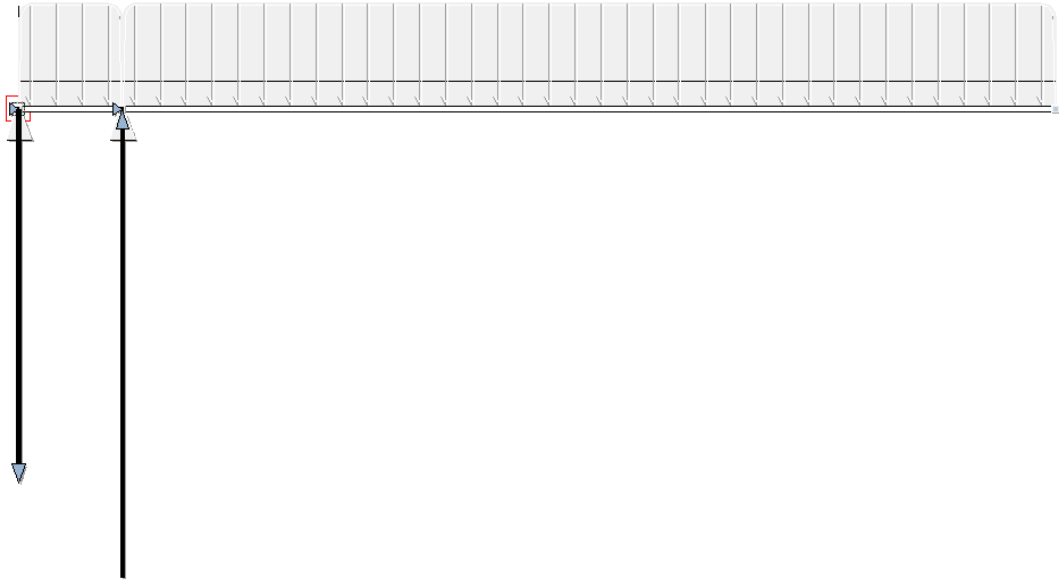
Tämä tarkoittaa CLT-kohdalla sitä, että CLT-levyä voidaan käyttää pääasiassa vain kuivina pysyvissä runkorakenteissa. Tällöin kuvassa 11 näkyvä levy 1 täytyisi saada säältä suojattua.

Toiseksi Ville Martikainen toteaa opinnäytetyöluonnoksessaan, että rakenne tarvitsee tuuletusraon tai sisemmän levyn ja villan väliin alkaa kerääntyä kosteutta. Tuuletusrako on hankala toteuttaa, jos rakenne halutaan kantavaksi. Kappaleessa 4.5 Alapohjaratkaisut löytyy ehdotuksia tämän toteutukseen.

Vaikka CLT onnistuttaisiin suojaamaan ulko-olosuhteilta, rakenteessa tulevat vastaan fysiikan lait seuraavalla tavalla. Otetaan tarkasteluun kuvat 11 ja 12. Katolta tulevien kuormien painaessa ristikon alapaarretta (Kuva 11. numero 3), suurin puristuskuorma muodostuu CLT-levyn numero 2 kohdalle. Levyn 1 kohdalle muodostuu kuvan 12 mukaisesti vetoa, jolloin sitä ei voida laskea vähentämään levylle 2 tulevaa puristusta.



Kuva 11. Periaatekuva, rakenteiden numerointi



Kuva 12. Periaatekuva, tukivoimien suunnat

Edellä mainittujen syiden takia esimerkkirakenteen kantavuus laskettiin vain yhdellä kantavalla seinällä. Rakenteen kestävyys toteutettiin tekemällä liitteen 3 mukaisista laskelmista Excel-laskuri. Laskurista saatiin yhdelle seinälle tulevat kuormat, joita voitiin helposti vaihdella. Saadut maksimikuormat syötettiin Stora Enson CLTengineering ohjelmaan.

4.1.1 Stora Enson CLTengineering-laskurin tulokset

Stora Enson CLTengineering antaa rakenteesta lukujen lisäksi visuaalista tietoa, jota on helppo lukea. Liitettä 5 katsoessa voidaan todeta, että nurjahduspiisuus on ainut tuloksista, joka muuttuu kriittisesti CLT-levyn paksuuden vaihtuessa. Vertailemalla 80 mm ja 60 mm levyjä kestävyyttä voitiin todeta, että nurjahduskestävyys on ratkaisevassa asemassa rakenteen kestävydessä. Tästä syystä nurjahduskestävyys otettiin lähempään tarkasteluun. Kuvista 13 ja 14 voi nähdä rakenteen heikoimman kohdan sinisestä rastista. Punaiset alueet kertovat nurjahduksen käyttöalueen ylittymisestä. Vihreä ja keltainen kielivät rasituksesta, mutta sitä ei ole murtumiseen asti. Harmaalla alueella rasitusta ei ole juuri ollenkaan.

Laskelmat aloitettiin toimeksiantajan ehdottamalla 60 mm kantavalla levyllä ja niistä siirryttiin ylöspäin, kunnes rakenne kesti maksimikuormilla. Tässä tapauk-

sessä CLT-levyn paksuutta ei tarvinnut nostaa kuin 80 mm asti. Työn nopeuttamiseksi Stora Enson laskurissa kuormia ei muuteltu.

CLT 60 C3s				CLT 60 C3s			
Tulokset 60C3s	Pystylamelli	Vaakalamelli	Pystylamelli	Tulokset 60C3s	Pystylamelli	Vaakalamelli	Pystylamelli
3-kerros	20	20	20	3-kerros	20	20	20
Kuormat	Omapaino, seinä	0,71 kN/m		Kuormat	Omapaino, seinä	0,71 kN/m	
	Omapaino, katto	3,615 kN			Omapaino, katto	3,615 kN	
Lappi	Lumikuorma	10,256 kN		Lappi	Lumikuorma	10,256 kN	
Uloimmat kuormat 0,05m päästä reunasta				Uloimmat kuormat 0,1m päästä reunasta			
Lommahdus	Käyttöaste	199 %		Lommahdus	Käyttöaste	159 %	

Kuva 13. Stora Enson CLTengineering nurjahdus tulokset 60 mm paksulle CLT-levylle

CLT 80C3s				CLT 80C3s			
Tulokset 80C3s	Pystylamelli	Vaakalamelli	Pystylamelli	Tulokset 80C3s	Pystylamelli	Vaakalamelli	Pystylamelli
3-kerros	30	20	30	3-kerros	30	20	30
Kuormat	Omapaino, seinä	0,94 kN/m		Kuormat	Omapaino, seinä	0,94 kN/m	
	Omapaino, katto	3,615 kN			Omapaino, katto	3,615 kN	
Lappi	Lumikuorma	10,256 kN		Lappi	Lumikuorma	10,256 kN	
Uloimmat kuormat 0,05m päästä reunasta				Uloimmat kuormat 0,1m päästä reunasta			
Lommahdus	Käyttöaste	84 %		Lommahdus	Käyttöaste	72 %	

Kuva 14. Stora Enson CLTengineering nurjahdus tulokset 80 mm paksulle CLT-levylle

4.1.2 Nurjahduskestävyyden käsinlaskujen tulokset

Stora Enso ei halua CLTengineering-laskuriaan käytettäväksi päätöksenteossa, joten nurjahduksen käyttöaste päätettiin tarkastaa vielä käsin. Laskelmista tehtiin Excel-taulukko, johon voitiin vaihtaa kuormien ja rakennuksen mittojen arvo-

ja. Saadut tulokset näkyvät taulukoissa 3 ja 4. Tehtyyn Excel-laskuriin vaihdeltiin seinän korkeutta, katon jänneväliä, rakennuksen sijoittelua ja seinän paksuutta niin, että nurjahduksen käyttöaste saatiin pysymään alle 100 prosentissa. Näin seinän kestävydestä saatiin raja-arvoja Lapin ja Joensuun korkeuspiireillä. Laskelmissa ei otettu huomioon eristekerroksen ja ulomman materiaalin painoa, koska opinnäytetyössä ei vielä tällä hetkellä ollut päätetty ulkomateriaalia. Kuvissa näkyvissä olosuhteissa avoimet rannikot Lapissa tarkoittavat, että rakennukset sijaitsevat järven rannassa. Tuulikuorma on tältä osin tarkoituksellisesti hieman ylimitoitettu todistaaksemme rakenteen kestävyuden pahimmisakin olosuhteissa. Taulukoiden 3 ja 4 tuloksia analysoidaan tarkemmin luvussa 5.1.2.

Taulukko 3. Käsinelaskujen nurjahdustulokset. Rakennus sijoitettuna Lappiin.

CLT tyyppi	80C3s	60C3s	60C3s	60C3s	60C3s
Olosuhteet	Lappi, Avoin rannikko	Lappi, Avoin rannikko	Lappi, Avoin rannikko	Lappi, Avoin rannikko	Lappi, Esikaupun- kialue
Seinän korkeus	2800mm	2800mm	1750mm	2800mm	2800mm
Jänneväli	8,14m	8,14m	8,14m	1,1m	4,95m
Omapaino	4,3kN	4,3kN	4,1kN	1,2kN	2,9kN
Lumikuorma	3,5kN/m ²	3,5kN/m ²	3,5kN/m ²	3,5kN/m ²	3,5kN/m ²
Tuulikuorma	1,14kN/m ²	1,14kN/m ²	1,14kN/m ²	1,14kN/m ²	0,035kN/m ²
Nurjahduksen käyttöaste	95 %	229 %	95 %	100 %	99 %
Ongelma	Ei ole	Ei kestä	Pituus	Jänneväli	Jänneväli

Taulukko 4. Käsinlaskujen nurjahdustulokset. Rakennus sijoitettuna Joensuuhun.

CLT tyyppi	60C3s	60C3s	60C3s	60C3s	60C3s
Olosuhteet	Joensuu, Avoin rannikko	Joensuu, Esikaupunkialue	Joensuu, Esikaupunkialue	Joensuu, Esikaupunkialue	Ei suomessa
Seinän korkeus	2800mm	2800mm	1950mm	2800mm	2800mm
Jänneväli	8,14m	8,14m	8,14m	6,4m	8,14m
Omapaino	4,3kN	4,3kN	4,1kN	3,6kN	4,3kN
Lumikuorma	2,5kN/m ²	2,5kN/m ²	2,5kN/m ²	2,5kN/m ²	1,5kN/m ²
Tuulikuorma	1,14kN/m ²	0,35kN/m ²	1,14kN/m ²	0,35kN/m ²	0,35kN/m ²
Nurjahduksen käyttöaste	195 %	124 %	98 %	100 %	91 %
Ongelma	Ei kestä	Ei kestä	Pituus	Jänneväli	Mahdoton

4.1.3 Tukipainekestävyys

CLT:n tukipainekestävyyttä laskiessa voidaan ottaa huomioon vain pystysuuntaiset lamellit (CrossLam 2015b, 2). Yhden kattoristikon tukipainealaksi muodostuu täten 2 x 20 mm x 100 mm. Tukipaine laskettiin käsin CrossLamin ohjeiden mukaan. Kuormina käytettiin liitteen 3 mukaisia kuormia, jotka ovat tämän kokoiselle rakennukselle maksimikuormat. Tukipaineen käyttöasteeksi saatiin 65 %, joten tukipainekestävyys ei tuota ongelmia.

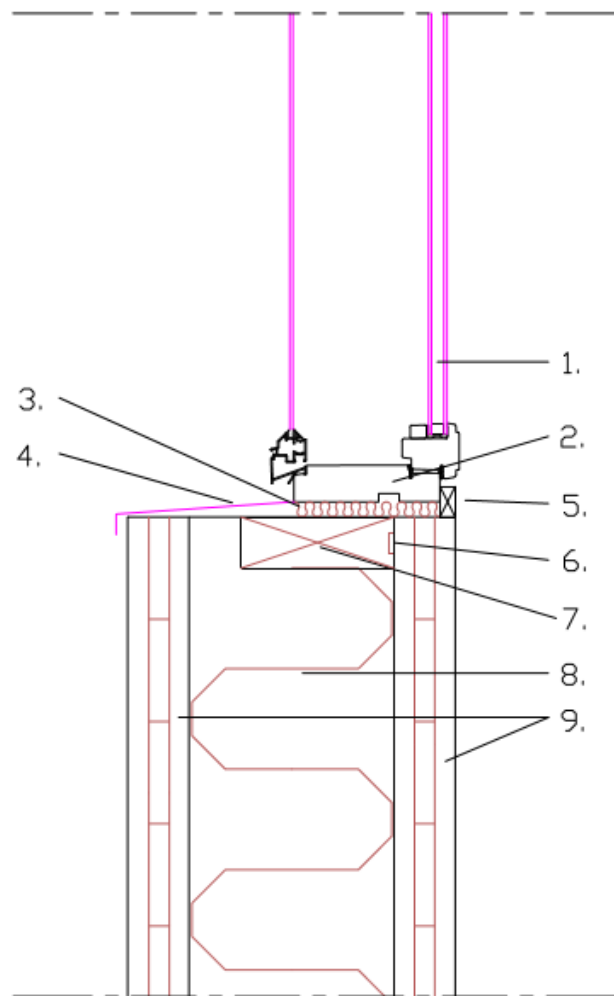
4.2 Sandwich-elementin toteutus

Tässä luvussa käsitellään kahden erilaisen CLT-elementin, CLT-eriste-CLT- ja CLT-eriste-ulkoverhous-elementtien toteutusta. Lisäksi kerrotaan elementtien sekä eri liitosten suunnittelusta. Lopuksi tutkitaan seinäelementin valmistamista tehdasolosuhteissa.

4.2.1 CLT-eriste-CLT-elementin toteutus

CLT-eriste-CLT-elementin suunnittelu pohjautuu ajatusmalliin, jossa rakenteessa olevat koolauspuit antaisivat rakenteelle nurjahdustuen, täten 60mm paksu CLT-levy olisi riittävän paksuinen tukemaan seinää. Lisäksi aiemmin todettiin, että rakenne tarvitsee tuuletusraon. Kolmas lähtökohta suunnitteluun on, että

elementti olisi helppo asentaa työmaalla. Viimeisenä oli muistettava aukotusten kosteuseristys. Aukotus on tehtävä niin, että sade- ja roiskevedet eivät pääse rakenteeseen ja sisäpuolen liitoksen on oltava vesihöyrytiivis. Aukotuksen tiiveys voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 15 mukaisella tekniikalla. Aukotusten kohdalla olevien ala- ja yläsidepuiden täytyy olla sen kokoiset, että tuuletus ei kärsi. Samalla täytyy pitää huoli, etteivät sade- ja roiskevedet pääse kostuttamaan rakenteen sisäpuolta.

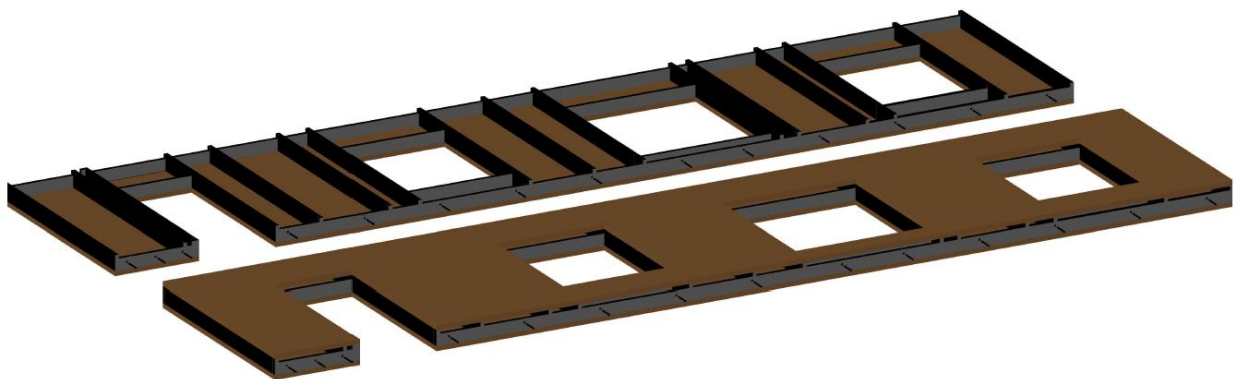


1. Ikkuna
2. Karmi
3. Asennusvaahto
4. Vesipelti
5. Ikkunalauta
6. Paisuva tiivistenauha
7. 50x150 alasidepuu
8. Eriste 200mm
9. CLT-Levy 60mm

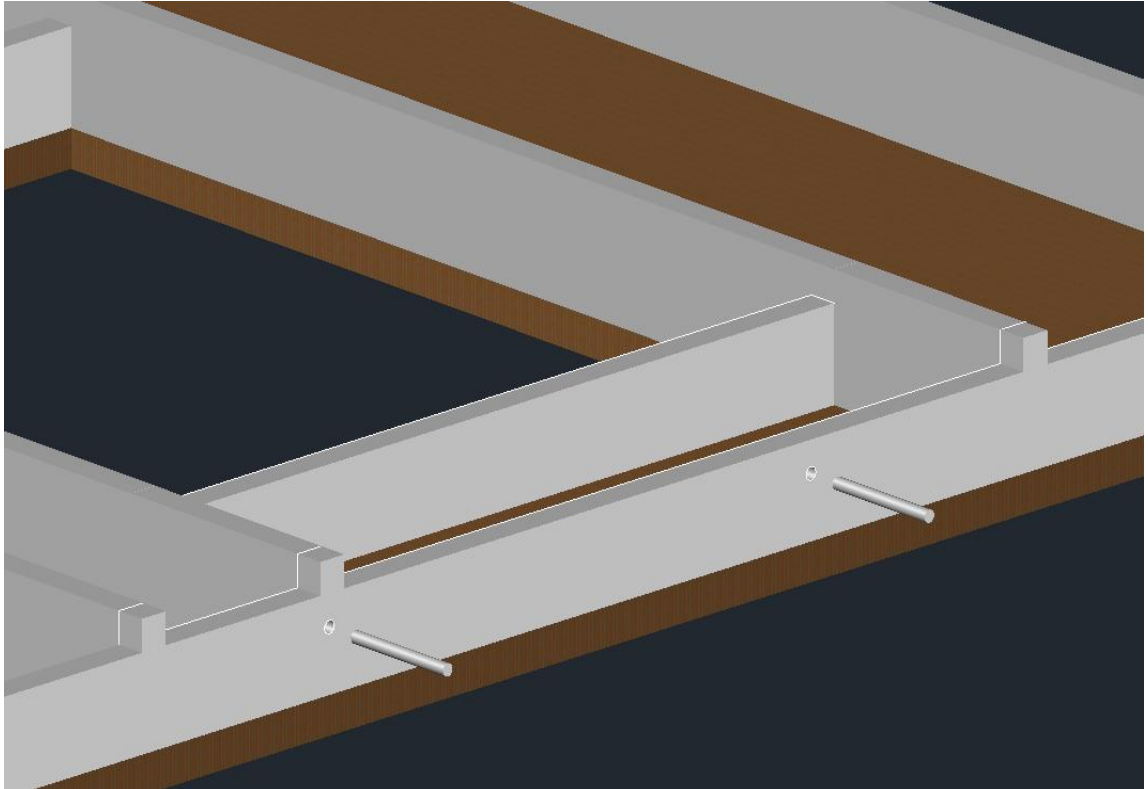
Kuva 15. Aukotuksen tiivistys.

Kuvassa 15 näkyvät ulompi ja sisempi CLT-levy on ajateltu liitettävän toisiinsa kuvan 16 mukaisesti 50x200 paksuilla pysty- ja vaakapuilla. Pystypuiden pääasiallinen tarkoitus on estää kantavaa 60mm CLT levyä nurjahtamasta.

Työmaa-asennuksen helpottamiseksi elementtiin lisättiin alaside- ja yläsidepuu. Ne on uritettu kuvan 16 ja 17 mukaisesti tuuletuksen toimivuuden varmistamiseksi. Kuvassa 17 näkyy hyvin ajatus elementin liittämiseksi alapohjaan niin, ettei esteettisyys kärsi. Ajatuksena on, että 50x200 tai 50x150 kokoinen alasidepuu kiinnitetään vahvasti kantavaan seinäelementtiin. Alaohjauspuun voi urittaa kuvan 17 mukaisesti tai sen voi toteuttaa 50x150 puulla. Lisää vaihtoehtoja tuuletuksen järjestämiseen löytyy kappaleesta 4.5 Alapohjaratkaisut. Alasidepuuhun voidaan porata reiät ja rakennusvaiheessa sokkeliin jättää esimerkiksi harjateräksset pystyyn. Nosturilla elementtiä paikalle nostaessa elementti olisi täten erittäin helppo saada ohjautumaan oikealle kohdalleen. Teräksset estäisivät paikallaan ollessaan elementin sivuttaissiirtymiä, mikä mahdollisesti voisi pienentää alapohjaan asennettavien kulmarautojen kokoa (Kuva 19). Tarkemmin elementin alapohjaliitoksista löytyy kappaleesta 4.5 Alapohjaliitokset.



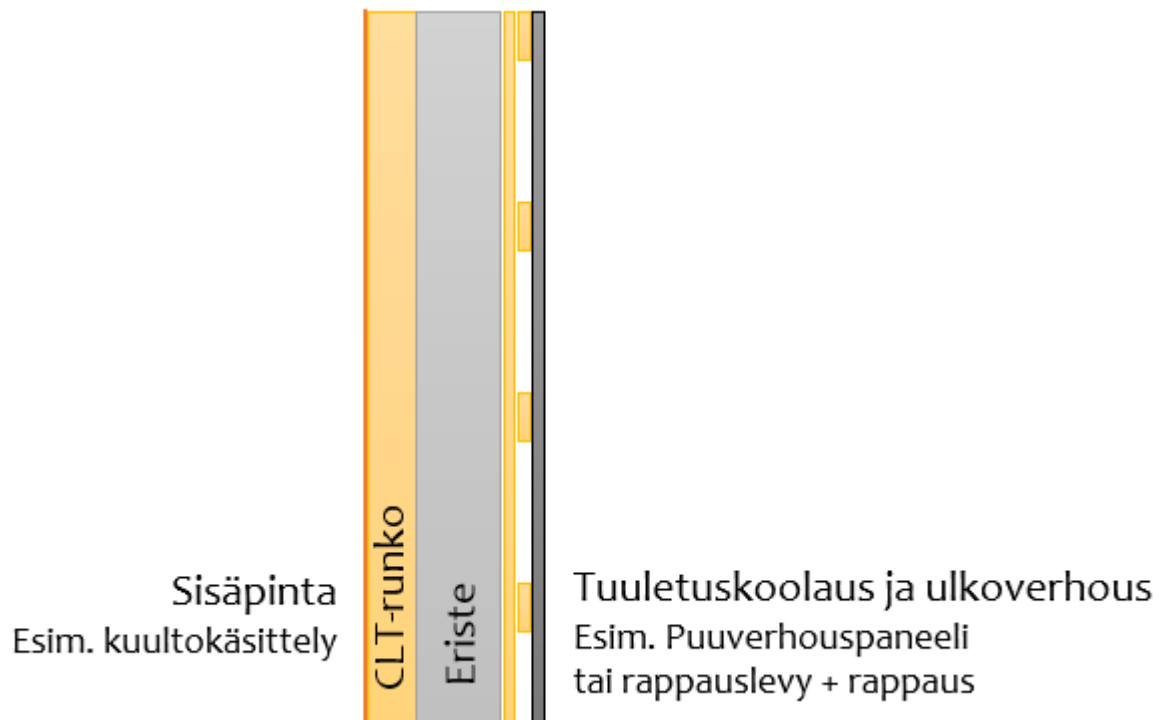
Kuva 16. Periaatekuva. Seinäelementti pystytuilla ja tuuletusraoilla



Kuva 17. Periaatekuva. Alapohjatapit

4.2.2 CLT-eriste-ulkooverhous-elementin toteutus

Mietimme sisemmän CLT-levyn vaihtamista paksumpaan, koska uloimman CLT:n toteuttaminen kantavana rakenteena on lähes mahdotonta. Liitteen 1 mukaisessa esimerkkirakennuksessa tämä tarkoittaisi 80mm paksua levyä. Tällöin myös rakenteen hinta nousee ja kilpailukyvyyn säilyttämiseksi suunniteltiin uloimman levyn vaihtamista halvempaan vaihtoehtoon, kuten esimerkiksi ulkooverhouspaneeliin. Tämän ajatusmallin tutkimiseen ei kuitenkaan ole käytetty sen enempää aikaa, koska esimerkiksi Olament Oy toimittaa lähes identtistä elementtirakennetta. Paikalla rakennetuista CLT-rakenteista löytyy tietoa esimerkiksi RunkoPES 2.0:sta ja Stora Enson liittymädetaljikirjastosta. Kuvassa 16 on leikkaus Olamentin toimittamasta seinäelementistä.

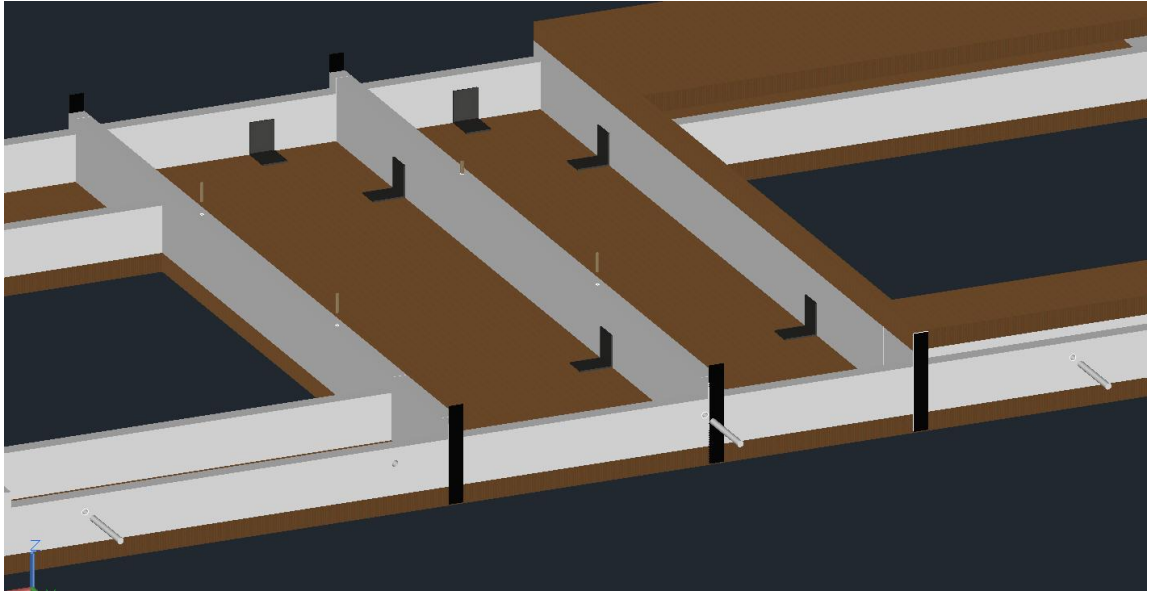


Kuva 18. Seinäleikkaus (Olament 2015)

4.2.3 Seinäelementin kasaus pystytysvalmiiksi tehtaalla

Vaihtoehdon CLT-Eriste-CLT mukainen elementtityyppi on ajateltu kasattavaksi kuvan 19 mukaisesti kulmarauodoilla, liitoslevyillä ja puutapeilla. Kuvassa 19 näkyvä alaohjauspuu ja yläsidepuu kiinnitetään tiukasti esimerkiksi kulmarauodoilla CLT-elementtiin. Yläsidepuuhun voidaan täten porata nostohaavat ilman että ne jäisivät näkyviin rakenteen näkyville pinnoille. Seuraavaksi elementtiin kiinnitetään pystytuet ja aukotusten ala- ja yläsidepuut valmiiksi porattuihin reikiin kulmarauodoilla. Aukotusten ympärysten puiden kohtaan on asennettava tiivistenauha kuvan 15 mukaisesti. Mikäli rakenne toteutetaan ilman tuuletusrakoa, eristeenä on käytettävä uritettua villaa.

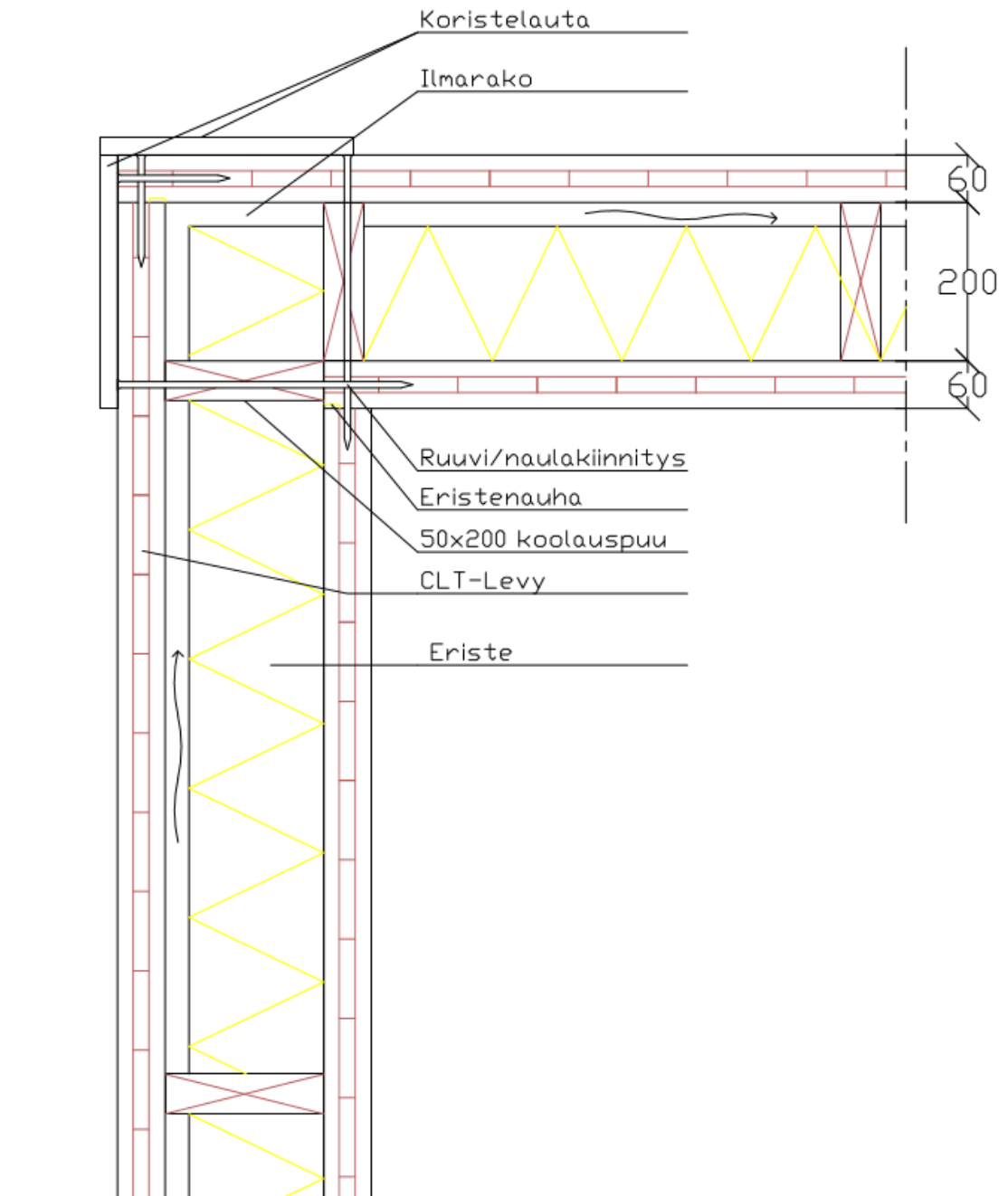
Viimeisenä valmiiksi muotoon työstetty uloimmainen CLT-elementti nostetaan paikalleen kiinnittämällä se esimerkiksi kuvan 19 mukaisilla puutapeilla tai kuvan 22 mukaisilla liittimillä ja liittämällä se pystypuihin liitoslevyillä. Liitoslevyt uritetaan puutavaran sisään niin, ettei se näy ulospäin. Puutappien tarkoitus on vastaanottaa liitoslevyille tulevaa leikkausrasitusta.



Kuva 19. Periaatekuva seinäelementin kasauksesta

4.3 Nurkkaliitosratkaisut

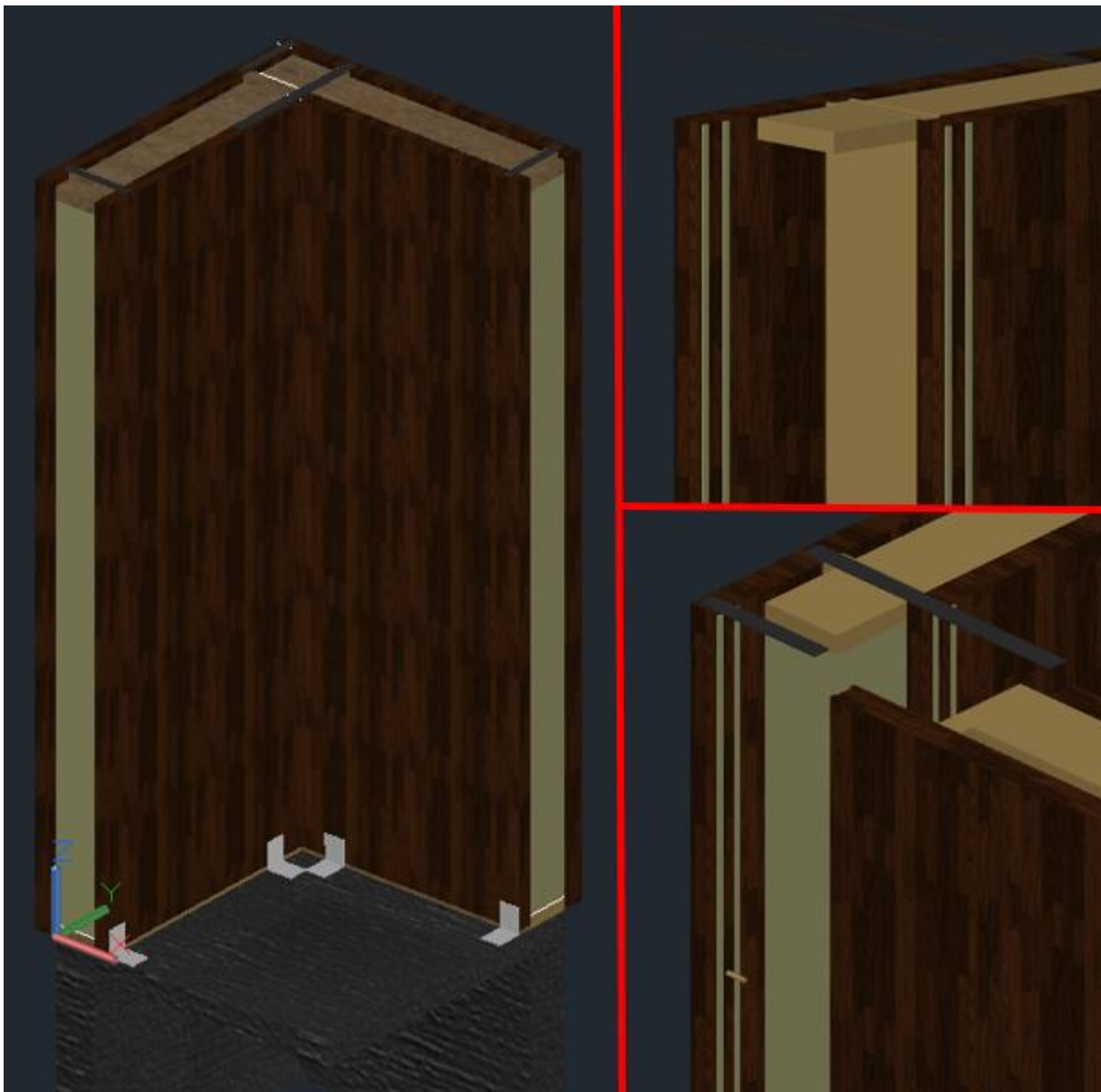
Kappaleessa esitetään kaksi ratkaisuehdotusta valmiiden seinäelementtien kiinnittämisestä toisiinsa. Kuvassa 20 näkyvässä pystyleikkauksessa valmiit elementit on ajateltu kiinnitettävän toisiinsa ruuviliitoksin nurkista. Ulkopuolelle jäävät ruuvien jäljet voidaan peittää kuvan mukaisesti arkkitehdin haluamalla koristelaudoilla. Tämä ehdotus mukailee tällä hetkellä käytössä olevaa rakennustapaa.



Kuva 20. Seinäelementtien kiinnitysehdotus 1

Kuvassa 21 on esitetty ratkaisuehdotus, jossa CLT-pinnat jäävät jäljistä kokonaan puhtaaksi. Työmaalla asennetaan kulmaraudat betoniin, johon valmis CLT-elementti nostetaan paikoilleen. Ennen seuraavan elementin nostamista paikalleen, paikalla olevaan elementtiin asennetaan eristysnauhat. Kuvassa 21 näkyvien suurennuksien mukaan CLT-levyjen liitoskohtiin liimataan puutapit tai seinien väliin asennetaan esimerkiksi kuvan 22 mukainen ripustinliitin. Lopuksi

seinät vedetään tiukasti kiinni ja varmistetaan niiden kasassa pysyminen kuvan 19 mukaisilla liitoslevyillä. Nurkkaliitoksessa puutappeja käyttämällä kuvassa 15 esiteltyä alapohjatappikiinnitystä ei pystytä käyttämään kuin ensimmäisessä asennettavassa seinässä. Kuvassa 21 näkyvät kulmaraudat jäävät lattiarakenteen alle piiloon.



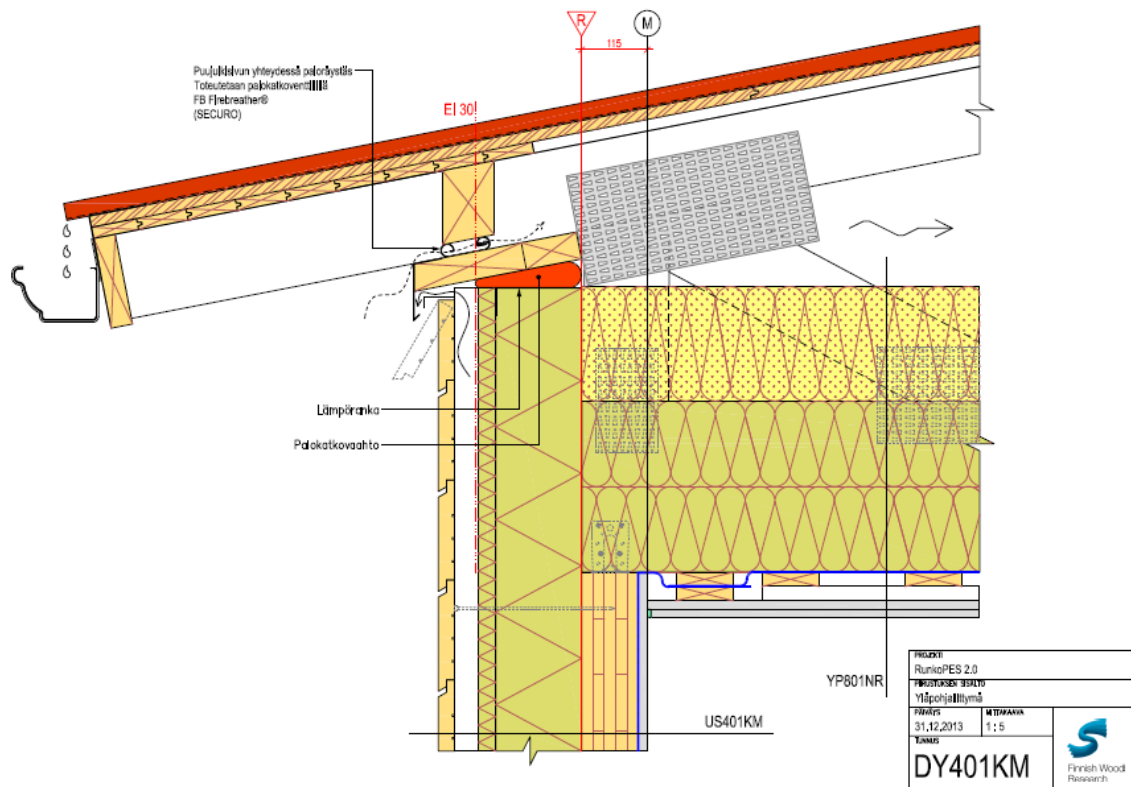
Kuva 21. Periaatekuva nurkkaliitos



Kuva 22. Simpson ET-ripustinliitin (Woodfocus 2006, 46)

4.4 Yläpohjaliitos

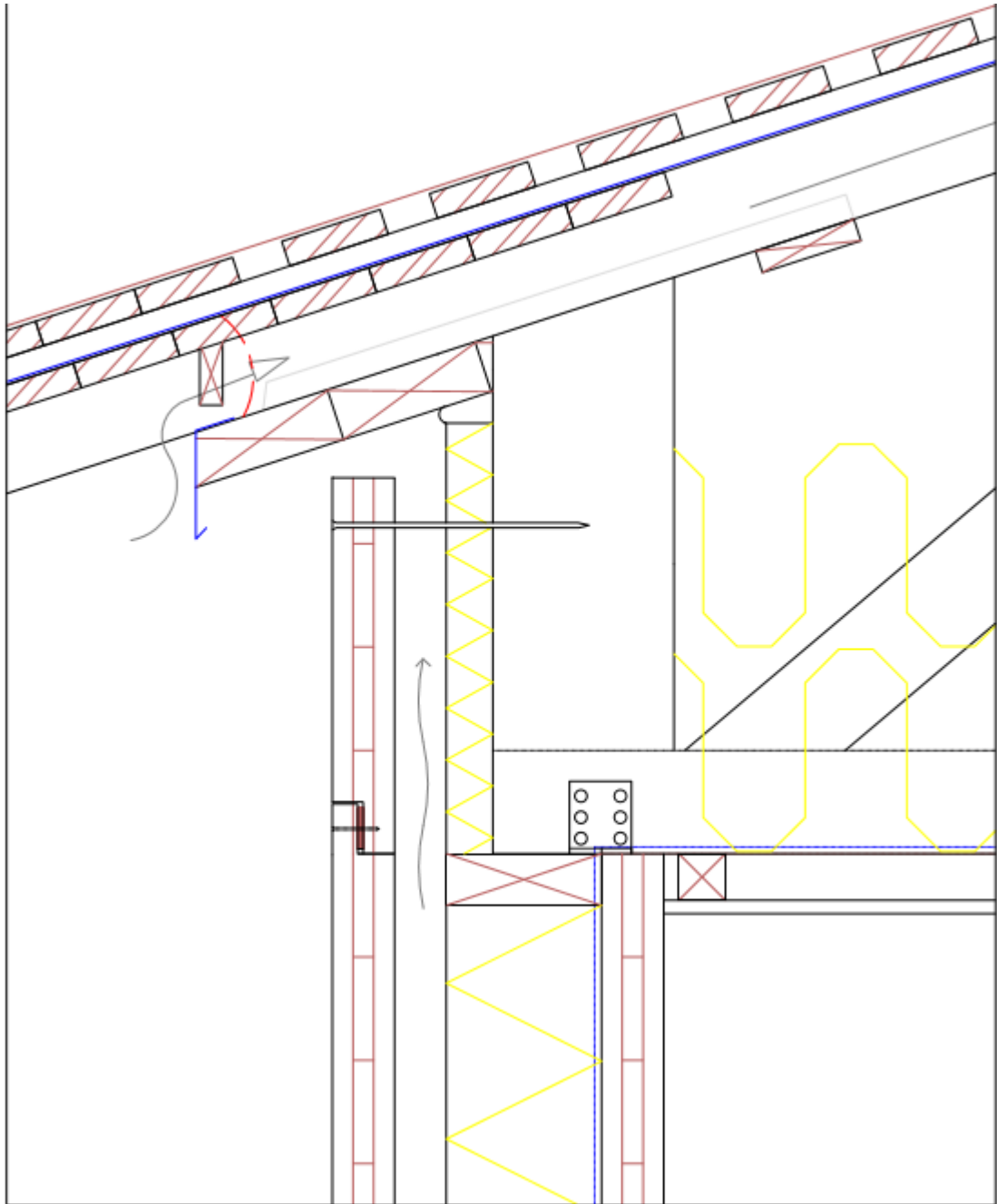
Kummassakin esitetyissä yläpohjaratkaisuissa on sovellettu kuvan 23 mukaista ohjetta. Kappaleessa esitetyt ratkaisut eivät poikkea paljoa jo valmiina olevista suunnitteluohjeista. CLT on vesihöyryä läpäisemätön materiaali, mutta kattorakenne ei välttämättä ole. Täten yläpohjaliitoksen suunnittelussa täytyy olla erityisen tarkkana höyrynsulun katkeamattomuuden suhteen. Rakennettaessa elementeistä niin, että CLT-pinta jää kokonaan näkyviin, höyrynsulkukalvon kiinnittämiseen löytyy pari vaihtoehtoa. Kuvan 24 mukaisesti höyrynsulku voidaan viedä seinäelementin sisälle, mikä tarkoittaa, että höyrynsulkukalvon täytyy olla asennettuna elementtiin jo sen työmaalle saapuessa. Toisena vaihtoehtona on kuvan 23 mukainen höyrynsulun asennus, joka tarkoittaa CLT:n päälle asennettavaa levyä.



Kuva 23. (Finnish Wood Recerach Oy. 2013, 55)

4.4.1 Yläpohjaratkaisu CLT-eriste-CLT seinälle

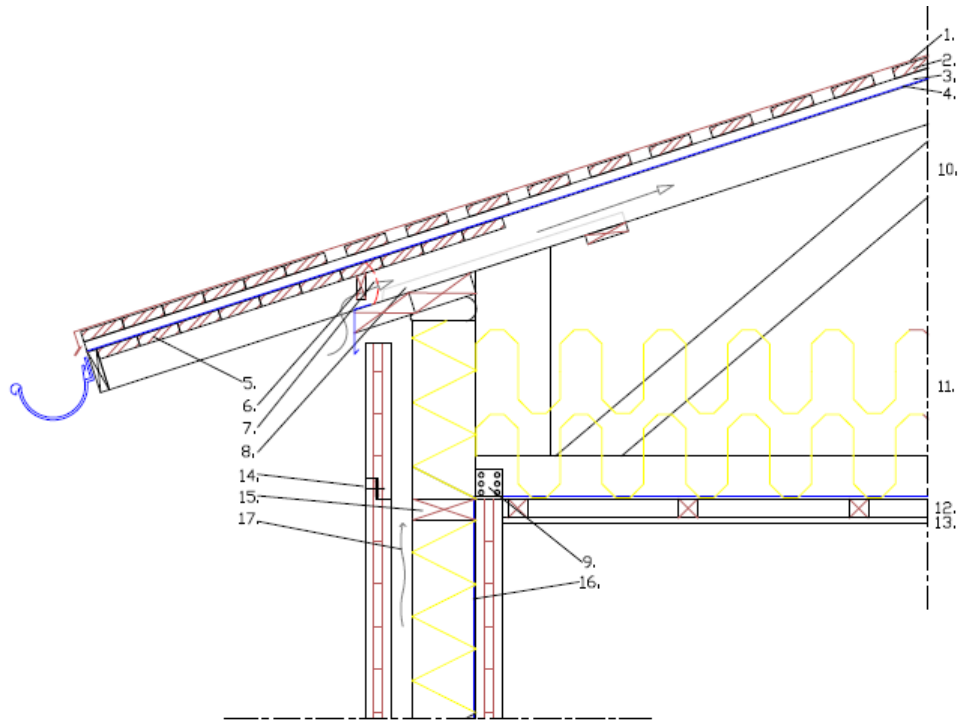
Vaihtoehto on rakennettu CLT-eriste-CLT-mallin pohjalle, jossa 50x200 koolauspuut antavat rakenteelle lisätukea. Vaihtoehdossa on esitetty viedä kattoristikot koolauspuiden päälle. Tällöin sekä CLT että runkopuut jakavat katolta tulevia kuormia perustuksille. Kuvassa 24 näkyvä kulmarauta on asetettava niin, että kattoristikolta tuleva kuorma jakautuu tasaisesti CLT levyille ja runkopuille.



Kuva 24. Ratkaisuehdotus yläpohjan kiinnitykseen

4.4.2 Yläpohjaratkaisu CLT-eriste ei kantavalla ulkoverhouksella

Kuvassa 25 näkyvä ratkaisuehdotus suunniteltiin paksumman sisemmän levyn pohjalle. Kuvassa uloimpana materiaalina on CLT-levy, mutta se voisi hyvin olla esimerkiksi ulkoverhouspaneelia. Rakenne-ehdotus ei poikkea muuten edellisestä, kuin että kattoristikko on sijoitettu ainoastaan sisemmän CLT-levyn päälle.



1. Esim. Konesaumakatto
2. Ruodelaudoitus 25x100 k150, Räställä, harjalla, järeissä läpivientien, lumiesteiden ja kattosilttojen kohdille umpilaudoitus
3. Tuuletuslaudoitus 25x100
4. Aluskate
5. Laudoitus 25x100
6. Lauta
7. Hyöntelsverkko
8. Tuulenojain
9. Kulmalevy
10. Kattoristikko
11. Eriste 400mm
12. 50x50 k600 harvalaudoitus
13. Sisäverhous
14. CLT liitos
15. 50x200 Lauta, johon tehty tuuletusta varten uritus
16. Höyrysulku
17. Tuuletusrako

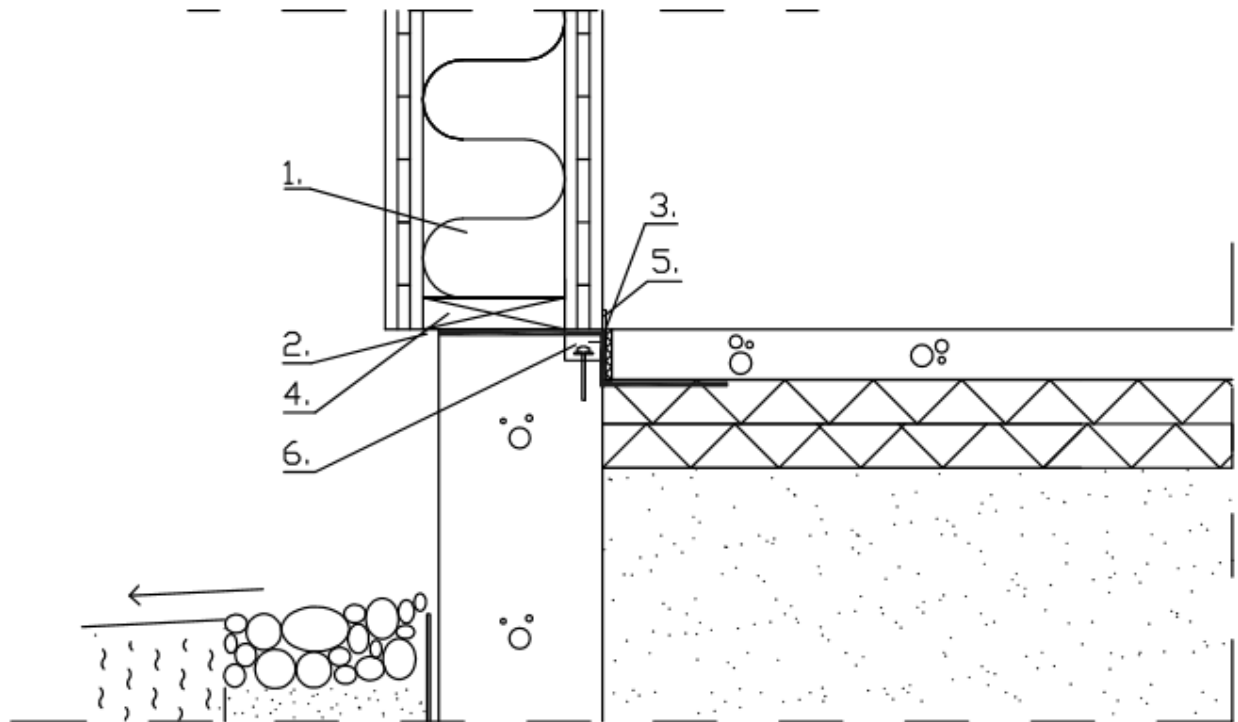
Kuva 25. Esimerkkiratkaisu yläpohjaliitoksesta

4.5 Alapohjaliitokset

4.5.1 Alapohjaliitokset, vaihtoehto 1

Ensimmäisessä alapohjaliitoksessa CLT-elementti liitetään perustuksiin alasidepuun avulla. Alasidepuuhun tehdään työmaalla tarvittaessa tuuletusrako riippuen siitä, onko elementtiin valmistettu tuuletus jo tehtaalla vai ei. Tuuletusrako havainnollistetaan kappaleessa 4.2.1 kuvassa 17. Tuuletusraon alapintaan

asennetaan pieneläinverkko tuholaisvahinkojen minimoimiseksi. Opinnäytetyön edetessä kävi ilmi, että eristettä tulee olla enemmän kuin 200 mm, jotta riittävä U-arvo saavutetaan (liite 6). Alasidepuun täytyy olla vähintään 225x50, jota voidaan tarvittaessa korottaa, mikäli kiinnitystapa, kuten ruuvit, vaatii lisää tilaa. Kuvassa esitetyn rakenteen alasidepuun koko on 225x50, mikä on harvemmin tuotettu koko (Puuinfo 2016). Alasidepuuta voidaan kaventaa, jolloin täytyy käyttää laadukkaampaa lämmöneristettä ja U-arvo laskettava uudelleen tai korottaa. Alasidepuun ja kantavan CLT-levyn alle tulee asentaa tiivistyskaista estämään kosteuden nousu rakenteisiin. Kantavana rakenteena toimivan CLT-levyn alle on tehtävä tasausvalu, jotta elementti saadaan tasaiselle alustalle. Näin ollen elementti saadaan vakaasti asennettua ja kuormat jakautuvat tasaisesti perustuksille. Tasausvalun sitominen sokkeliin tulee varmistaa sopivalla pultilla. Kuvassa 26 CLT-elementin kiinnitystä perustuksiin on vahvistettu naula-levyllä. Kiinnitykselle on monta vaihtoehtoa ja ne on mitoitettava huolella. Lämmöneristeen asentamista helpottamaan voidaan käyttää lämpörankaa. Tasausvalu voi olla laastista tehty (Stora Enso 2012d, 4).



1. Uritettu min.villa, paksuus 225mm
2. Pieneläinverkko
3. Kosteuden nousemisen estävä tiivistenauha, esim EPDM
4. Alasidepuu 225x50
5. Naulalevy
6. Tasausvalu

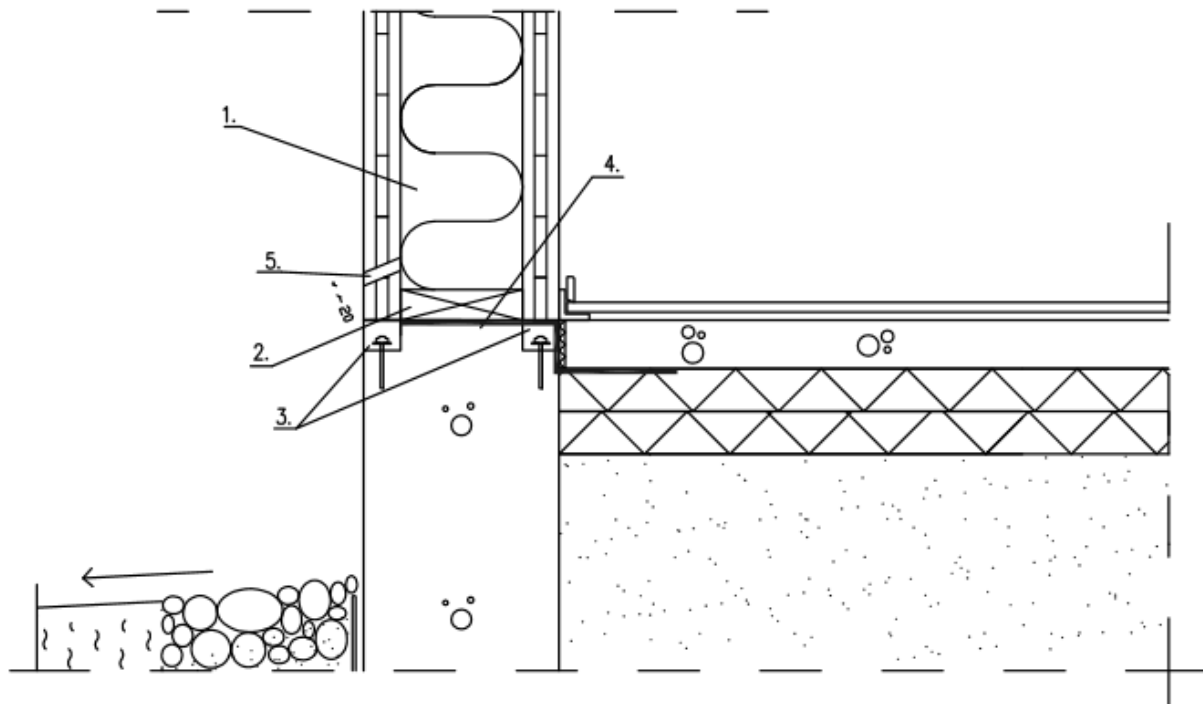
Kuva 26. Alapohja vaihtoehto 1

4.5.2 Alapohjaliitokset, vaihtoehto 2

Kuvassa 27 näkyvä alapohjaliitos on pitkälti hyvin samanlainen kuvan 26 kanssa. Vaihtoehto 2:ssa elementin eristeen ja uloimman levyn välisen tilan tuuletus järjestetään alasidepuun tuuletusraon sijaan CLT-levyyn tasaisin välein porattavilla tuuletusrei'illä. Tuuletusrei'kiä käytetään betonisandwich-elementtirakentamisessa, eikä se ole CLT-elementeissä yleisesti käytetty ratkaisu (Teriö 2003, 15). Ville Martikainen teki omaa julkaisematonta opinnäytetyötä samaan aikaan tämän opinnäytetyön teon kanssa ja hän vahvisti mallinnusohjelmilla puolen toista metrin välein olevien halkaisijaltaan 20 mm tuuletusrei'kien toimivuuden. Tasausvalun ja elementin välissä tulee olla perustuksis-

ta nousevan kosteuden katkaisevaa materiaalia, joka voi olla esimerkiksi EPDM-kumitiivistettä (Finnish wood research 2013, 11).

CLT-levyjen ollessa tuettuna tasausvalun avulla perustuksiin, kumpaakin voisi periaatteessa käyttää kantavana rakenteena.



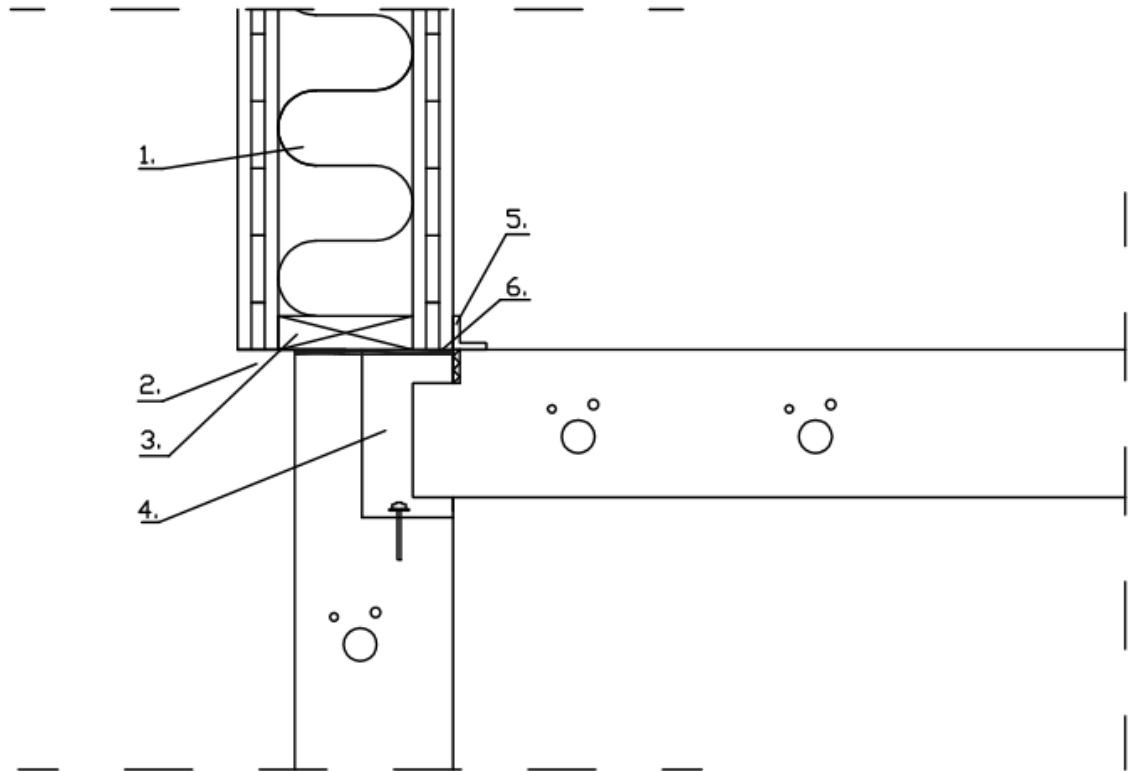
1. Uritettu min.villa 225mm
2. Alasidepuu 225x50
3. Tasausvalu
4. Kosteuden nousemisen estävä tiivistenauha, esim EPDM
5. Tuuletusreiät halk 20mm k1500

Kuva 27. Alapohja vaihtoehto 2

4.5.3 Alapohjaliitokset, vaihtoehto 3

Kuvassa 27 esitetty vaihtoehto 3 on pitkälti samanlainen vaihtoehto 1:n kanssa. Erona on se, että vaihtoehto 3 ei ole perustettu maanvaraisesti ja sopii sekä tuulettuvalle alapohjalle että kellarille. Tämä detajli on muokattu RunkoPES 2.0:

ssa olevan alapohjaliittymä-deteljin pohjalta (Finnish wood reserach 2013, 11).
Tässäkin tapauksessa tulee ottaa huomioon kosteuden katkaisu alasidepuun
kohdalta.

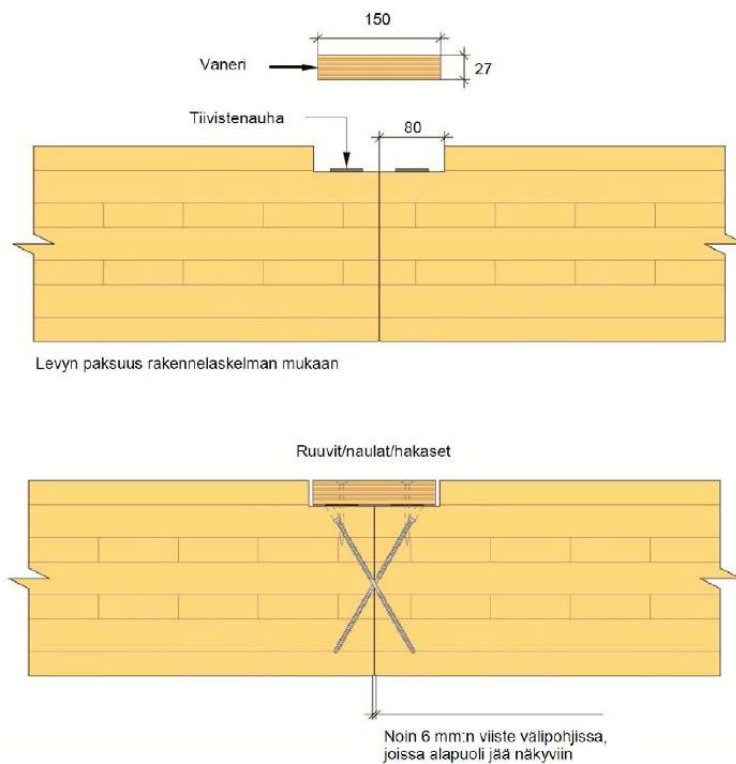


1. Uritettu min.villa 225mm
2. Pieneläinverkko
3. Alasidepuu 225x50
4. Tasausvalu
5. Kulmarauta, mitoitus rakennesuunnitelman mukaan
6. Kosteuden nousemisen estävä tiivistenauha, esim EPDM

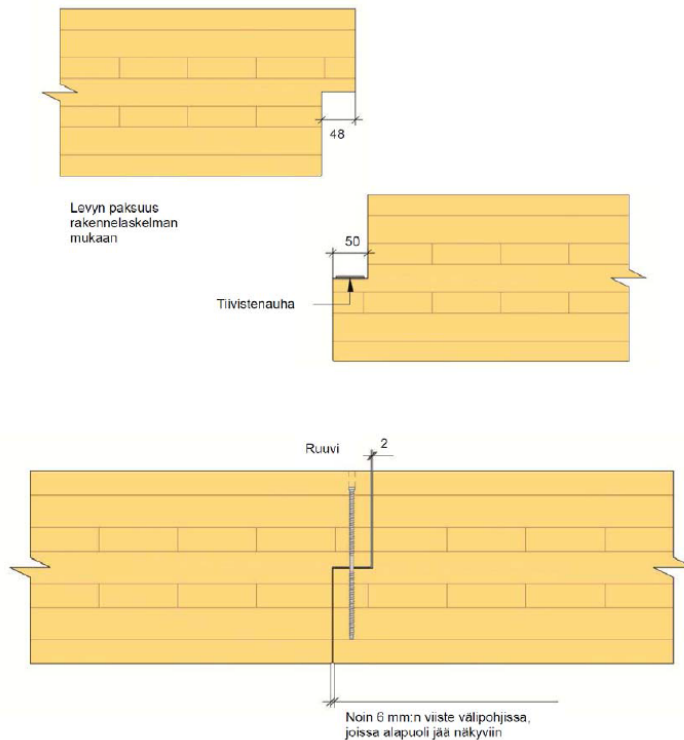
Kuva 28. Alapohja vaihtoehto 3

4.6 CLT-elementin jatkokset

CLT-levyjen jatkoksiin löytyy valmiita detalleja. Osa niistä on nostettu opinnäytetyöhönsä esille, koska esimerkkirakennuksen sivuseinät nousevat yli 3 metrin korkeuteen. 2,95 x 16 m on maksimi levyn mitta, minkä Stora Enso pystyy työmaalle toimittamaan. CLT-levyillä rakennettaessa on huolehdittava, että jatkokset ja liitokset ovat vesihöyryn läpäisemättömiä. (Binderholz 2016, 17–19). Tämän vuoksi jokaisen aukotuksen kohdalla on oltava tarkkana, että niihin asennetaan vähintään eristysteippi. Kuvissa 29 ja 30 on esitetty ehdotuksia CLT-jatkoksiin.



Kuva 29. (Puuinfo 2015c, 12)



Kuva 30. (Puuinfo 2015c, 11)

4.7 Kustannuslaskennan tulokset ja vertailut rakennetyypit

Opinnäytetyössä vertailtiin kolmea eri seinärakennetta. Vertailut seinärakenteet on suunniteltu vastaamaan lämpöarvoiltaan toisiaan. Täten vaihtelevat seinän ja eristeiden paksuudet eri rakennetyypeillä tulee myös huomioitua kustannuksissa. Kustannuslaskenta on tehty pääasiassa Klara Netillä ja kuvia ohjelman laskelmista on liitteessä 4. Seinävaihtoehdot on suunniteltu vastaamaan u-arvoltaan toisiaan. U-arvo laskelmat ovat liitteessä 6.

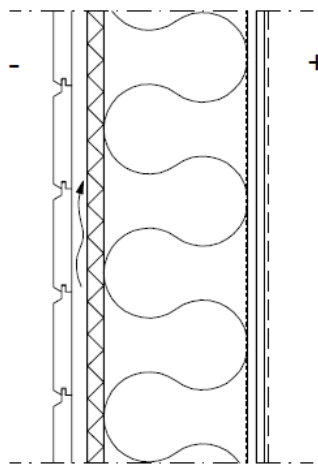
4.7.1 Puurankarunkoinen ulkoseinä

Puurankarunkoinen seinä on CLT-eriste-CLT –seinän pahin kilpailija; rakentajat ovat vuosien mittaan tottuneet rakentamaan pientaloja rankarunkoisina. Seuraavana kuvassa oleva rakenne on RT-kortistossa esitetyn hyvän rakennustavan mukainen. Rakenteen lämmönläpäisykerroin $U=0,157 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä poikkeaa CLT-elementtiseinän U-arvosta vain 0,8 %.

Puurankarakenteisen ulkoseinän kantavan rungon muodostavat 600 mm välein asennettavat 48x223 runkotolpat. Runkotolppien väliin asennetaan 225 mm paksu mineraalivilla lämmöneriste, jonka λ_{design} -arvon tulee olla vähintään 0,033

W/mK riittävään U-arvon saavuttamiseksi. Lämmöneristeen sisäpuolelle, lämpimälle puolelle, asennetaan 0,2 mm paksu höyrynsulkukalvo, jota ei CLT-rakenteessa tarvita lainkaan. Höyrynsulkukalvon tulee olla ehjä, limitysten tiiviitä sekä höyrynsulun kulkea jatkuvana läpi rakenteen, jotta höyrynsulku toimii suunnitellulla tavalla. Höyrynsulun jälkeen runkotolppiin kiinni asennetaan sisäpuolelle 13 mm paksu kipsilevy. Levyille levitetään tasoite 1,5 kertaa ja toinen kipsilevy asennetaan päälle. Tämä kipsilevy jää näkyviin sisäpinnalle. Sisemmän kipsilevyn pinta maalataan asiaan kuuluvalla kuivaan sisätilaan sopivalla maalilla.

Lämmöneristeen ja runkotolppien jälkeen ulkopuolella seuraava materiaali on tuulensuojaeriste. Tuulensuojaeriste on 25 mm paksua mineraalivillaa jonka $\lambda_{\text{design}} = 0,033 \text{ W/mK}$. Tuulensuojaeristeen päälle runkotolppien kohdalle asennetaan 25x50 pystylaudat, kuten puuverhoilussa CLT-seinässä. Laudat varmistavat tarvittavan 25 mm tuuletusraon rakenteelle. Lopuksi julkisivun muodostaa samanlainen 28x120 UTV-vaakaponttilaudoitus kuin puuverhoilusta CLT-seinässä. Samankaltaisuudet ovat tarpeen, jotta hinnat olisivat vertailukelpoisia.



Rakennekerrokset:

28 mm	Js-maalaukset, maali 2 kertaa, öljymaali
25 mm	Ulkoverhouslaudoitus, vaakaponttilaudoitus, ulkoverhouslauda 28x120 UTV
	Tuuletusväli
	Pystylaudat, 22...25 mm k 600 kiinnityslaudat runkotolppien kohdilla
25 mm	Tuulensuoja, mineraalivilla, $\lambda_{\text{Design}} = 0,033 \text{ W/mK}$
223 mm	Kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan, puurunko 48x223 k 600
	Lämmöneriste, 223 mm mineraalivilla, $\lambda_{\text{Design}} = 0,033 \text{ W/mK}$
0,2 mm	Ilman- ja höyrynsulku, polyeteenimuovikalvo, saumat ilman- ja höyrytiivit
13 mm	Kipsilevy, $\lambda_{\text{Design}} = 0,210 \text{ W/mK}$
13 mm	Seinätasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy
	Seinämaalaukset, maali 2 kertaa, kuiva tila

Kuva 31. Leikkauskuva puurankarunkoseinästä

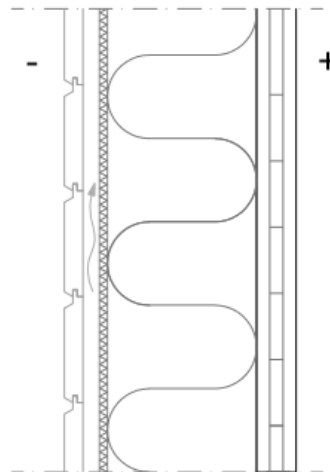
Taulukko 5. Puurankaseinän kustannukset rakennusosittain. Taulukon arvot on laskettu neliometriä kohden.

Rakenneosa	Hankinta, €	Materiaali, €	Työ, €	Tunnit, tth	Yhteensä, €
Js-maalauk, maali 2 kertaa, öljymaali, höylätty puupinta	0,00	2,83	5,46	0,19	8,29
Ulkoverhouslaudoitus, vaakaponttilaudoitus 28 mm	0,00	15,10	20,86	0,62	35,95
Tuulensuojalevy 25 mm, mineraalivilla, naulausvälike	0,00	14,21	2,38	0,07	16,59
Puurunko 223 mm k 600, ulkoseinä	0,00	13,11	18,50	0,55	31,61
Lämmöneriste 225 mm, mineraalivilla, ulkoseinä	0,00	21,32	4,30	0,15	25,62
Seinälevytys, kipsilevy 13 mm, 1-kertainen levytys	0,00	4,60	7,00	0,22	11,59
Seinätasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy	0,00	1,00	2,38	0,08	3,37
Seinämaalauk, maali 2 kertaa, kuiva tila	0,00	1,11	3,38	0,12	4,48
Seinän kokonaishinta					137,52

4.7.2 CLT-eriste-ulkoverhous-ulkoseinä

Ainoastaan sisimmän kantavan levyn ollessa CLT:tä loput ulkoseinästä rakennetaan paikalla pitkälti samaan tapaan kuin puurankainen vastine. Lämmöneris-

teenä toimii 225 mm paksu mineraavillaeriste. Lämmöneristeen λ_{design} -arvon tulee olla vähintään 0,033 W/mK riittävän U-arvon saavuttamiseksi. Ulkoseinä-rakenteen U-arvo on 0,155 W/m²K, mikä poikkeaa CLT-elementtiseinän U-arvosta vain 0,3 %. Lämmöneristeen sekaan asennetaan 600 mm jaolla pystyrangat lämmöneristeen ja ulkoverhouspaneelin asentamista varten. Pystyrangoilla ole varsinaista rakenteellista tarvetta kuin puurankaulkoseinässä, jossa ne ovat kantavia. Lämmöneristeen ja pystyrankojen jälkeen tulee tuulensuojalevy, joka on 12 mm paksu tuulileijona hyvän lämmöneristävyytensä ansiosta, jonka λ_{design} -arvo on 0,049 W/mK. Tuulensuojalevyn jälkeen pystyrankojen kohdalle kiinnitetään 25x50 pystylaudat, joilla varmistetaan rakenteen tuulettavuus. Ulkoverhouspaneelin kiinnittyessä suoraan pystylautoihin tulee tuuletusraon leveydeksi 25mm. Ulkoverhous tulee vaakaponttilaudoituksena 28x120 UTV- laudalla. Ulkoverhous viimeistellään asiaan kuuluvalla maalauksella (Rakennustieto Oy 2016, 151).



Rakennekerrokset:	28 mm	Js-maalaukset, maali 2 kertaa, öljymaali, sahattu puupinta
	25 mm	Ulkoverhous, vaakaponttilaudoitus 28x120 UTV
		Tuuletusväli
	12 mm	Pystylaudat, 22...25 mm k 600 kiinnityslaudat runkotolppien kohdilla
	223 mm	Tuulensuoja, tuulileijona 12 mm, $\lambda_{\text{Design}}=0,049$ W/mK
	225	Puurunko 42x223 k 600
	60 mm	Lämmöneriste, mineraalivilla, $\lambda_{\text{Design}}=0,033$ W/mK
		CLT-levy, $\lambda_{\text{Design}}=0,110$ W/mK
		Seinälevytytys, kipsilevytys, 1-kertainen levytys, $\lambda_{\text{Design}}=0,210$ W/mK
		Seinätaasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus
		Seinämaalaus, maali 2 kertaa, kuiva tila
Ominaisuudet:		Lämmönläpäisykerroin U = 0,1535 W/m ² K
		Rakenteen paksuus 375 mm

Kuva 32. Leikkauskuva CLT-eriste-ulkoverhous ulkoseinästä

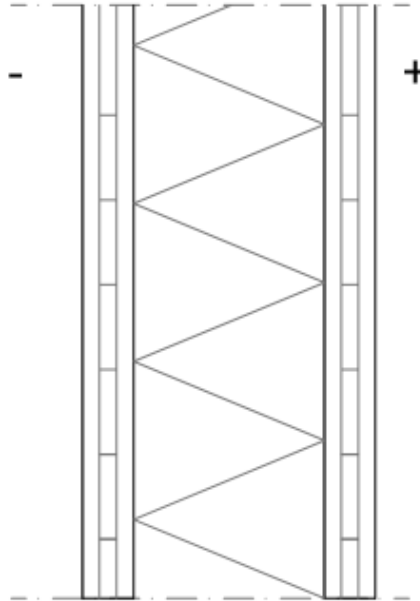
Taulukko 6. CLT-eriste-ulkoverhous-seinän kustannukset rakenneosittain. Taulukon arvot on laskettu neliometriä kohden.

Rakenneosa	Hankinta, €	Materiaali, €	Työ, €	Tunnit, tth	Yhteensä, €
Js-maalauk, maali 2kerta, öljymaali, höylätty puupinta	0,00	2,83	5,46	0,19	8,29
Ulkoverhous, vaaka- ponttilaudoitus 28 mm	0,00	15,10	20,86	0,62	35,95
Puurunko 223mm k 600, ulkoseinä, ei höyrynsulkua	0,00	12,00	18,50	0,55	30,50
Tuulensuojalevy 12 mm, puukuitulevy	0,00	3,21	2,38	0,07	5,59
Lämmöneriste 225 mm, mineraalivilla, ulkoseinä	0,00	21,32	4,30	0,15	25,62
CLT-levy, 60 mm	63,04	0,00	2,47	0,08	65,51
Seinälevytys, kipsile- vy 13 mm, 1- kertainen levytys	0,00	4,60	7,00	0,22	11,59
Seinätaasoite, taasoite 1,5 kertaa ja sauma- us, kipsilevy	0,00	1,00	2,38	0,08	3,37
Seinämaalauk, maali 2 kerta, kuiva tila	0,00	1,11	3,38	0,12	4,48
Seinän kokonaiskus- tannukset					190,92

4.7.3 CLT-eriste-CLT-ulkoseinä

CLT-elementtirakenteeksi kaavailtiin toimeksiantajan vision mukaisesti betonielementtirakentamisesta tuttua sandwich-rakennetta. Tässä rakenteessa olisi kaksi 60 mm paksua CLT-levyä, joiden välissä on 200 mm lämmöneristettä. Ville Martikainen laski julkaisemattomassa opinnäytetyössään rakenteen U-arvoksi noin 0,15 W/m²K. Jotta päästäisiin samaan lukuun, pitää eristettä olla 225 mm 200 mm sijaan ja eristeen tulee olla parempaa kuin vertailuseinissä eli 0,031 W/m²K 0,033 W/m²K:n sijaan. Lopulliseksi U-arvoksi saatiin 0,155 W/m²K. Muut seinävaihtoehdot suunniteltiin vastaamaan U-arvoltaan CLT-elementtiseinää. Elementistä suunniteltiin alun perin tuulettumatonta, mutta kosteusteknisen toimivuuden takia siihen täytyi lisätä tuuletusrako. Seinän U-arvoa heikentää se, ettei ulointa CLT-levyä voida ottaa mukaan u-arvoon.

Elementissä käytettävän lämmöneristeen täytyy olla uritettua, jotta kosteus ei aiheuta rakenteessa ongelmia. Elementin tuuletus hoidetaan uritetun eristeen sekä tuuletusraon avulla. Myös tuuletusreiät tasaisin välimatkoin ovat mahdollisia (Teriö 2003, 15). Eristeen sekaan asennetaan 600 mm välein 50x220 pystytuet nurjahduksen estämiseksi sekä eristeen asentamista varten.



Rakennekerrokset:

60 mm	Pintakäsittely
223 mm	CLT-levy, $\lambda_{\text{Design}} = 0,110 \text{ W/mK}$
225 mm	Puurunko 42x223 k600
225 mm	Lämmöneriste, mineraalivilla, $\lambda_{\text{Design}} = 0,031 \text{ W/mK}$
60 mm	CLT-levy, $\lambda_{\text{Design}} = 0,110 \text{ W/mK}$
13 mm	Seinälevytys, kipsilevy, 1-kertainen levytys, $\lambda_{\text{Design}} = 0,210 \text{ W/mK}$
	Seinätaasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy
	Seinämaalauus, maali 2 kertaa, kuiva tila

Ominaisuudet:

Lämmönläpäisykerroin $U = 0,1545 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Rakenteen paksuus: 345 mm

Kuva 33. Leikkauskuva CLT-eriste-CLT-ulkoseinästä.

Taulukko 7. CLT-eriste-CLT-seinän kustannukset rakenneosittain. Arvot on las-
kettu neliometriä kohden.

Rakenneosa	Hankinta, €	Materiaali, €	Työ, €	Tunnit, tth	Yhteensä, €
CLT-levy, 60 mm	63,04	0,00	2,47	0,08	65,51
Puurunko 223mm k 600, ulkoseinä, ei höyrinsulkua	0,00	12,00	18,50	0,55	30,50
Lämmöneriste 225 mm, mineraalivilla, ulkoseinä	0,00	21,32	4,30	0,15	25,62
CLT-levy, 60 mm	63,04	0,00	2,47	0,08	65,51
Seinälevytys, kipsile- vy 13 mm, 1- kertainen levytys	0,00	4,60	7,00	0,22	11,59
Seinätasoite, tasoite 1,5 kertaa ja sauma- us, kipsilevy	0,00	1,00	2,38	0,08	3,37
Seinämaalauus, maali 2 kertaa, kuiva tila	0,00	1,11	3,38	0,12	4,48
Seinän kokonaiskus- tannukset					206,58

5 Analyysi

Tässä luvussa analysoimme ja tulkitsemme pääasiassa luvussa 4 esitettyjä tuloksia. Tuloksia tarkastellaan osa-alueittain ja analyysit kootaan pohdinnassa.

5.1 Rakennelaskelmien analysointi

Luvussa analysoidaan elementin mitoituksen tuloksia. Elementissä käytettävä CLT on mitoitettu sekä Stora Enson CLTEngineering-ohjelmalla sekä käsin laskemalla eri ohjeiden mukaisesti.

5.1.1 CLTEngineering-laskurin tulosten analysointi

CLTEngineering-ohjelmaan on syötetty koko CLT-levyn tiedot. Ohjelma laskee levylle rasitukset ja antaa suurimmat käyttöasteet prosentteina loppuraporttiin. Sen lisäksi ohjelmasta voidaan klikata haluttu kohta, josta nähdään valitun kohdan käyttöaste.

Laskurin tuloksissa huomiota herättää harmaa alue jokaisen aukotuksen yläpuolella. Kuten aiemmin on todettu, harmaa alue tarkoittaa, ettei siellä olisi rasi-
tusta ollenkaan, vaikka yläpuolella on kattoristikko. Tämä selittyy aukotuksen yläpuolelle jäävästä nurjahduspituudesta, joka laskee 2800 millimetristä 700 millimetriin. Tällöin 700 mm pitkälle ja 60 mm leveälle CLT-levylle tuleva rasitus on olematon.

Toinen merkillepantava asia on kattoristikon sijoitus seinän reunoilla. Käyttöaste pieneni huomattavasti ja suurin rasituspiste vaihtui suurimman aukon viereen, kun kattoristikon sivummaista sijoituspaikkaa vaihdettiin. Käsinelaskuihin verrattaessa tulokset ovat lähes samat 60 mm levyllä ja maksimikuormilla silloin kun uloimmat kattoristikot ovat 50 mm päässä seinän reunasta (Taulukko 8).

Taulukko 8. Käsinlaskujen ja Stora Enson CLTengineering laskurin tulosvertailu

Laskentatapa	CLT paksuus, mm	Nurjahduksen käyttöaste, %
Stora Enso CLTengineering	60	199
Käsinlasku	60	229
Stora Enso CLTengineering	80	84
Käsinlasku	80	95

5.1.2 Käsinlaskujen analysointi

Kuten aiemmin todettiin, CLTengineering-ohjelman tulosten perusteella rakenteesta otettiin tarkempaan tarkasteluun nurjahduspituus. Nurjahduspituus laskettiin 60mm CLT-levyllä maksimikuormilla CrossLamin ohjeiden mukaisesti (CrossLam Kuhmo CLT 2015). Saatua tulosta verrattiin Stora Enson ohjelmasta saatuun tulokseen (Stora Enso 2016a). Tulosten ollessa lähes samat, käsinlaskuista kirjoitettiin Excel-taulukko, johon voitiin vaivattomasti vaihtaa rakenteen sivunpituutta, korkeutta, sekä sen sijoittelua. Rakennuksen sijainnin vaihtaminen tässä yhteydessä tarkoittaa kuormien muuttumista.

Laskelmia varten tehtyyn Excel-laskuriin syötettiin taulukoiden 3 ja 4 mukaisesti eri variaatioilla arvoja mahdollisimman korkeaksi ilman, että nurjahduksen käyttöaste ylittyy. Näin toimimalla 60 mm paksulle CLT-levylle saatiin alustavia raja-arvoja. Käyttöaste saatiin pysymään riittävän alhaisena 60mm paksulla levyllä monessa tapauksessa, mutta tällöin rakennuksessa on jouduttu tinkimään jostain muusta. Esimerkkinä taulukon 4 sarake 5, jossa rakennus on kuviteltu sijoitetuksi Joensuuhun esikaupunkialueelle. CLT:n paksuudeksi riittää 60 mm niin pitkään, kunhan kattoristikoiden jänneväli ei ylitä 6,4 m. Tällöinkin rakennuksen korkeus tai sijainti eivät saa vaihtua, jottei tuulikuorma nouse. Isomman kuin 6,4 m pitkällä ristikkojännenälillä olevan rakennuksen voisi kuitenkin toteuttaa esimerkiksi pystyttämällä rakennukseen kantavia sisäseiniä, jotka jakavat katolta tulevaa kuormaa perustuksille.

5.2 Liitosdetaljit

Luvussa analysoidaan aiemmin esitettyjen liitosdetaljien toimivuutta, niissä huomioitavia eritysseikkoja ja mahdollisia ongelmia. Luku sisältää CLT-sandwich-elementin toteutuksen, nurkkaliitokset sekä ylä- ja alapohjaliitokset.

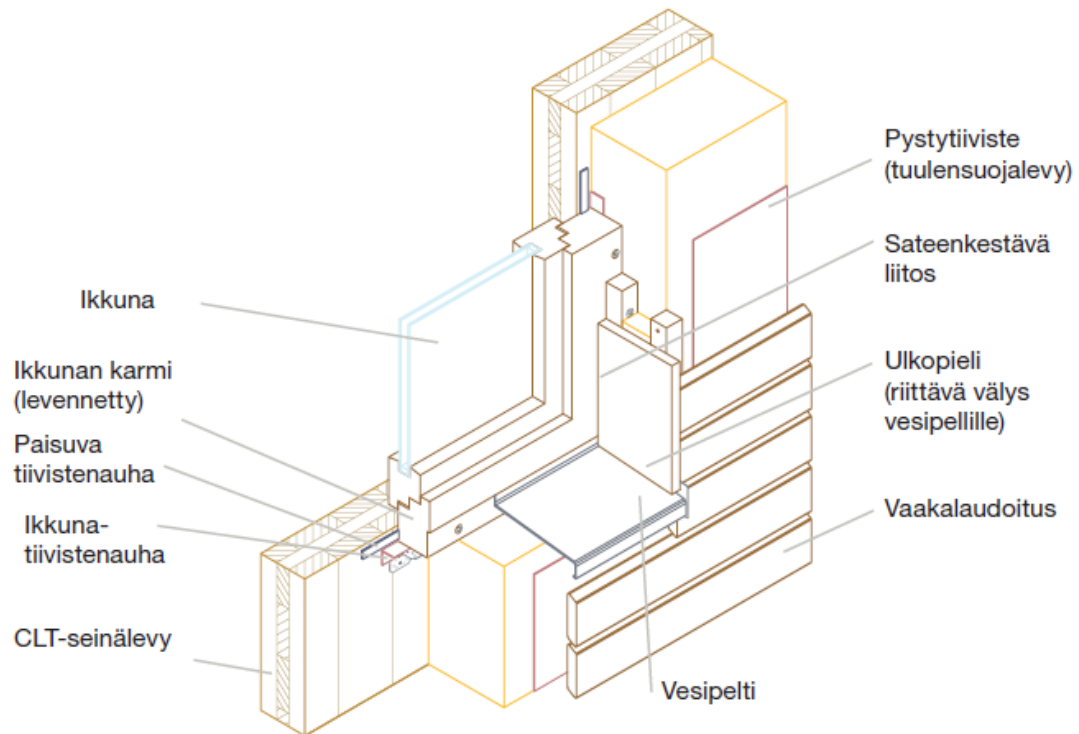
Kuten kappaleessa 2 mainittiin, suurin osa rakenteen detaljeista täytyi kehittää varta vasten opinnäytetyötä varten. Tässä kappaleessa selvitetään tarkemmin esimerkkirakennukseen soveltuvia detaljeita. Vaikka useissa kuvissa uloimpina ja sisimpinä levyinä näkyvät 60 mm paksut CLT-levyt, ratkaisut on mahdollisia toteuttaa toisen kokoisilla levyillä.

Opinnäytetyössä selvitettiin, kuinka CLT-sandwich-elementin voisi kasata tehtaalla pystytysvalmiiksi. Rakennetta on täten lähdetty suunnittelemaan niin, että se olisi mahdollisimman helppo asentaa työmaalla ilman erityiskoulutuksen saanutta henkilökuntaa. Yksi suurimmista suunnittelun määräävistä seikoista oli, ettei CLT:ssä saa näkyä ylimääräisiä kiinnitysjälkiä. Saadut ratkaisut ovat näin ollen poikkeavia tavallisesta CLT-rakentamisesta.

5.2.1 CLT-sandwich-elementtiseinän toteutus

Kappaleessa 4.2.1 esitetyssä CLT-eriste-CLT-ajatusmallissa, jossa koolauspuut toimivat nurjahdustukina, rakennus olisi lähes sama tehdä puurankarunkoisena. CLT jäisi näin toteuttaen vain koristeeksi. Suurimmat ongelmat tällä menetelmällä muodostuvat hintalisistä ja rakenteellisena ongelmana on mainittava, että pystytuet on kiinnitettävä niin, että ne todella ottavat rakenteelle tulevaa puristusta vastaan.

Rakennettaessa kevyemmällä ulkoverhousmateriaalilla kuvan 19 mukaisia runkotolppia ei välttämättä tarvita muuten kuin aukotusten sidepuiksi. Sidepuut voidaan korvata metallisella kiinnityksellä halutessa kuvan 34 mukaisesti.



Kuva 34. Aukotusten toteutus metallisella kiinnityksellä (Stora Enso 2012e, 8)

5.2.2 Nurkkaliitokset

Kuten kappaleessa 3.5 mainitaan, yleisesti CLT-levyillä rakennettaessa levyistä kasataan ensin työmaalla rakennuksen runko. Levyt eivät tuota näin rakentaen nurkissa ongelmaa, koska ne voidaan ruuvata kuvan 20 mukaisesti päistä kiinni. Ruuvauksen jälkeen seiniin asennetaan eristekerros ja ulkoverhous, joiden alle kiinnityksestä syntyvät jäljet jäävät. Täten suurimmat ongelmat nurkkien liittämisesä ovat tehtaalla valmiiksi kasatun elementin kiinnitysten piiloon saaminen ja rakenteen ilmatiiveyden varmistaminen. Yksi toimeksiantajan pyynnöistä oli saada liitoskohdat täysin piiloon, siksi kappaleessa 4.3 esitetyt ratkaisut ovat normaalista poikkeava.

Ensimmäinen esitetty kiinnitystapa mukailee perinteistä RunkoPES 2.0:n antamaa ohjetta CLT:n nurkkaliitoksiin. (Kuva 20) Tämä ratkaisu on todettu toimivaksi CLT:n nurkkaliitoksissa. Näin rakentaen nurkkiin on pakko lisätä pienet verhoilulaudat, joka on ristiriidassa toimeksiantajan toiveesta jättää ulos ainoastaan CLT näkyviin. Vaihtoehtoisesti ruuvien jäljet on onnistuttava peittämään jollain muulla keinolla.

Toinen esitelty nurkkaliitos on kehitetty opinnäytetyötä varten (Kuva 21). Nurkkaliitosehdotuksessa esitetyt puutapit ja ripustinliittimet asennetaan rakenteeseen ilmatiiveyden varmistamiseksi. Katolta päätyseinille kuormaa tullessa rakennuksen päätyseinät voi ajatella tikkuna, jota painetaan päistä. Tikku alkaa taipua liiallisen rasituksen takia ainoaan vapaaseen suuntaan. Tämän takia nurkkien rakoutuminen on estettävä. Seinien tullessa valmiina tehtaalta elementteinä, nurkkia ei voida kiristää toisiinsa ulkopuolelta esimerkiksi kulmaraudoilla, ja sisäpuolelta kulmaraudat jäisivät näkymään. Ainoaksi keinoksi rakoutumisen estämiseksi jää täten joko ripustinliittimien tai puutappien käyttö. Kuvassa 21 ylhäältä näkyvät liitoslevyt ovat helppo asentaa, koska ne jäävät yläpohjan alle piiloon.

5.2.3 Yläpohja

Yläpohjaa suunniteltaessa havahduttiin siihen, että vaikka CLT-seinä on höyryä läpäisemätön, puurakenteinen katto tarvitsee höyrynsulkukalvon. Täten yläpohjaratkaisuissa keskityttiin lähinnä löytämään ratkaisu höyrynsulun asentamiseen niin, ettei se jää näkyviin (Kuvat 24 ja 25). CLT-Eriste-CLT-rakenteessa, jossa koolauspuut toimivat nurjahdustukina, ongelmaksi voi muodostua yläpohjan liitos seinäelementtiin niin, että kattorakenteesta tulevat kuormat siirtyvät koolauspuille. Samalla eristys ja ulkoverhous täytyy pitää katkeamattomana. Ulkoverhouksen ja eristyksen kanssa ei ole ongelmaa, mutta kattoristikon kiinnityksessä olisi aihetta lisätutkimukselle.

5.2.4 Alapohja

Ulkoseinän ja alapohjan liitokseen kehiteltiin kolme erilaista vaihtoehtoa kappalessa 4.5 Alapohjaliitokset, joista lopullista rakennusta suunniteltaessa voidaan valita haluttu vaihtoehto. Vaihtoehdot näkyvät kuvissa 26–28. Alapohjaliitoksen valintaan vaikuttaa paljon perustamistapa eli onko rakennuksen alapohja tuuletettava vai perustetaanko alapohja maanvastaisesti. Vaihtoehdoissa on sopivia ratkaisuja molemmille perustusvaihtoehdoille. Alapohjaliitokseen vaikuttaa oleellisesti myös elementin kiinnitystapa.

5.3 Kustannuslaskenta

Opinnäytetyön edetessä ennen kustannuslaskelmien valmistumista CLT-eriste-CLT-rakenne ennakoitiin kalliiksi ratkaisuksi tavanomaiseen puurankarakentamiseen verrattuna. Opinnäytetyön edetessä rakennetta päätettiin muuttaa ja uloin CLT-levy joko korvata ohuemmalla levyllä tai vaihtaa levy paneeliverhoiluun, mikä säästäisi kustannuksissa. Stora Enson valmistamista CLT-levyistä ohuin on 60 mm paksu, mikä ei riitä yksinään opinnäytetyön pientalon kantavaksi rakenteeksi vaan tarvitaan 80 mm paksu CLT-levy. Toisaalta 60 mm CLT-levy on turhan kallis pelkäksi ulkoverhoukslevyksi. Ohuempaa CLT-levyä ei löytynyt muiltakaan CLT-valmistajilta. Kappaleessa 4.7 Kustannuslaskenta esitettyjen kolmen seinävaihtoehdon rakennusaika ja rakennuskustannukset on kerätty alla olevaan taulukkoon. Ensimmäisenä on ulkoseinävaihtoehtojen T4-työmenekki, joka jaetaan kolmen hengen työryhmille. Seinävaihtoehtojen rakennusajan vertailussa vaihtoehtoja 2 ja 3 verrataan ensimmäiseen vaihtoehtoon, joka on opinnäytetyön aiheena. Esimerkiksi vaihtoehto 2:n luku saadaan, kun $10/6,2 = 1,61$ ja se kuvastaa kuinka vaihtoehto 2:n rakentaminen kestää 61 % kauemmin kuin vaihtoehto 1:en. Taulukossa olevat työtunnit on saatu kertomalla kappaleessa 4.7 esitetyt rakenneosakohtaiset työmenekit seinäpinta-alalla, joka on kohdetalossa 115.05 m².

Taulukko 9. Kolmen seinävaihtoehdon rakennusajat työmenekkeinä sekä työvuoroihin jaettuna. Rakennusaika on laskettu kolmen hengen työryhmällä.

Rakenne	Työtunnit (T4), tth	Työvuorot, tv	Rakennusaika, tv	Rakennusajan vertailu (CLT-eriste-CLT = 1)
1. CLT-eriste-CLT	148	18,5	6,2	1,00
2. CLT-eriste-ulkoverhous	240	30	10	1,61
3. Puurankarunko	231	28,9	9,6	1,55

Taulukossa 9 luetelluista vaihtoehtoista CLT-eriste-CLT-rakenteen rakennusaika oli odotetusti lyhin. Todellisuudessa rakennusaika lienee vielä lyhempi kuin 6,2 työpäivää kun elementti kasataan tehdasolosuhteissa valmiiksi ja ainoastaan asennetaan työmaalla. Vaihtoehtojen kaksi ja kolme rakennusajat ovat koko rakennushankkeen näkökulmasta käytännössä samat. Taulukko todistaa opinnäytetyön teon alkuvaiheessa asetetun hypoteesin: CLT-eriste-CLT-rakenteen lyhyt rakennusaika tavanomaiseen puurankarakentamiseen verrattuna tasoittaa CLT-elementin tietä taloudellisesti mahdolliseksi ulkoseinärakenteeksi ja on samalla yksi sen vahvimista eduista.

Taulukko 10. Kolmen seinävaihtoehdon rakennuskustannukset jaoteltu hankinta-, materiaali-, ja työkustannuksiin. Lopuksi kokonaiskustannukset sekä neliöhinta.

Rakenne	Työt, €	Materiaali, €	Hankinnat, €	Kustannukset yhteensä, €	Kustannukset, €/m ²
1. CLT-eriste-CLT	4 657	4 605	14 506	23 768	206,58
2. CLT-eriste-ulkoverhous	7 675	7 037	7 253	21 965	190,92
3. Puurankarunko	7 392	8 430	0	15 821	137,52

Taulukkoon 10 on järjestelty eri seinävaihtoehtojen kustannukset. Huomioitavaa on, kuinka paljon CLT:n käyttäminen nostaa hankintakustannuksia, kun puolestaan puurankarunkoisessa vaihtoehdossa ei hankintakustannuksia ole ollenkaan. Kustannukset tasoittuvat materiaali- ja työkustannuksissa, joita ei CLT-rakenteilla ole niin paljoa. Puurunkoisen seinän ja opinnäytetyön aiheena olevan CLT-eriste-CLT-seinän hintaero on noin 8 000 euroa ja mikäli pientalokohteen kokonaiskustannukset olisivat 200 000 euroa, CLT:n valitseminen aiheuttaisi vain 4 % kokonaishinnan korotuksen.

Taulukosta 10 selviää, kuinka puurankarunkoinen vaihtoehto on kokonaiskustannuksiltaan selkeästi vertailun edullisin vaihtoehto. Tämä seikka oli tiedossa

ennakkoon, ja jotta CLT-rakenteilla on mahdollisuus menestyä markkinoilla, on CLT:n käytöstä saatava muuta hyötyä. CLT-rakenteissa ei tarvita höyrynsulkua, mikä lisää rakenteen kosteusturvallisuutta. Huonosti tehty höyrynsulku voi aiheuttaa ongelma kauan rakennuksen valmistumisen jälkeen ja vahinkoja voi olla vaikea havainnoida.

CLT-rakenteiden kokonaiskustannukset ovat lähellä toisiaan ja koko rakennusprojektiä tarkastellen aika lailla samat, mikä on yllättävää. Yksi peruste uloimman CLT-levyn vaihtamiselle ulkoverhouspaneeliin oli CLT:n kallis hinta. Kahden CLT-levyn hinnan tuoma ero tasoittuu CLT-eriste-ulkoverhous-seinän yli puolitoistakertaisen rakennusajan tuomalla työkustannusten kasvuna. Kustannuslaskelman perusteella opinnäytetyön aiheena ollut CLT-eriste-CLT-ulkoseinäelementti on todellinen vaihtoehto tavanomaiselle puurankarakentamiselle. Näistä elementeistä rakennettu seinä valmistunee todellisessa tilanteessa laskettua nopeammin, kun elementtejä kasataan tehdasolosuhteissa ja ainoastaan asennetaan työmaalla. Nopeampi rakennusaika tarkoittaa rakennuksen säältä suojaan saamista aikaisemmin, jolloin myös seuraavat työvaiheet päästään aloittamaan. CLT-eriste-ulkoverhous-vaihtoehdon etuna ovat helpommin toteutettavat liitokset, kun seinää rakennetaan paikan päällä ja esimerkiksi nurkkaliitosten tekeminen on käytännöllisempää.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää mahdolliseen CLT-sandwich-elementin jatkokehittelyyn sekä kappaletta 3 voidaan käyttää perehdyttämään lukija CLT:n ominaisuuksiin. Opinnäytetyössä saatiin selville vastaukset tutkimusongelmissa esitettyihin kysymyksiin, joita olivat CLT-rakenteen rakennekestävyyden selvittäminen, seinän kilpailukyky, elementin liitosdetaljiikan suunnittelu, koristelu-uritusten mahdollinen käyttö ja hukkapalojen järkevä hyödyntäminen. Lisäksi opinnäytetyötä tehdessä saimme kuulla, että CLT:ssä on ilmennyt äänestä paukahtelua koetalohankkeessa. Paukahtelun äänet voivat olla jopa häiritseviä, joten ne voivat syödä markkinapotentiaalia.

Toimeksiantajan vision mukaista rakennetta ei voi toteuttaa kahdella kantavalla levyllä. Toisaalta Vivola lupaa, että CLT-levyn voi jättää ulko-olosuhteille alttiik-

si, kunhan se on oikeaoppisesti pinnoitettu (Vivola 2016a). Tämä on ristiriidassa CLT toimittajien, sekä Lahtelan antamien käyttöluokkien kanssa. Lahtela mainitsee, ettei käyttöluokka 3 ole CLT:llä mahdollista toteuttaa (Puuinfo 2015b, 4). CLT toimittajat tukevat tätä antamalla CLT levyille käyttöluokiksi ainoastaan 1 ja 2. Täten RIL:n määrittämien käyttöluokkaohjeiden mukaan CLT levyä ei voi käyttää ulkona kantavana materiaalina. Tilanteessa, jossa CLT on saatu säältä suojattua, herää kysymys yläpohjaliitoksen onnistuneesta toteutuksesta, jossa liitos jakaisi katolta tulevan kuorman kummallekin CLT-levylle. Pelkän sisemmän levyn toimiessa kantavana rakenteena, idea voisi toimia. Opinnäytetyön tutkimuskohteen kaltaisia elementtiseiniä toimittavia yrityksiä on Suomessa. Ville Martikaisen julkaisemattoman opinnäytetyön mukaan rakenne on rakennusfysikaalisesti toimiva, kunhan tuuletuksesta huolehditaan joko tuuletusraolla tai vaikkapa tuuletusrei'illä tasaisin välein.

Opinnäytetyön edetessä ilmeni, että Suomen olosuhteissa normaalille 90 m² pientalolle tarvitaan vähintään 80 mm paksu kantava CLT-levy, jotta CLT:n nurjahduskestävyys on riittävä. Vastaavasti rakenne voitaisiin toteuttaa myös 60 mm paksuilla levyillä, jos rakennuksen sisälle sijoitettaisiin kantavia väliseiniä. Kolmas vaihtoehto on rakentaa sandwich-elementti kappaleen 4.2.1 mukaisesti, mutta tämä on ristiriidassa kantavan CLT-levyn toimintaperiaatteen kanssa. Näin rakennettaessa rakenne toimisi tavanomaisen puurunkoisen rakenteen tavoin. Neljäs vaihtoehto on tilaajan vision mukainen, tuuletusraollinen CLT-sandwich-elementtiseinä, joka on saatu säältä suojattua.

Rakennuskustannusten mukaan CLT-eriste-CLT-rakenne on mahdollinen vaihtoehto tavanomaiselle puurankarakentamiselle. Tutkimuksen valossa uloimman CLT:n vaihtaminen puuverhoukseen ei vähennä ratkaisevasti ulkoseinän kokonaiskustannuksia. Toisaalta CLT-rakentamisessa tulisi tarkastella kokonaisuutta yksittäisten rakenteiden kustannusten sijaan. Pientalorakentamisessa CLT:n edut, kuten rakennusnopeus, asennushelppous ja kosteusriskien väheneminen tavalliseen rakentamiseen nähden, korostuvat kun myös esimerkiksi väliseinät, väli- ja yläpohja rakennetaan myös CLT:stä. CLT:n edut pääsevät paremmin oikeuksiinsa kerrostalorakentamisessa, kun ei tarvitse odottaa betonin kuivumista. Lisäksi CLT-rakenteet ovat kevyempiä kuin betoniset vastineet ja vievät

vähemmän tilaa, mikä on omiaan säästämään rakenteiden koossa sekä myös elementtikuljetuksissa työmaalle (Stora Enso 2016b, 7).

CLT:n ollessa vielä uusi rakennusmateriaali Suomessa ja markkinoilla toimivan rakennetyypin kehittäminen on jatkuvan kehityksen alla. Saimme mielestämme suunniteltua rakenneratkaisuja, jotka voitaisiin ottaa jatkokehittelyyn käytännön testeihin. Liitokset pyrittiin suunnittelemaan, jotta ne olisi helppo ja nopea asentaa työmaalla. Jatkokehityksessä tulee ottaa huomioon ainakin työmaan muuttuvat sääolosuhteet, joka tarkoittaisi esimerkiksi elementtien ohjureiden, nurkka-, ylä- ja alapohjaliitosten jatkokehittelyä.

Koristelu-urituksille saatiin yksinkertainen vastaus: kaikki poikittaissuuntaiset viillot ja urat CLT-levyssä täytyy vähentää levyn paksuudesta, mikä heikentää sen kantavuutta. Urat ovat mahdollisia, kunhan ne otetaan huomioon käytettävän levyn paksuudessa. Käytettävän CLT-levyn vaihtaminen paksumpaan lisää kustannuksia muttei merkittävästi; CLT:n hinta muodostuu monesta tekijästä ja levyn paksuus on vain yksi niistä.

Hukkapaloille emme löytäneet kokonaisvaltaista ratkaisua. Tapauskohtaisesti tilaajasta riippuen ylimääräisiä levyjä voidaan käyttää erilaisiin puusepäntuotteisiin, kuten huonekaluihin, erilaisiin katoksiin ja niin edelleen. CLT-tehtailla kuitenkin suuri osa hukkapaloista menee tällä hetkellä polttoon. Elementti Sampo Oy:n työnjohtajan haastattelussa annettiin ymmärtää, että hukkapalojen hyödyntämisestä aiheutuvat kulut olisivat suuremmat kuin mahdolliset hyödyt.

CLT:tä käytetään kasvavissa määrin elementeissä sekä myös sellaisenaan rakentamisessa ja niiden suunnittelussa on paljon kehitettävää. Rakenneratkaisujen kehittyminen ja CLT:n yleistyminen rakentamisessa tulevat tulevaisuudessa laskemaan rakenteiden hintaa. Suuri osa Suomeen tulevasta CLT:stä tulee ulkomailta, kuten opinnäytetyöhön Stora Ensolta Itävallan tehtaalta. Kuhmoon perustettiin vuonna 2014 Crosslamin CLT-tehdas CLT:n suuren kysynnän pohjalta. Suomeen Kauhajoelle ollaan perustamassa uutta CLT-tehdasta. Tehtaan on tarkoitus käynnistää toimintansa vuoden 2017 syksyllä ja tuottaa CLT:tä seuraavana keväänä. Myös Alajärvellä neuvotellaan CLT-tehtaan perustamisesta entisen Honkarakenteen tehdasalueelle. Uudet CLT-tehtaat vastaavat kasvavaan CLT:n kysyntään, joka ajan myötä laskisi CLT:n hintaan. Tulevaisuudessa

CLT on entistä kilpailukykyisempi rakennusmateriaali betonin ja teräksen kanssa.

Lähteet

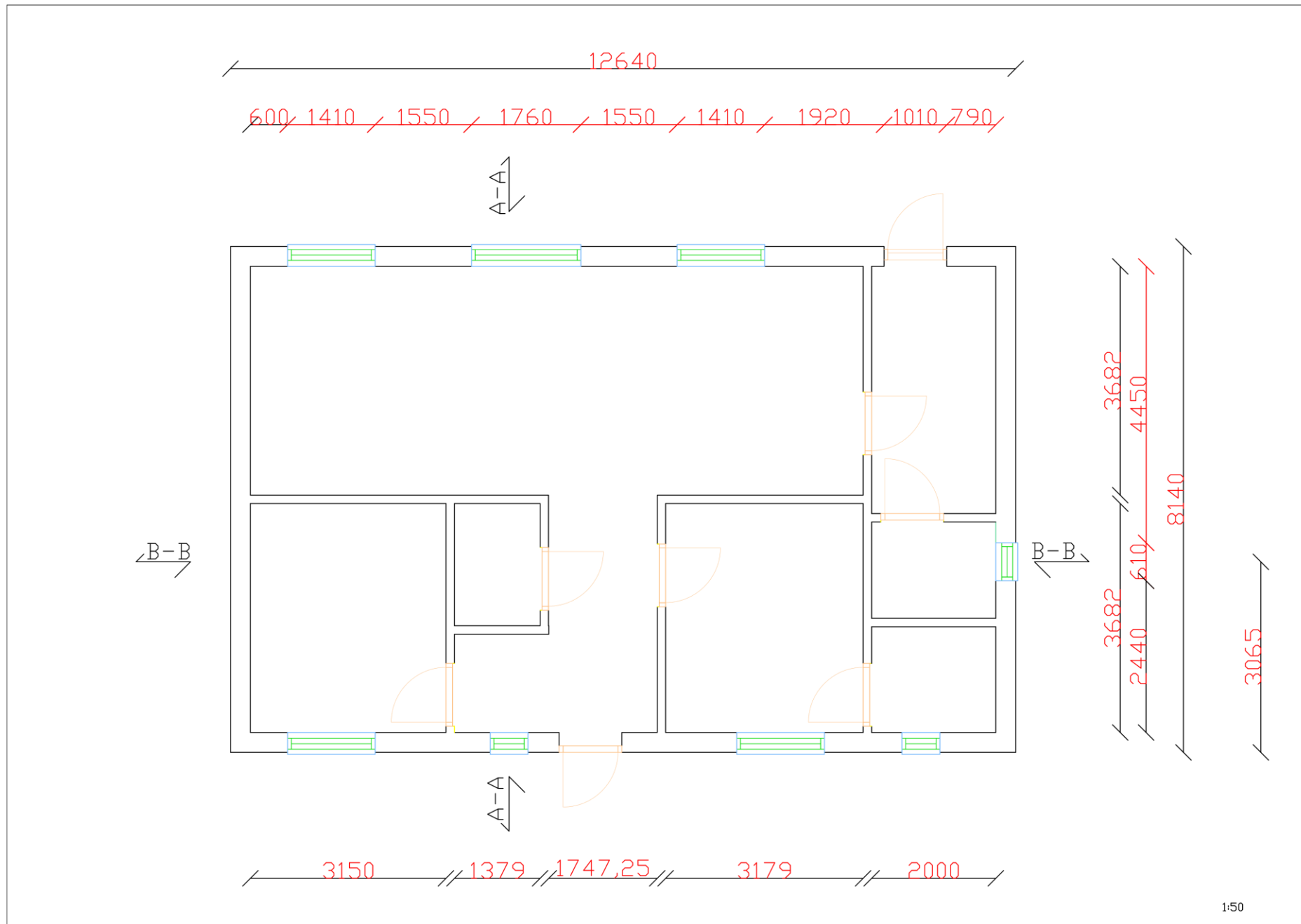
- Ahoranta Tytti. 2016. Opinnäytetyö kysymys. ville-petteri.1.horttanainen@edu.karelia.fi 4.11.2016
- Binderholz. 2016. Processing Guideline. Binderholz.
http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/BBS%20Verarbeitungsrichtlinie%20GB%20FIN.pdf 24.6.2016
- CrossLam Kuhmo CLT. 2015a. Seinän nurjahduskestävyys. CrossLam Kuhmo CLT. http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/esimerkki_1_seina-cc-88n-nurjahduskesta-cc-88vyys.pdf 28.7.2016
- CrossLam Kuhmo CLT. 2015b. Tukipainekestävyys. CrossLam Kuhmo CLT. http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/esimerkki_5_tukipainekesta-cc-88vyys.pdf 7.8.2016
- Haastattelun lähteenä: Tuotannon työnjohtaja. Elementti Sampo Oy. 17.5.2016
- Finnish Wood Research Oy. 2013. RunkoPES 2.0 OSA 12:Liittymä detaljikirjasto. Puuinfo. <http://docplayer.fi/5872819-Runkopes-2-0-osa-12-liittymadetaljikirjasto-31-12-2013.html>. 13.4.2016.
- Helamo Markku. 2016. Kysymyksiä CLT seinäelementistä. ville.petteri.horttanainen@gmail.com 16.5.2016
- Kastelli. 2016. Verso 90/104 City – Kastelli. Kastelli. <http://www.kastelli.fi/Pages/Templates/FloorPlanTemplate.aspx?modelld=47180>. 4.11.2016
- Kilpinen Pekka. 2012. Harjoitustyömalli Puurakenteisen talon rakenteiden mitoitus. Kilpinen Pekka.
https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjUhuSO4tnPAhWEXCwKHZpaAsgQFggrMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.oamk.fi%2F~pekkaki%2Fpuurakenteet_1%2Fpuuju%2Fharjoitustyomalli_25012012.pdf&usq=AFQjCNEwbzUOQeD06lD6GUthtVDZGxJtPA&cad=rja. 14.10.2016
- Kiintopuu. 2014. CLT-tuotteita suomalaisesta puusta. CrossLam kuhmo CLT. <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/kemi-26-3-2015-crosslam.pdf>. 24.11.2016
- Koitz Christoph. 2016. Query about CLT-prices regarding thesis. joonas.valtonen@edu.karelia.fi. 10.4.2016
- Martikainen Ville. 2016. CLT-sandwich elementin kosteus- ja lämpötekniinen toiminta. Karelia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 18.10.2016
- Mittaviiva Oy. 2016. Rakennusosien kustannuksia 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Olament. 2015. CLT Elementtiratkaisut. Olament. <http://www.olament.fi/elementtiratkaisut> 12.10.2016
- Puuinfo. 2009. Puurakenteiden suunnittelu Lyhennetty suunnitteluohje. Puuinfo. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden->

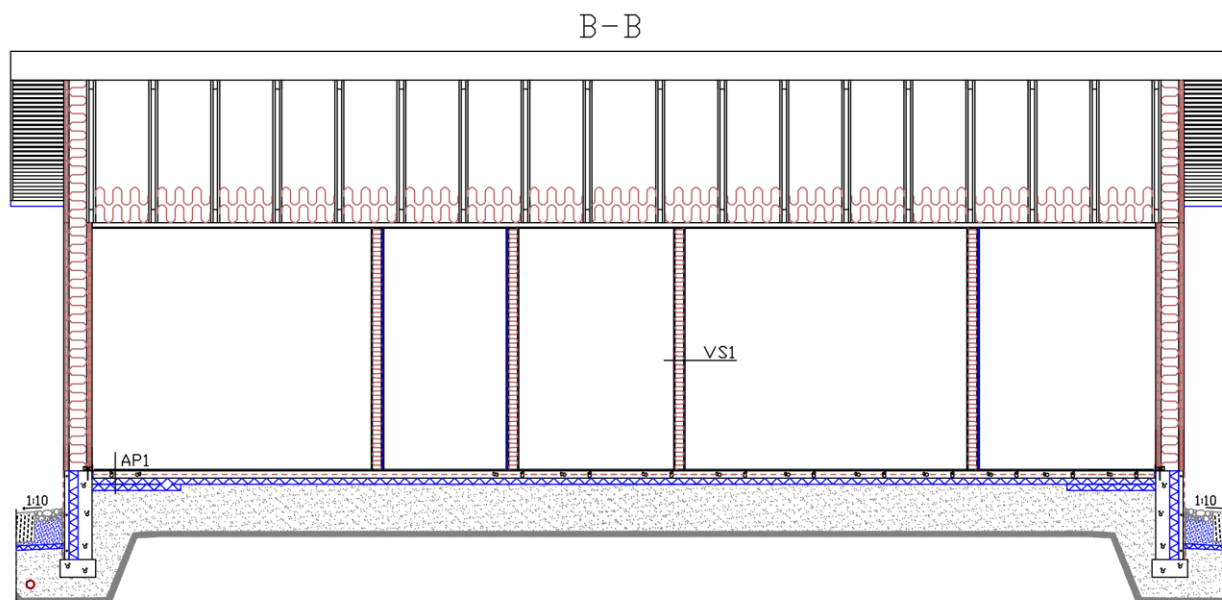
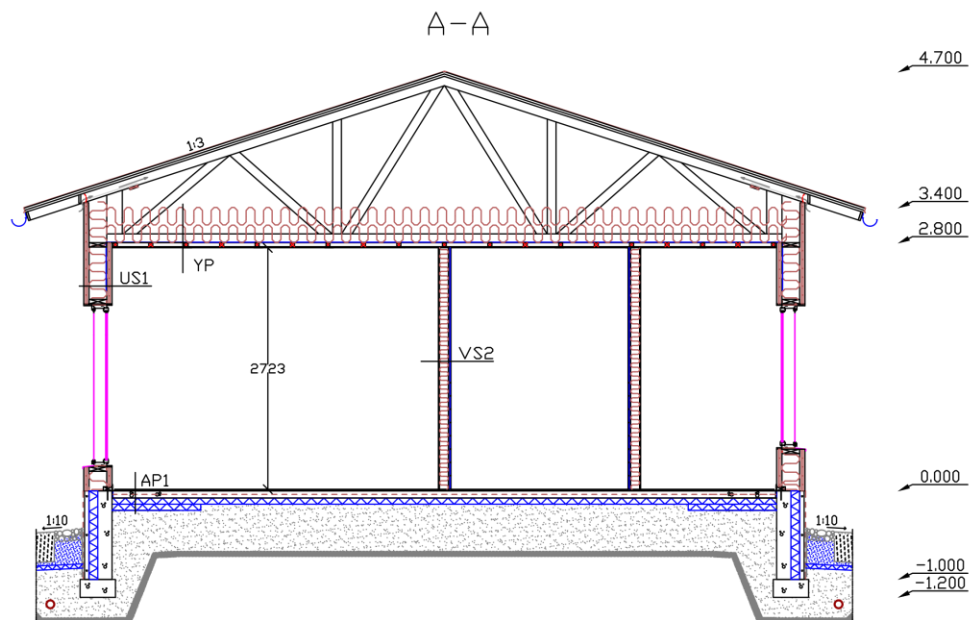
- suunnitelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjewewwwkolmaspainos10913rlinkorjauksin.pdf 10.6.2016
- Puuinfo. 2006. Woodfocus. Teräksiset liitoselimet puurakenteissa. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/teräksiset-liitoselimet-puurakenteissa/teräksiset-liitoselimet-puurakenteissa.pdf> 13.10.2016
- Puuinfo. 2012a. Perustietoa CLT-levyistä. Stora Enso. http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/CLT_facts_fi.pdf. 27.11.2015
- Puuinfo. 2012b. CLT-rakenteet suunnittelun näkökulmasta Ponttipuutuotekeskus. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-roadshow-2012/CLT-rakenteiden%20suunnittelusta-23%202%202012.pdf> 31.10.2016
- Puuinfo. 2015a. Tuoteominaisuudet. CrossLam Kuhmo CLT. http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/osa-1_tuoteominaisuudet.pdf 27.11.2015
- Puuinfo. 2015b. CLT-levyn sovelluskohteita, vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus. Tero Lahtela. 13.12.2015
- Puuinfo. 2015c. CLT-levyn suunnittelu yleisesti, vaativien puurakenteiden suunnittelu-koulutus. Tero Lahtela. 13.12.2015
- Puuinfo. 2016. Puutavaran laadut ja mitat. Puuinfo <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puutavaran%20laadut%20ja%20mitat%20A4.pdf> 8.10.2016
- Puumerkki. 2016. Energiatehokas ja kestävä. http://www.puumerkki.fi/rakentamisen_ratkaisut/CLT-elementit.html. 5.1.2016
- Rakennustieto Oy & Mittaviiva Oy a. 2016. Klara Net - rakennuskustannusten laskentaan. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/klaranet.html>. 2.10.2016
- Rakennustieto. 2014. Ratu 0424. Puuelementtirakentaminen, seinät. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/kortit/0424.html.stx>. 1.10.2016.
- Rakennustieto Oy ja Mittaviiva Oy. 2009. Klara Net, laaja käyttöohje. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/klaranet.html>. 30.10.2016
- Stora Enso. 2012a. Surface quality. Stora Enso. <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Surface-quality-EN.pdf> 14.10.2016
- Stora Enso. 2012b Quality descriptions. Stora Enso. <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Quality-descriptions-EN.pdf> 14.10.2016
- Stora Enso. 2012c. Layer Structure. Stora Enso. <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Layer-structure-EN.pdf> 14.10.2016
- Stora Enso. 2012d. A Shell construction. Stora Enso. <http://www.clt.info/shell-construction/>. 8.10.2016
- Stora Enso. 2012e. Details. Stora Enso. <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Details-EN.pdf> 14.10.2016

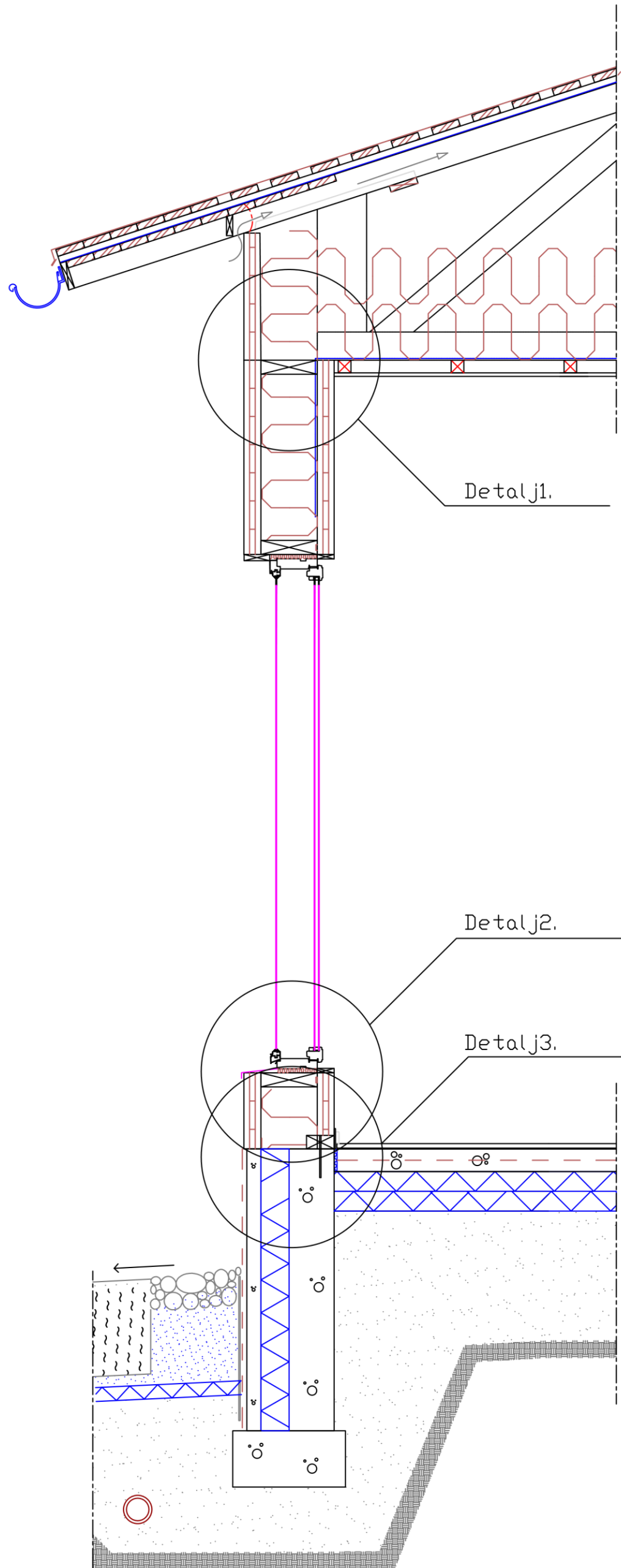
- Stora Enso. 2015. Special surfaces. Stora Enso.
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Special-surfaces-EN.pdf> 14.10.2016
- Stora Enso. 2016a. CLTEngineering. Stora Enso
<https://engineer.clt.info> 4.4.2016
- Stora Enso. 2016b. Puu - maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali. Stora Enso.
[http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/CLT%20Imagebroschure%20\[final%202016-04-25\]%20-%20FI-WEB.pdf](http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/CLT%20Imagebroschure%20[final%202016-04-25]%20-%20FI-WEB.pdf). 8.10.2016
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2011. RIL-201-1-2011. Suunnittelu-
perusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Hansaprint Oy, 2011.
31.10.2016
- Teriö, O. 2003. Betonivalmisosarakentamisen kosteudenhallinta. Suomen Betonitieto Oy.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/Haku?term=betonivalmisosarakentamisen%20kosteudenhallinta>. 8.10.2016
- Vivola. 2016a. CLT-tekniikka. Vivola.
<http://www.vivola.fi/clt-tekniikka> 13.10.2016
- Vivola. 2016b. Vivola. Voiko kiintopuisen CLT-rakenteen jättää näkyville ulkopuolelle. <http://www.vivola.fi/ukk>. 13.10.2016
- Ympäristöministeriö. 2002. E1 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. <http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf>
20.12.2015

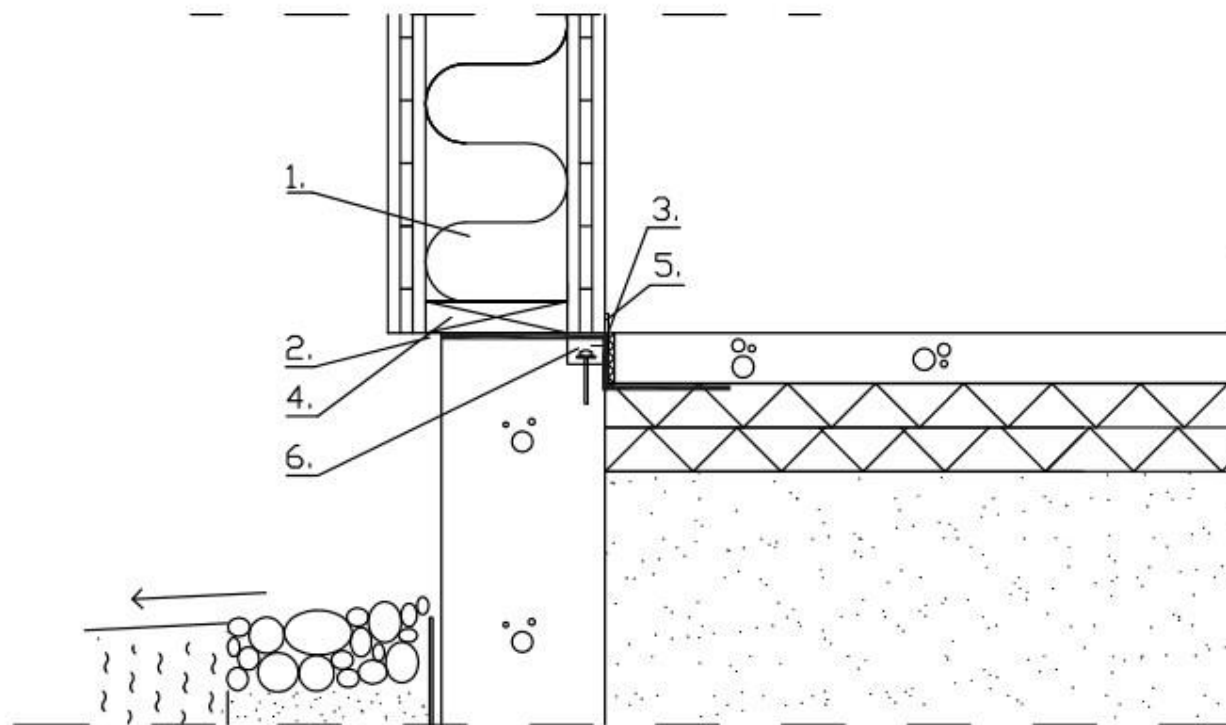


Verso 90



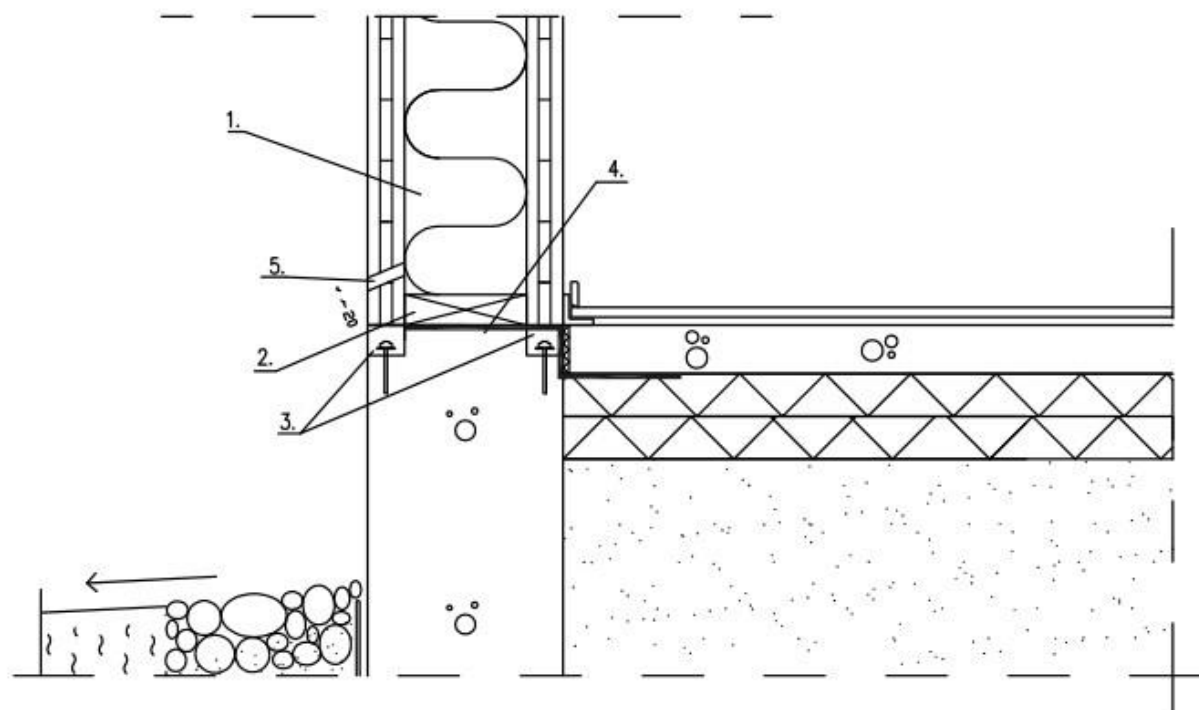






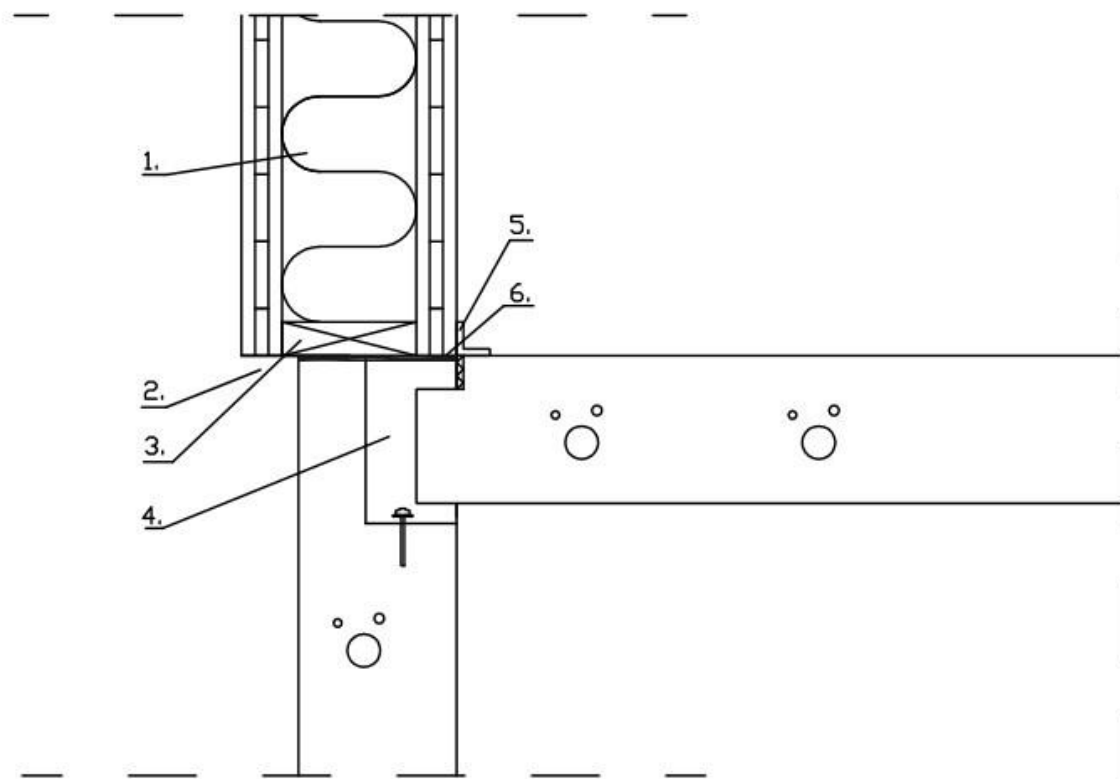
1. Uritettu min.villa, paksuus 225mm
2. Pieneläinverkko
3. Kosteuden nousemisen estävä tiivistenauha, esim EPDM
4. Alasidepuu 225x50
5. Naulalevy
6. Tasausvalu

Alapohja vaihtoehto 1.



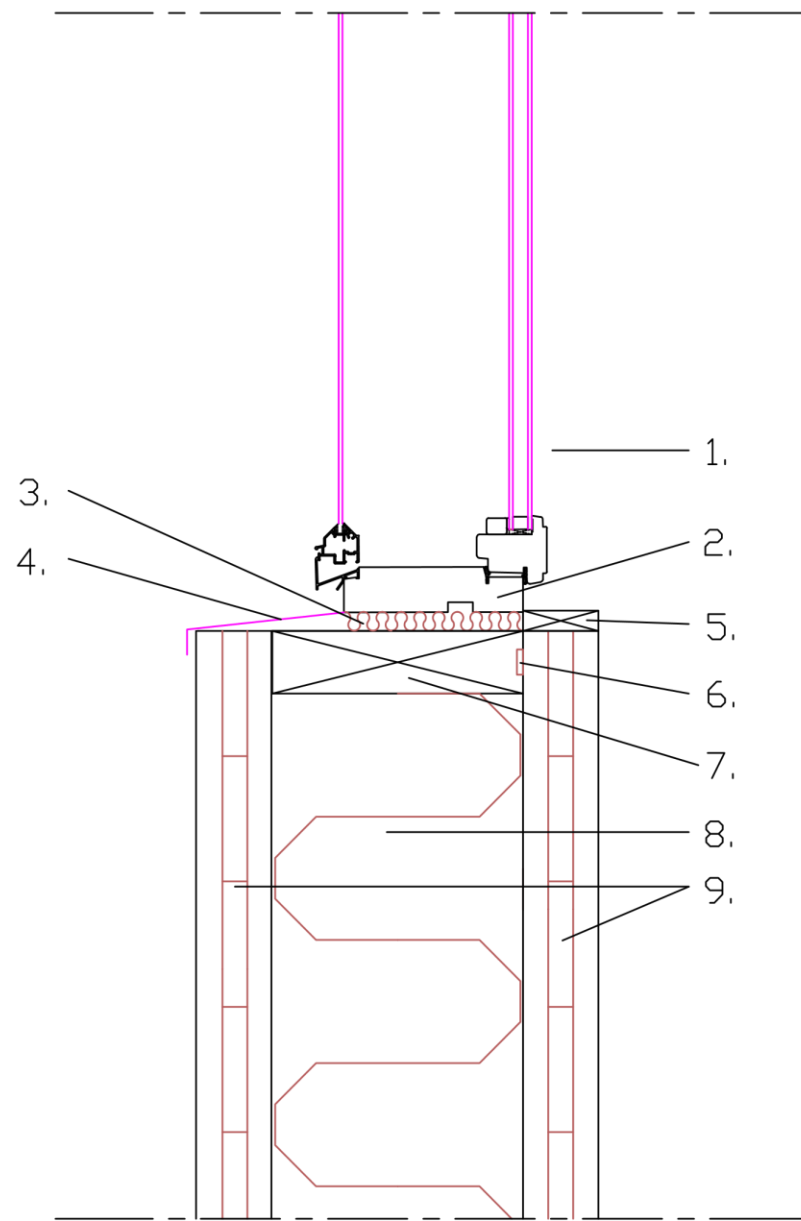
1. Uritettu min.villa 225mm
2. Alasidepuu 225x50
3. Tasausvalu
4. Kosteuden nousemisen estävä tiivistenauha, esim EPDM
5. Tuuletusreiät halk 20mm k1500

Alapohja vaihtoehto 2.



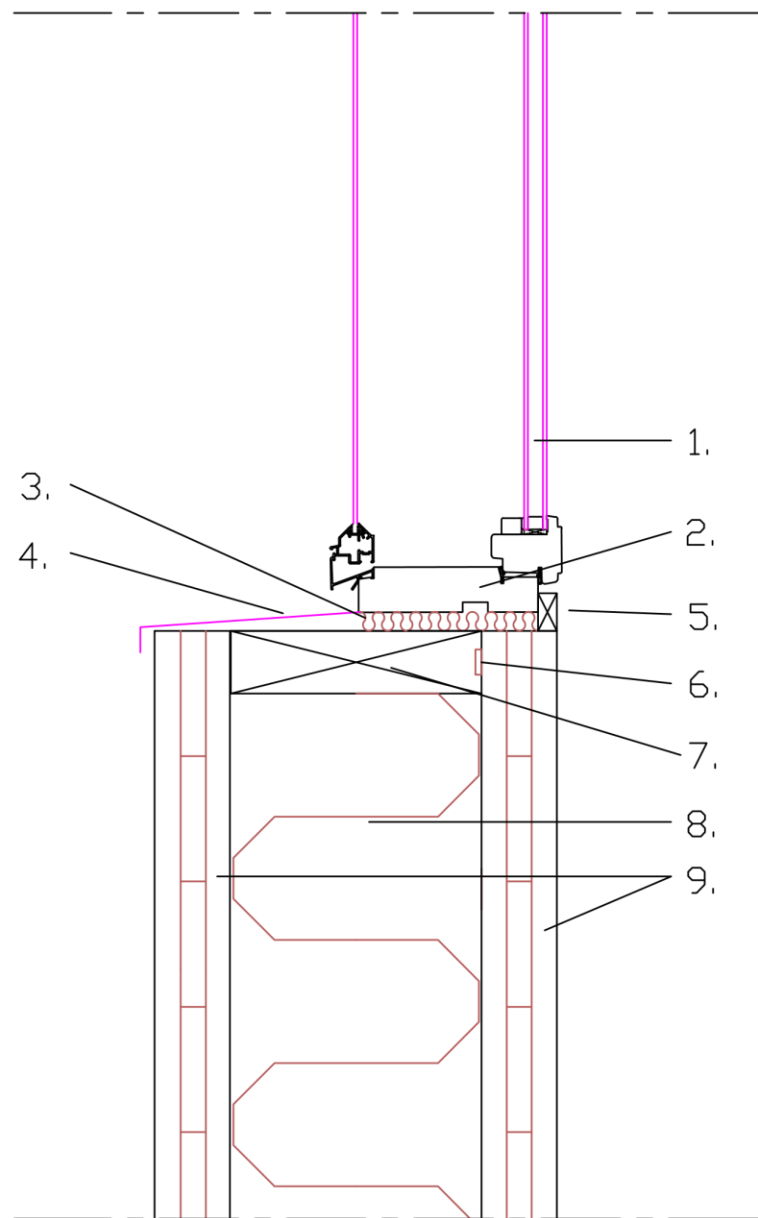
1. Uritettu min.villa 225mm
 2. Pieneläinverkko
 3. Alasidepuu 225x50
 4. Tasausvalu
 5. Kulmarauta, mitoitus rakennesuunnitelman mukaan
 6. Kosteuden nousemisen estävä tiivistenauha, esim EPDM
- Alapohja vaihtoehto 3.

IkkunaDetaili 1.



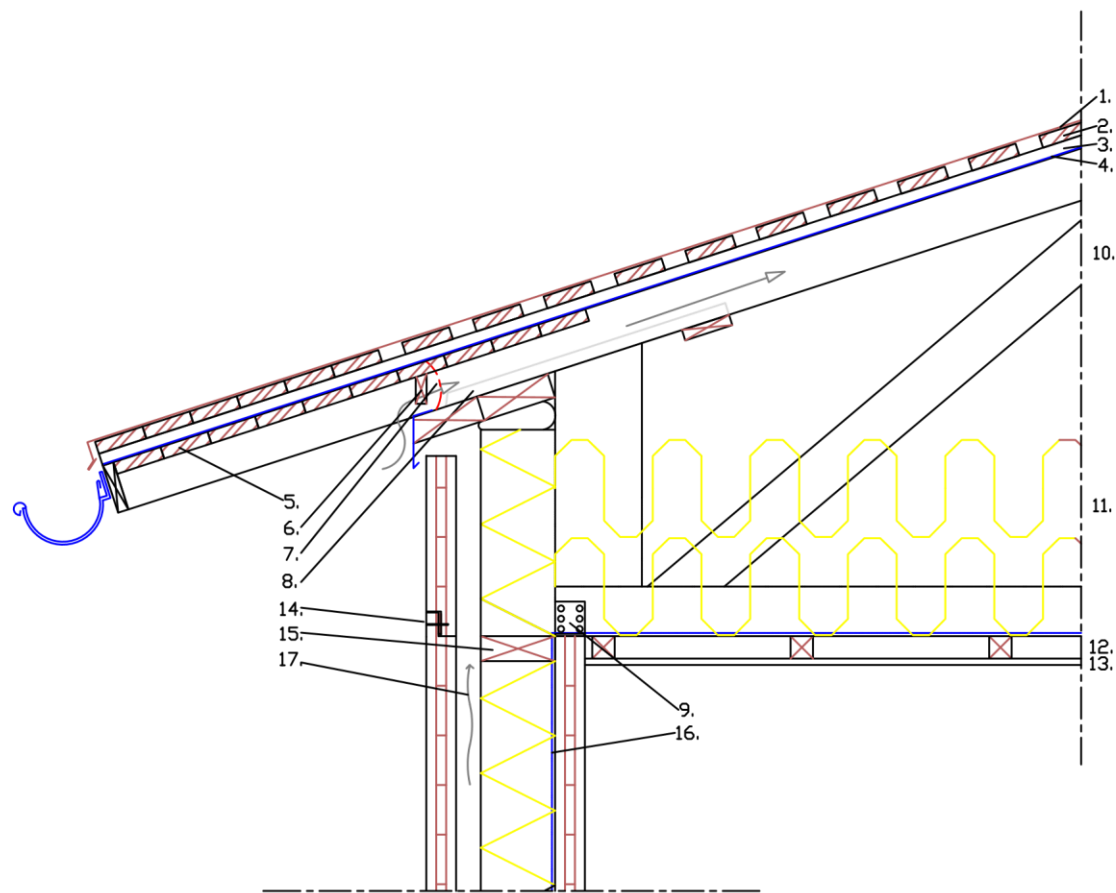
1. Ikkuna
2. Karmi
3. Asennusvaahto
4. Vesipelti
5. Ikkunalauta
6. Paisuva tiivistenauha
7. 750x200 alasidepuu
8. CLT-levy 60mm
9. Eriste 200m

IkkunaDetaili 2.



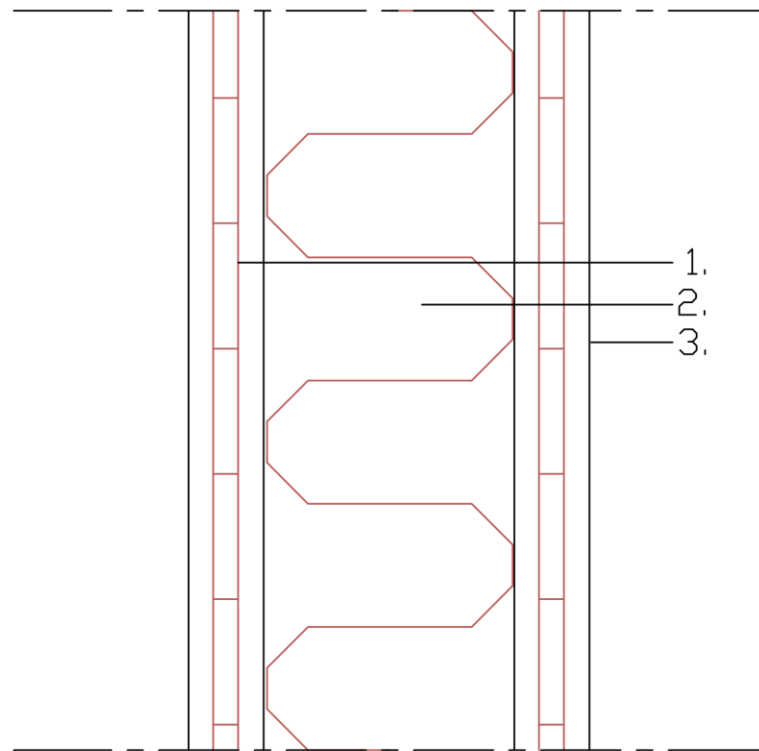
1. Ikkuna
2. Karmi
3. Asennusvahto
4. Vesipelti
5. Ikkunalauta
6. Paisuva tiivistenauha
7. 7.50x200 alasidepuu
8. Eriste 200mm
9. CLT-Levy 60mm

Yläpohja



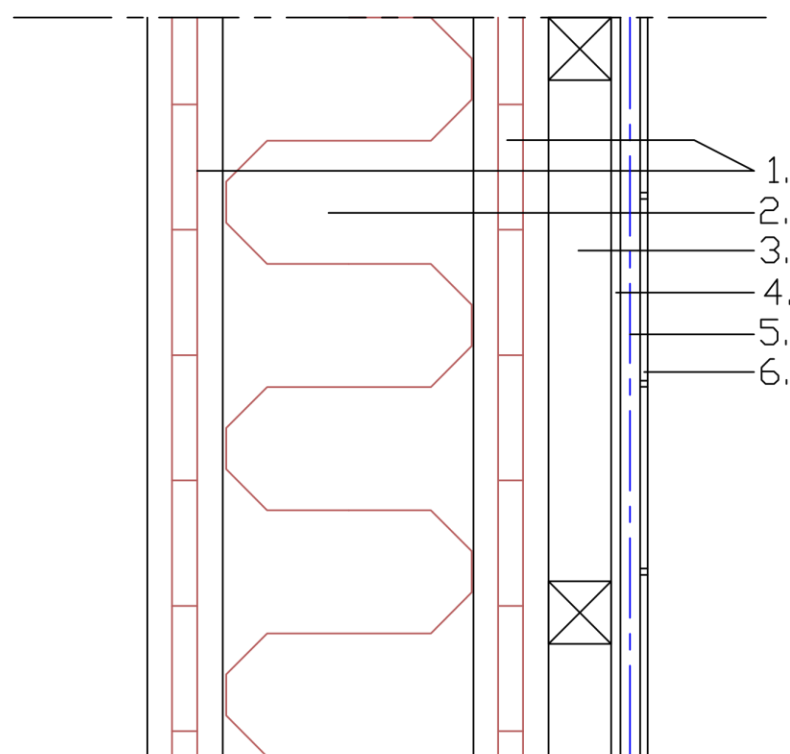
1. Esim. Konesaumakatto
2. Ruodelaudoitus 25x100 k150, Räystäillä, harjalla, jireissä läpivientien, lumiesteiden ja kattosilttojen kohdille umpilaudoitus
3. Tuuletuslaudoitus 25x100
4. Aluskate
5. Laudoitus 25x100
6. Lauta
7. Hyönteisverkko
8. Tuulenohjain
9. Kulmalevy
10. Kattoristikko
11. Eriste 400mm
12. 50x50 k600 harvalaudoitus
13. Sisäverhous
14. CLT liitos
15. 50x200 Lauta, johon tehty tuuletusta varten uritus
16. Höyrysulku
17. Tuuletusrako

US1



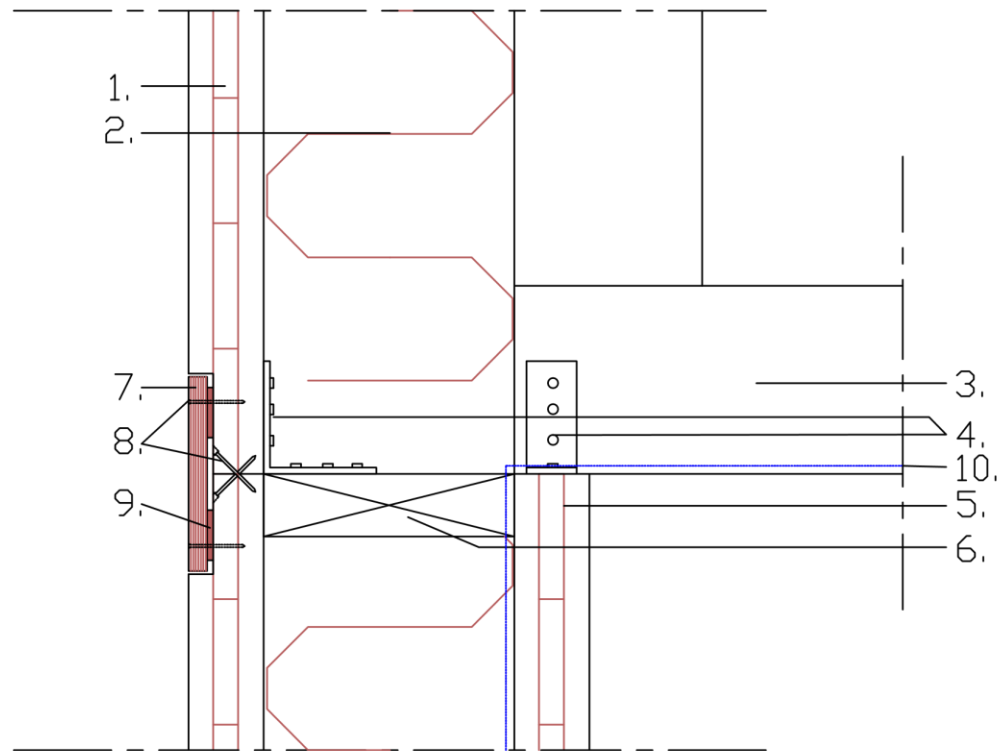
1. CLT-Levy 60mm
2. Eriste 200mm
3. CLT-Levy 60mm

US2



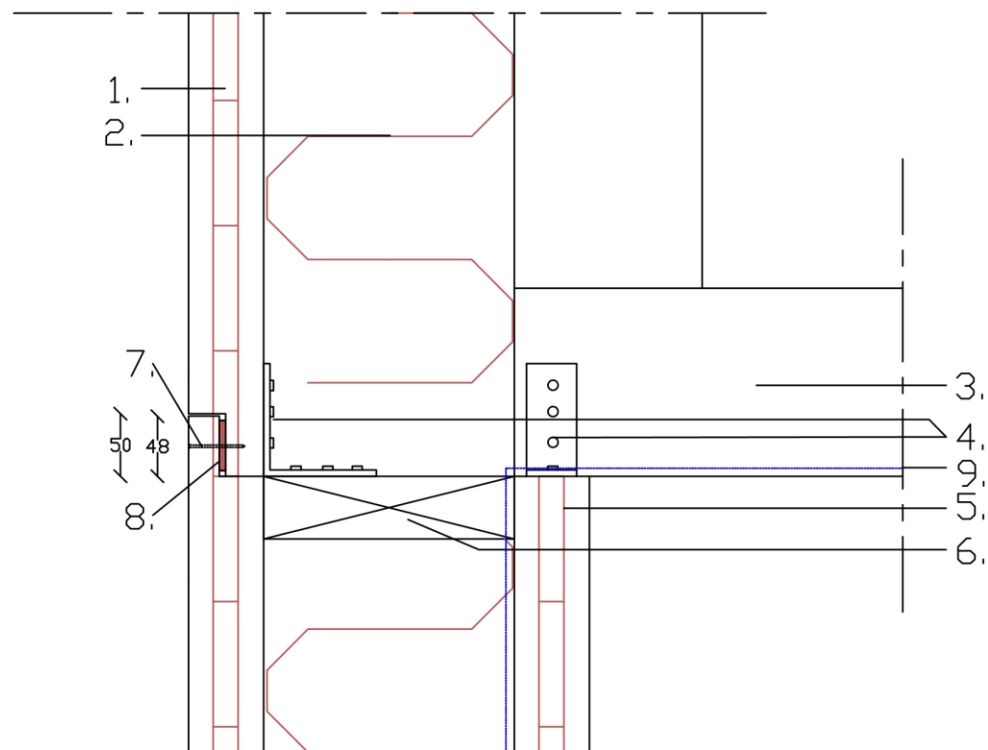
1. CLT-Levy 60mm
2. Eriste 200mm
3. Asennusväli+50x50 k600
4. Pontattu havuvaneri 15mm
5. Vedeneristemassa
6. Keraaminen laatoitus

US Ulkoseinän jatkos 1



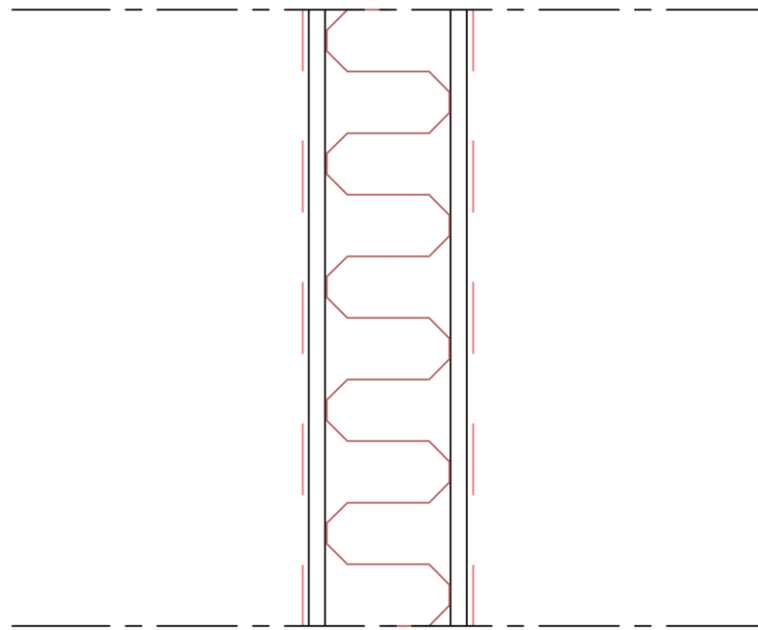
- 1. CLT-Levy 60mm
- 2. Eriste 200mm
- 3. Kattoristikko
- 4. Kulmarauta
- 5. CLT-Levy 60mm
- 6. 50x200 Lauta
- 7. Vaneri 15x155mm
- 8. Naula/Ruuvi/haka
- 9. Tiivistenauha
- 10. Häyrynsulku

US Ulkoseinän jatkos 2



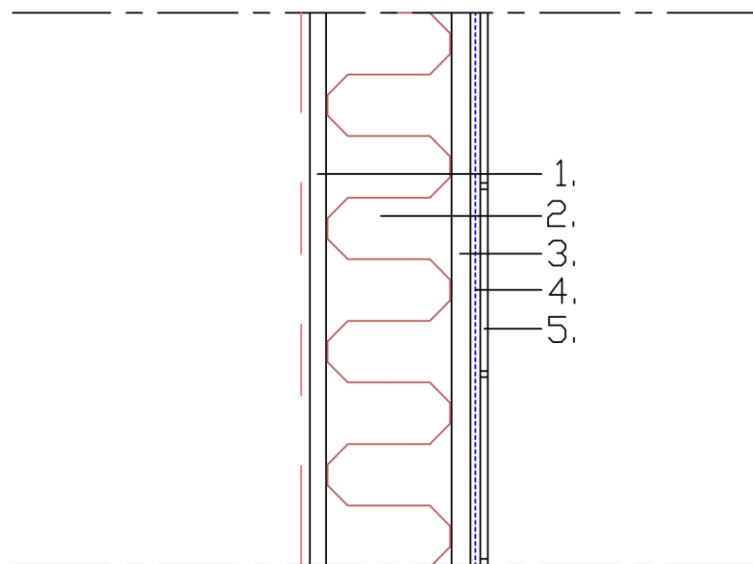
- 1. CLT-Levy 60mm
- 2. Eriste 200mm
- 3. Kattoristikko
- 4. Kulmarauta
- 5. CLT-Levy 60mm
- 6. 50x200 Lauta
- 7. Naula/Ruuvi/haka
- 8. Tiivistenauha
- 9. Höyrynsulku

VS1



- Maali
1. Rakennuslevy 13mm
 2. Eriste 100mm
 3. Rakennuslevy 13mm

VS2



- Maali
1. Rakennuslevy 16mm
 2. Eriste 100mm
 3. Pontanttu havuvaneri 15mm
 4. Vedeneristemassa
 5. Keraaminen laatoitus

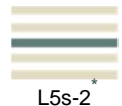
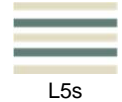
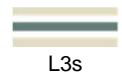
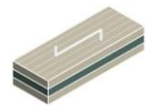
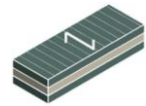


Stora Enson CLT:n hintatiedot

Price list

CLT - Cross Laminated Timber

C-PANELS				
Designation [—]	Nominal thickness [mm]	Layers []	Charged widths [cm]	NVI ^{***} [€/m ²]
CLT 60 C3s	60	3	245; 275; 295	36.00
CLT 80 C3s	80	3	245; 275; 295	40.00
CLT 90 C3s	90	3	245; 275; 295	42.00
CLT 100 C3s	100	3	245; 275; 295	45.50
CLT 120 C3s	120	3	245; 275; 295	52.50
CLT 100 C5s	100	5	245; 275; 295	55.00
CLT 120 C5s	120	5	245; 275; 295	61.50
CLT 140 C5s	140	5	245; 275; 295	65.00
CLT 160 C5s	160	5	245; 275; 295	72.50
L-PANELS				
Designation [—]	Nominal thickness [mm]	Layers []	Charged widths [cm]	NVI ^{***} [€/m ²]
CLT 60 L3s	60	3	245; 275; 295	36.00
CLT 80 L3s	80	3	245; 275; 295	40.00
CLT 90 L3s	90	3	245; 275; 295	42.00
CLT 100 L3s	100	3	245; 275; 295	45.50
CLT 120 L3s	120	3	245; 275; 295	52.50
CLT 100 L5s	100	5	245; 275; 295	55.00
CLT 120 L5s	120	5	245; 275; 295	61.50
CLT 140 L5s	140	5	245; 275; 295	65.00
CLT 160 L5s	160	5	245; 275; 295	72.50
CLT 180 L5s	180	5	245; 275; 295	80.00
CLT 200 L5s	200	5	245; 275; 295	87.50
CLT 160 L5s-2*	160	5	245; 275; 295	72.50
CLT 180 L7s	180	7	245; 275; 295	85.00
CLT 200 L7s	200	7	245; 275; 295	92.50
CLT 240 L7s	240	7	245; 275; 295	108.00
CLT 220 L7s-2*	220	7	245; 275; 295	100.00
CLT 240 L7s-2*	240	7	245; 275; 295	108.00
CLT 260 L7s-2*	260	7	245; 275; 295	115.50
CLT 280 L7s-2*	280	7	245; 275; 295	124.00
CLT 300 L8s-2**	300	8	245; 275; 295	133.50
CLT 320 L8s-2**	320	8	245; 275; 295	142.00

L8s-2^{**}

* Cover layers consisting of 2 longitudinal layers.

** Cover layers and inner layer consisting of 2 longitudinal layers.

*** NVI: non-visible quality (both sides).

Status 04/2014

BASIC FRAME JOINT SERVICES

Wall joints € 8.00 / m²

Ceiling joints € 5.00 / m²

Prices are subject to change; E&OE.

Prices do not include VAT. FCA Bad St. Leonhard or Ybbs factory premises.



storaenso

EXTRA CHARGE

Surface qualities		€/m ²
INV	(industry visible + non-visible)	8.00
IBI	(industry visible + industry visible)	16.00
VI	(visible + non-visible)	15.00
IVI	(visible + industry visible)	23.00
BVI	(visible + visible)	30.00

SPECIAL JOINT SERVICES

Joint group	Definition	Charging unit	Unit price
Format cut	cuts at right angles to the panel surface, formatted raw panel	m ²	€ 2.00
2-sided machining	relative to actual element area involved	m ² element area	€ 10.00
Purlin, rafter, I-beam and tie-beam notches, openings	from 10 pcs per construction project	pc	€ 10.00
Average element area < 6 m ²	element area from element charging and freight list	m ² charging area per construction project	€ 3.00
Milling cuts	cables, cuts for steel beam supports, I-beam cuts etc.	running meter	€ 3.50
Socket bore	diameter 68 mm	pc	€ 2.50
Concealed cable duct	diameter 28 mm	running meter	€ 25.00
Concealed cable duct	incl. undercut for cable entry	running meter	€ 30.00
Bores		pc	€ 1.50
Small panels	with a net area < 1 m ²	pc	€ 10.00
Double mitre cuts, birdsmouths, circular milled cuts		time and material basis	

LIFTING DEVICES

System	Charging unit	Unit price
Lifting strap	pc	€ 2.50
Dowel + lifting strap	pc	€ 6.00
Jack screw	25 pcs	€ 25.00
Lifting anchor	2 pcs	€ 200.00
RAMPA sleeve	pc	€ 4.50



storaenso

EXTRAS

Group	Definition	Charging unit	Unit price
End-grain sealing	Remmers Induline SW-910 Base / wall support	running meter	€ 1.00
Punchmarking	Diameter: 6 mm Penetration: ~ 5 mm Accuracy: +/- 3 mm	pc	€ 0.25
Cover board	27x150x5000 mm / spruce quality C	running meter	€ 3.20
Oak sole plate	34x100x4000 mm	running meter	€ 3.50
Oak sole plate	34x120x4000 mm	running meter	€ 4.00

CHARGING

- Charged dimensions: rectangle circumscribed by the charged widths, including any cut-outs which may result (will always also be delivered).
- Charged lengths: from minimum production length of 8.00 m per charged width up to max. 16.00 m, in 10 cm increments.
- Charged widths: 245, 275 and 295 cm.

PRICE TERMS

- Prices do not include VAT.
- FCA Bad St. Leonhard or Ybbs factory premises.

DELIVERY TIME

- Subject to agreement.
- For project-related orders delivery time is approx. 2 to 6 weeks from order placement.

LAYER STRUCTURES

Structures are formed with 3, 5, 7, 8 or more layers and varying lamella thicknesses.

CLT consists of at least three single-layer panels. From five layers, CLT can also include middle layers (transverse layers) without narrow side bonding.

Formaldehyde-free adhesive is used for gluing surfaces, widths and dovetail joints.

Any combination of overall thickness and structures from among the lamella thicknesses listed below is generally available on request: 20 mm, 30 mm and 40 mm

Maximum overall thickness: 400 mm.

TOLERANCES

Cutting precision lies within the tolerances for building construction specified in DIN 18203 / Part 3 for timber and wood-based wall, floor, ceiling and roof panel products.



storaenso

CUTTING – JOINTS

Our basic frame joint services include the following:

- Wall joints: Cutting of wall panels according to plan, i.e. cuts at right angles to the panel surface and angled cuts (door and window cut-outs).
- Ceiling joints: Cutting of ceiling panels according to plan, i.e. cuts at right angles to the panel surface and angle cuts (cut-outs for stairs, chimneys, ceiling recesses) and cross joints (step joints, grooves for cover boards).
- Special joints: Please refer to page 2/7 for details.

PAYMENT TERMS

On request

PRODUCT KEY

e.g. CLT 160 L5s-2 BVI WW C24 SAN

Symbol	Meaning
C	Cover layer, crosswise
L	Cover layer, lengthwise
3s	3-layer
5s	5-layer
5s-2*	5-layer
7s	7-layer
7s-2*	7-layer
8s-2**	8-layer
NVI***	Non-visible + non-visible
INV***	Industrial visible + non-visible
IBI***	Industrial visible + industrial visible
VI***	Visible + non-visible
IVI***	Visible + industrial visible
BVI***	Visible + visible
WW***	Wood species: spruce / fir / pine
C24	strength sorting of raw lamella (in line with the approval, up to 10% of the lamellas can be of grade C16)
SAN	Cover layers sanded

* Cover layers consisting of 2 longitudinal layers.

** Cover layers and inner layer consisting of 2 longitudinal layers.

*** The description relates to the cover layers.



QUALITY

Stora Enso offers three different CLT single-layer panel qualities:

NVI Non-visible quality **IVI** Industrial visible quality **VI** Visible quality

The features permissible in these are described below.

Surface quality appearance grade/Product characteristics			
CHARACTERISTICS	VI	IVI	NVI
Bonding	occasional open joints up to max. 1 mm width permitted	occasional open joints up to max. 2 mm width permitted	occasional open joints up to max. 3 mm width permitted
Blue stains	not permitted	slight discolouration permitted	permitted
Discolorations (brown stains, etc.)	not permitted	not permitted	permitted
Resin galls	no knot clusters, max. 5 x 50 mm	max. 10 x 90 mm	permitted
Bark ingrowth	occasional occurrences permitted	occasional occurrences permitted	permitted
Dry cracks	occasional surface cracks permitted	permitted	permitted
Core – pith	occasional, up to 40 cm long permitted	permitted	permitted
Insect damage	not permitted	not permitted	occasional small holes up to 2 mm permitted
Knots – sound	permitted	permitted	permitted
Knots – black	max. 1.5 cm Ø	max. 3 cm Ø	permitted
Knots – hole	max. 1 cm Ø	max. 2 cm Ø	permitted
Rough edges	not permitted	not permitted	max. 2 x 50 cm
Surface	100% sanded	100% sanded	max. 10% of surface rough
Quality of surface finish	occasional small faults permitted	occasional faults permitted	occasional faults permitted
Quality of narrow side bonding and face ends	occasional small faults permitted	occasional faults permitted	occasional faults permitted
Chamfer on L panels	yes	no	no
Rework edge of cut with sandpaper	yes	no	no
Machining – chainsaw	not permitted	permitted	permitted
Lamella width	≤ 130 mm	max. 230 mm	max. 230 mm
Wood moisture	max. 11%	max. 15%	max. 15%
Timber species mixture	not permitted	not permitted	permitted with spruce/silver fir, pine



VI
(Residential) visible quality



IVI
Industrial visible quality



NVI
Non-visible quality

Note: The sawn and milled surfaces are always of NVI quality.



TRANSPORT TERMS

You must adhere to the following terms and ensure compliance with them for Stora Enso:

1. Access to the building site must be suitable for an articulated lorry or trailer-truck. You must ensure that the public roads leading to the construction site can accommodate a semi-trailer with a total length of approx. 19 m.
2. Transport is defined as: CPT – Carriage Paid To. This does not include collection by the customer.
3. Transport costs are calculated based on a standard semi-trailer. If the construction site can only be accessed by a special steerable semi-trailer or similar vehicle, the additional expense shall be charged to the customer.
4. A maximum of 50 m³ or 25 t of CLT solid-wood panels can be transported horizontally per truck load (depending on the articulated truck). The loading order for the panels can only be complied with to the extent that this does not result in a violation of traffic laws or impair transport conditions. Stora Enso reserves the right to change the loading order based on the valid regulations for load securing.
5. If unforeseen events occur which are beyond Stora Enso's control, Stora Enso shall be entitled to postpone delivery correspondingly, even if such events only have an indirect effect on processing the order.
6. If goods are collected by the customer, the carrier must provide the appropriate equipment to ensure safe loading and transport (see the information for customers collecting CLT). If the equipment does not comply with the necessary stipulations and thus optimum load securing cannot be guaranteed, Stora Enso shall not ship any items. The pick-up date (time) must be communicated by telephone at least 24 hours before arrival at the factory, otherwise longer loading and waiting times must be expected.
7. For shuttle services (if the trailer is unattached at the construction site), from the third working day, € 50.00 (excl. VAT) shall be charged per idle day. In addition, the customer shall be responsible for the integrity and correct stowage of the trailer equipment (skids, straps, edge protectors, tarpaulins, etc.). Stora Enso shall charge the customer for any missing equipment.
8. Transport costs and any additional costs resulting from idle, reloading or handling times shall be charged to the purchaser. The transport price includes 3 hours' idle time for unloading but does not include any work involved in moving or unloading goods. The agreed price of € 15.00 or € 25.00 (excl. VAT) (for articulated trailers) shall be charged separately for each additional quarter of an hour or part thereof. The truck driver must sign the consignment note for any idle times.
9. Postponement of delivery: up to a period of 12 working days before delivery, delivery may be postponed at no charge to the customer. If notice of postponement of delivery is given less than 12 working days before delivery, € 50.00 (excl. VAT) shall be charged per day postponed for storage and handling. If bad weather is anticipated during assembly of the CLT panels, the delivery date may be postponed for 2 working days at no extra charge. After that time, € 50.00 (excl. VAT) shall be charged per working day and truck.
10. Postponement of collection by customers: up to a period of 12 working days before collection, collection may be postponed at no charge to the customer. If notice of postponement of collection is given less than 12 working days before hand over, € 80.00 (excl. VAT) shall be charged per day postponed for storage and handling. This shall be based on the confirmed collection day in the element, freight and charging list. If bad weather is anticipated during assembly of the CLT panels, the collection date may be postponed for 2 working days at no extra charge. After that time, € 80.00 (excl. VAT) shall be charged per working day and truck.

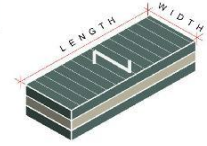
The items listed above regarding transport of Stora Enso CLT solid wood panels are essential for the order to be agreed!



Standard structures

CLT - Cross Laminated Timber

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		

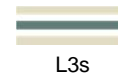
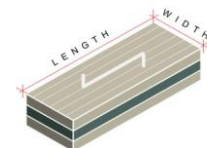


C3s



C5s

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		



L3s



L5s



L5s-2*



L7s



L7s-2*



L8s-2**

* Cover layers consisting of 2 longitudinal layers.

** Cover layers and inner layer consisting of 2 longitudinal layers.

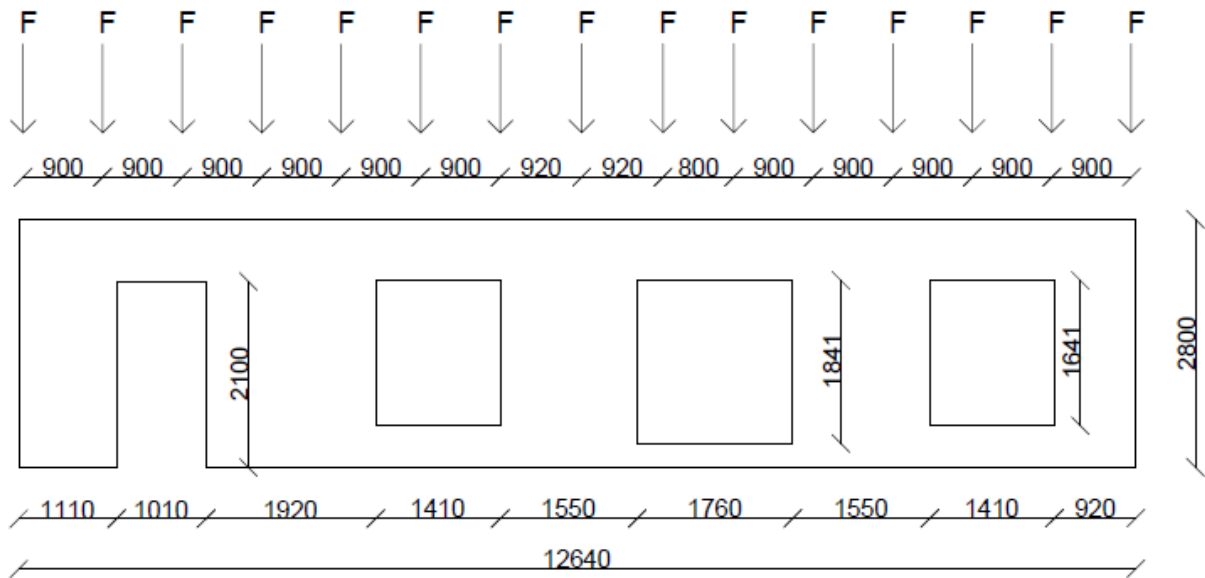
Status 05/2012

Width (charged widths): 245 cm, 275 cm, 295 cm.

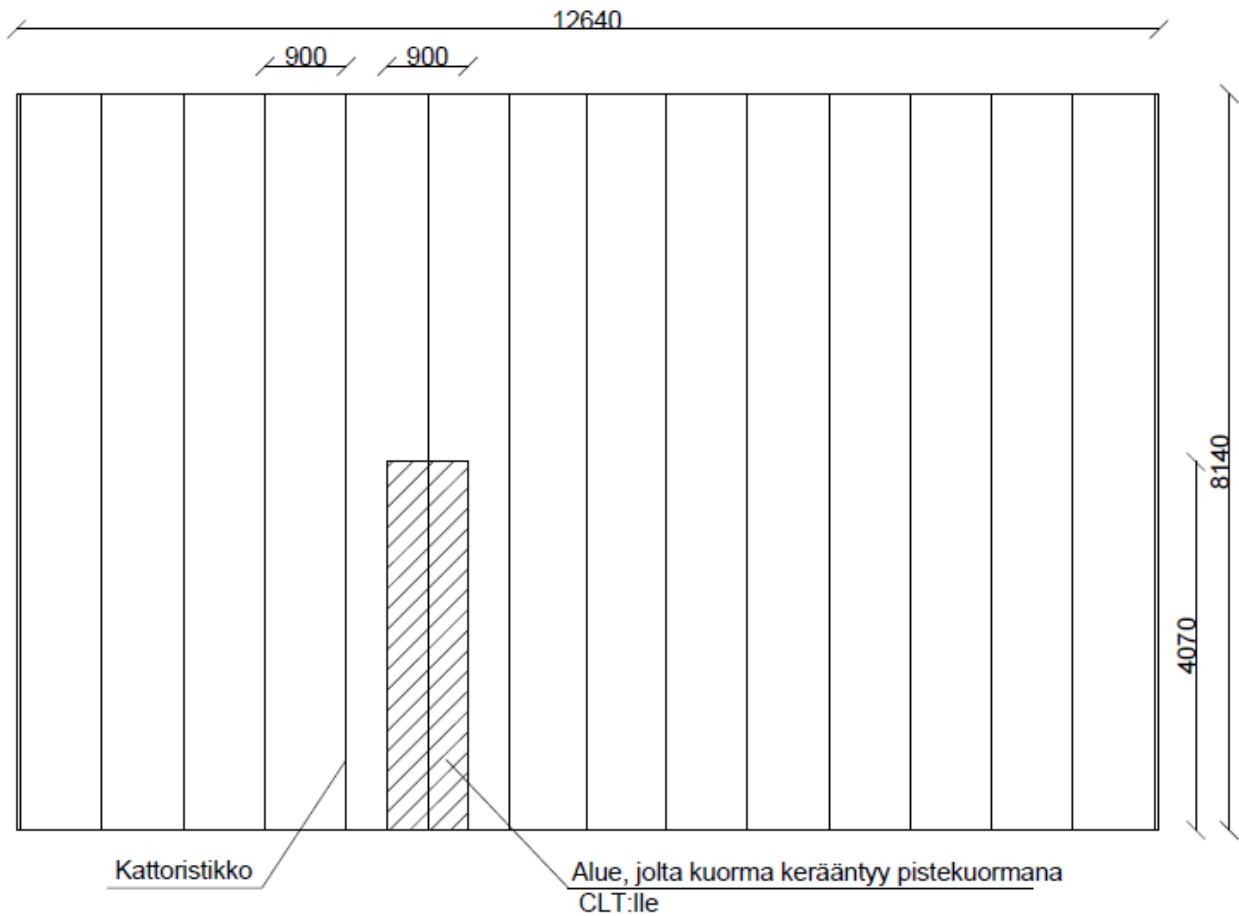
Length (production lengths): From minimum production length of 8.00 m per charged width up to max. 16.00 m, in 10 cm increments.

Käytetyt kaavat

1.0 Kuormat



Kuva 1. Kuormien ja aukkojen sijoitus



Kuva 2. Havainne kuva

1.1 Rakenteiden omapaino (g)

$$\text{CLT omapaino: } \frac{4,7kN}{m^3} * 2,8m * 0,9 * 0,06m = 0,756kN$$

$$\text{Yläkattorakenteet: } \frac{\frac{0,52kN}{m^2} * 0,9 * 8,14}{2} = 1,905kN$$

$$\text{Alakattorakenteet: } \frac{\frac{0,3kN}{m^2} * 0,9 * 8,14}{2} = 1,099kN$$

$$\text{Kattoristikon omapaino: } \frac{\frac{0,15kN}{m} * 8,14}{2} = 0,611kN$$

$$\text{Yhdeltä kattoristikolta seinälle tuleva kuormitus: } 0,756kN + 1,905kN + 1,099kN + 0,611kN = 4,371kN$$

1.2 Lumikuorma (q)

$$s_k: \frac{3,5kN}{m^2} \quad (\text{Lumikuorman ominaisarvo}), \quad (\text{Puuinfo 2009, 11})$$

$$\mu_1: 0,8 \quad (\text{Lumikuorman muotokerroin}), \quad (\text{Puuinfo 2009, 12})$$

$$q_k: \frac{\frac{3,5kN}{m^2} * 0,8 * 0,9m * 8,14m}{2} = 10,256kN$$

1.3 Kuormitusyhdistely (P)

$$1,15 * g + 1,5q: 1,15 * 4,371kN + 1,5 * 10,256kN = 20,411kN \quad (\text{Puuinfo 2009, 9})$$

1.4 Tuulikuorma seinälle

$$q_{k(h)}: \frac{1,2kN}{m^2} \quad (\text{Nopeuspaineen ominaisarvo}), \quad (\text{Puuinfo 2009, 13})$$

$$C_{p,net}: 0,95 \quad (\text{Osapinnan nettotuulenpainekerroin}), \quad (\text{Puuinfo 2009, 14})$$

$$q_{w,k}: C_{p,net} * q_k(h): 1,2 * 0,95 = 1,14kN/m^2 \quad (\text{Puuinfo 2009, 13})$$

2.0 CLT nurjahduspituus 60C3s

L: 2800mm (Esimerkkiseinän korkeus)

B: 900mm (Tarkasteltavan seinän kuormitusleveys)

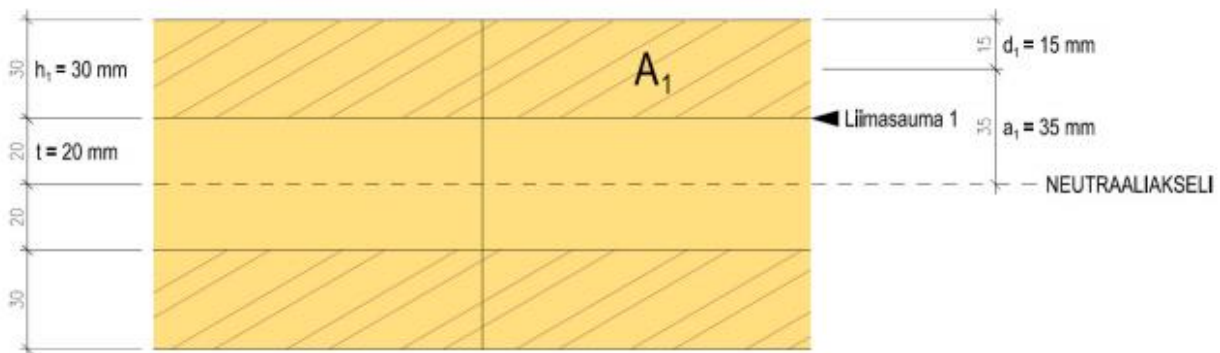
b: 100mm (Tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys), (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 2)

t: 10mm (Kuva 3.)

h₁: 20mm (Kuva 3.)

a₁: 20mm (Kuva 3.)

d₁: 10mm (Kuva 3.)



Kuva 3. 60C3s poikkileikkaus (CrossLam Kuhmo CLT 2015, 2)

2.1 Tehollinen jäykkyyshmomentti

$$E_{0,mean}: \frac{11500N}{mm^2} \quad (\text{Lamellin kimmomoduuli}) \quad (\text{puuinfo 2015a})$$

$$G_{r,mean}: \frac{65N}{mm^2} \quad (\text{Lamellin tasoleikkauksen liukumoduuli}) \quad (\text{puuinfo 2015a})$$

$$A_1: b * h_1: 100mm * 20mm = 2000mm^2 \quad (\text{Kuva 3.})$$

$$\gamma_{1,1} = 1 / \left(1 + \left(\frac{\pi^2 * E_{0,mean} * A_1}{L^2} \right) * \left(\frac{t}{G_{r,mean} * b} \right) \right) \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 2})$$

$$\gamma_{1,1} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 * \frac{11500N}{mm^2} * 2000mm^2}{2800mm^2} \right) * \left(\frac{10}{65 * 100} \right)} = 0,95735$$

$$I_{y,1} = \frac{b * h_1^3}{12} + \gamma_1 * A_1 * a_1^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 2})$$

$$I_{y,1} = \frac{100mm * 20mm^3}{12} + 2000mm^2 * 20mm^2 = 832546,666mm^4$$

$$I_{ef,L} = 2 * I_{y,1} = 2 * 832546,666mm^4 = 1665093,333mm^4 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 2})$$

2.2 Tehollinen taivutusvastus

$$W_{ef,L} = I_{ef,L} / (\gamma_1 * a_1 + d_1) \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 2})$$

$$W_{ef,L} = \frac{1665093,333mm^3}{0,95735 * 20mm + 10mm} = 57127,4345mm^3$$

2.3 Tehollinen staattinen momentti

$$S_{ef,1} = A_1 * \gamma_1 * a_1 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015, 2})$$

$$S_{ef,1} = 2000mm^2 * 0,95735 * 20mm = 38294mm^3$$

2.4 Tehollinen pinta-ala

$$A_{ef} = 2 * A_1 = 2 * 2000mm^2 = 4000mm^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 2})$$

3.0 Nurjahduskestävyys

$L_{c,z}$: 2800mm (nurjahduspituus)

k_{mod} : 1,1 (Puuinfo 2009, 17)

γ_m : 1,25 (Materiaalin osavarmuusluku) (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3)

$f_{c,0,k}$: 21,0N/mm² (Lamellin puristuslujuus) (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3)

$f_{m,k}$: 24,0N/mm² (Lamellin taivutusvastus) (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3)

$E_{0,05}$: 7400N/mm² (Lamellin kimmomoduuli) (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3)

β_c : 0,1 (alkukäyryyskerroin) (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3)

ψ_0 : 0,6 (Tuulikuorman yhdistelykerroin tässä esimerkkilaskussa)

(RIL ry 2011, 36)

k_{sys} : $\min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,025 * n \\ 1,2 \end{array} \right.$ (kuormanjakoluku) (CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3)

$$k_{\text{sys}}: \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,025 * 1 \\ 1,2 \end{array} \right. \rightarrow \underline{1,025}$$

n: 1 (vierekkäisten lamellien määrä tarkasteltavassa poikkileikkauksessa)

$$i_y: \sqrt{I_{ef,L}/A_{ef}}: \sqrt{1665093,333 \text{mm}^4 / 4000 \text{mm}^2} = 20,4 \text{mm} \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$\lambda_y: L_{c,z} / i_y: \frac{2800 \text{mm}}{20,4 \text{mm}} = 137,3 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$k_{\text{rel},y}: \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{f_{c,0,k} / E_{0,05}}: \frac{137,3}{\pi} * \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,38 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$k_y: 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},y} - 0,3)) + \lambda_{\text{rel},y}^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$k_y: 0,5 * (1 + 0,1 * (2,38 - 0,3)) + 2,38^2 = 3,44$$

3.1 Mitoitusehto 1

$$k_{c,y}: 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}) \leq 1 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$k_{c,y}: \frac{1}{3,44 + \sqrt{3,44^2 - 2,38^2}} = 0,169 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

3.2 Mitoitusehto 2

$$\sigma_{c,0,d}: P / A_{ef}: \frac{20,411 * 10 \text{N}^3}{4000 \text{mm}^2} = \frac{5,103 \text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$f_{c,0,d}: \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} * f_{c,0,k}: \frac{1,1}{1,25} * 21 \text{N/mm}^2 = 18,48 \text{N/mm}^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$M_{y,d}: \frac{B * 1,5 * \psi_0 * q_{w,k} * L^2}{8}: \frac{0,9 \text{m} * 1,5 * 0,6 * \frac{1,14 \text{kN}}{\text{m}^2} * 2,8 \text{m}^2}{8} = 0,905 \text{kNm} \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$\sigma_{m,y,d}: M_{y,d} / W_{ef,L}: \frac{0,905 * 10 \text{Nmm}^6}{57127,4345 \text{mm}^3} = 15,84 \text{N/mm}^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$f_{m,d}: \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} * f_{m,k} * k_{\text{sys}}: \frac{1,1}{1,25} * \frac{24 \text{N}}{\text{mm}^2} * 1,2 = 25,3 \text{N/mm}^2 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

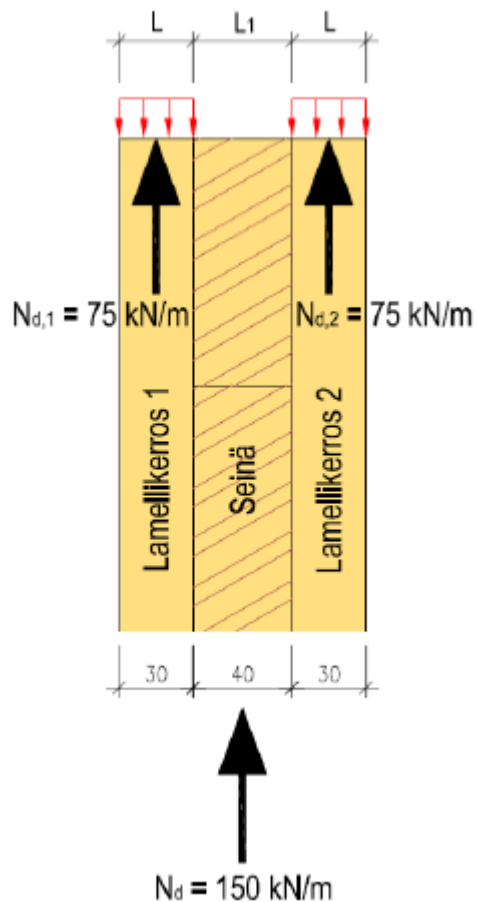
Mitoitusehto (Hetkellinen aikaluokka)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1: \frac{\frac{5,103 \text{N}}{\text{mm}^2}}{0,169 * \frac{18,48 \text{N}}{\text{mm}^2}} + \frac{\frac{15,84 \text{N}}{\text{mm}^2}}{25,3 \text{N}} = 2,26 \geq 1 \quad (\text{CrossLam Kuhmo CLT 2015a, 3})$$

$$\text{Käyttöaste: } \frac{2,26}{1} * 100 = 229\% \rightarrow \text{Käyttöaste ylittyy.}$$

→ Laskukaavat Exceliin, josta seinän kokoa ja kuormia saadaan helposti muokattua. Näin saimme raja-arvot tämän kokoiselle rakennukselle.

4.0 Tukipainekestävyys seinässä



Kuva 4. Periaatekuva tukipainekestävyydestä.

(CrossLam Kuhmo CLT 2015b, 1)

4.1 Tehollinen kosketuspinnan pituus seinässä

$$L_{c,0,ef}: L + L + 20\text{mm} + 20\text{mm} = 40\text{mm}$$

(CrossLam Kuhmo CLT 2015b, 2)

4.2 Tukipainekestävyys seinässä

$$A_{ef}: L_{c,0,ef} * b: 40\text{mm} * 100\text{mm} = 4000\text{mm}^2$$

(CrossLam Kuhmo CLT 2015b, 2)

$$\sigma_{c,0,d}: N_d / A_{ef}: \frac{20,411 * 10\text{N}^3}{4000\text{mm}^2} = 5,103\text{N/mm}^2$$

(CrossLam Kuhmo CLT 2015b, 2)

$$f_{c,0,d}: \frac{k_{mod}}{\gamma_m} * f_{c,k}: \frac{1,1}{1,25} * \frac{21\text{N}}{\text{mm}^2} = 18,5\text{N/mm}^2$$

(CrossLam Kuhmo CLT 2015b, 2)

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}: 5,103\text{N/mm}^2 \leq 18,5\text{N/mm}^2 \text{ (CrossLam Kuhmo CLT 2015b, 2)}$$

$$\text{Käyttöaste: } \frac{5,103\text{N/mm}^2}{18,5\text{N/mm}^2} * 100 = 27,5\% \rightarrow \text{OK.}$$

Klara Net-laskelmat

1. CLT-eriste-CLT

Puurakenteinen ulkoseinä 150 + 50 mm, tuulensuojalevy 55 mm, mineraalivilla 150 + 50 mm, kipsilevy (ei sis. pinnat) 207 €/m2									
Paketit (7)									
Rakenteet (1)									
<input type="button" value="Lisää..."/> <input type="button" value="Vaihda..."/> <input type="button" value="Monista"/> <input type="button" value="Poista"/>									
Älä laske	Nimi	Yks.	Hank.	Mat.	Työt	Tunnit	Yht.		
<input type="checkbox"/>	Puurunko 223 mm k 600, ulkoseinä, ei höyrynsulkua	m2	0,00 €	12,00 €	18,50 €	0,55 tth	30,50 €		
<input type="checkbox"/>	Lämmöneriste 225 mm, mineraalivilla, ulkoseinä	m2	0,00 €	21,32 €	4,30 €	0,15 tth	25,62 €		
<input type="checkbox"/>	CLT-levy 60mm	m2	63,04 €	0,00 €	2,47 €	0,08 tth	65,51 €		
<input type="checkbox"/>	CLT-levy 60mm	m2	63,04 €	0,00 €	2,47 €	0,08 tth	65,51 €		
<input type="checkbox"/>	Seinälevytys, kipsilevy 13 mm, 1-kertainen levytys	m2	0,00 €	4,60 €	7,00 €	0,22 tth	11,59 €		
<input type="checkbox"/>	Seinätaasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy	m2	0,00 €	1,00 €	2,38 €	0,08 tth	3,37 €		
<input type="checkbox"/>	Seinämaalaus, maali 2 kertaa, kuiva tila	m2	0,00 €	1,11 €	3,38 €	0,12 tth	4,48 €		

2. CLT-eriste-ulkoverhous

CLT-levy 60mm, puurunko 260 mm, tuulensuojalevy 12 mm, vaakalaudoitus 25 mm (sis. ulkopinnan ja nosturin) 191 €/m2									
Paketit (9)									
Rakenteet (1)									
<input type="button" value="Lisää..."/> <input type="button" value="Vaihda..."/> <input type="button" value="Monista"/> <input type="button" value="Poista"/>									
Älä laske	Nimi	Yks.	Hank.	Mat.	Työt	Tunnit	Yht.		
<input type="checkbox"/>	Puurunko 223 mm k 600, ulkoseinä, ei höyrynsulkua	m2	0,00 €	12,00 €	18,50 €	0,55 tth	30,50 €		
<input type="checkbox"/>	Lämmöneriste 225 mm, mineraalivilla, ulkoseinä	m2	0,00 €	21,32 €	4,30 €	0,15 tth	25,62 €		
<input type="checkbox"/>	CLT-levy, 60mm	m2	63,04 €	0,00 €	2,47 €	0,08 tth	65,51 €		
<input type="checkbox"/>	Tuulensuojalevy 12 mm, puukuitulevy	m2	0,00 €	3,21 €	2,38 €	0,07 tth	5,59 €		
<input type="checkbox"/>	Ulkoverhouslaudoitus, vaakaponttilaudoitus 28 mm	m2	0,00 €	15,10 €	20,86 €	0,62 tth	35,95 €		
<input type="checkbox"/>	Js-maalaus, maali 2 kertaa, öljymaali, höylätty puupinta	m2	0,00 €	2,83 €	5,46 €	0,19 tth	8,29 €		
<input type="checkbox"/>	Seinälevytys, kipsilevy 13 mm, 1-kertainen levytys	m2	0,00 €	4,60 €	7,00 €	0,22 tth	11,59 €		
<input type="checkbox"/>	Seinätaasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy	m2	0,00 €	1,00 €	2,38 €	0,08 tth	3,37 €		
<input type="checkbox"/>	Seinämaalaus, maali 2 kertaa, kuiva tila	m2	0,00 €	1,11 €	3,38 €	0,12 tth	4,48 €		

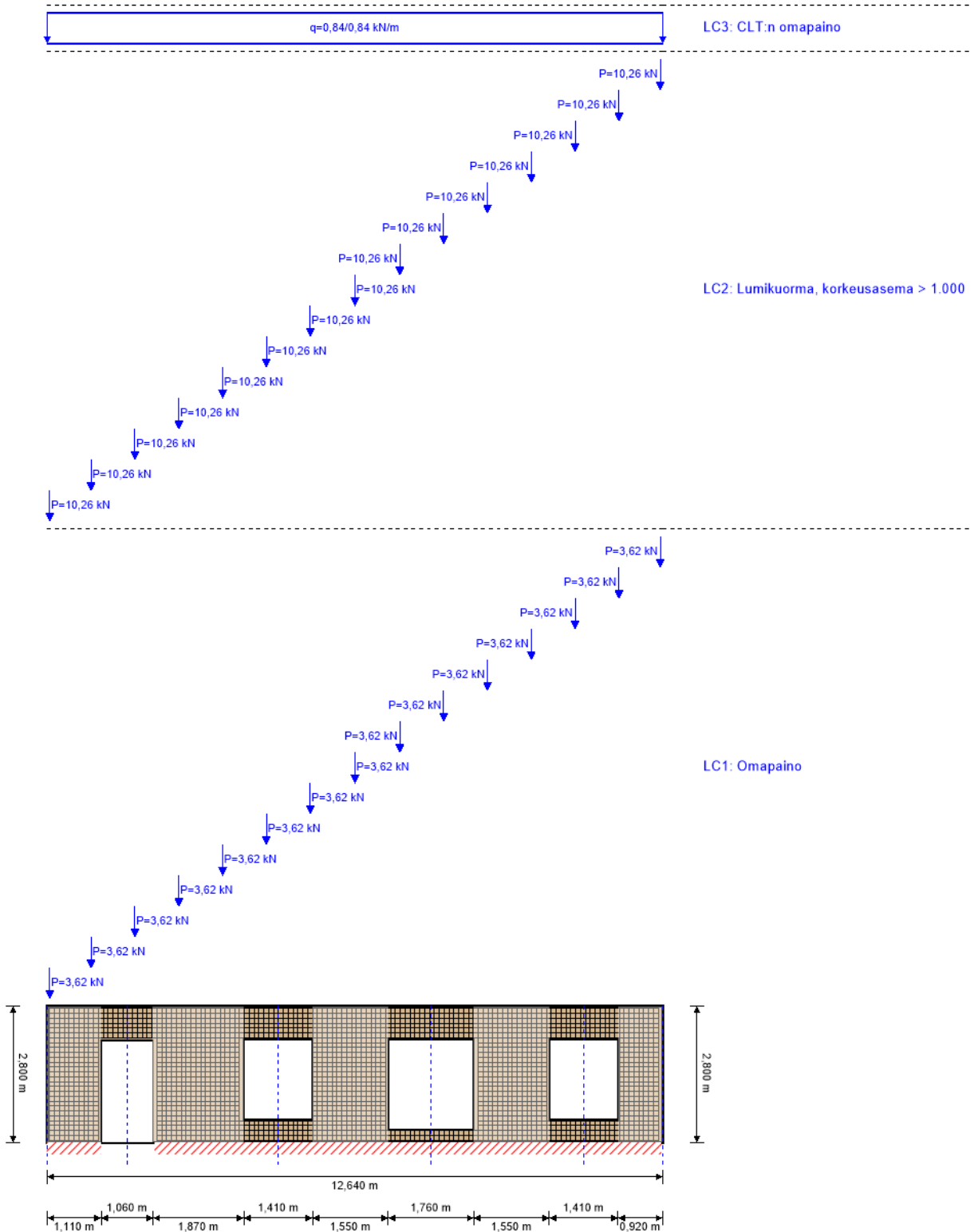
3. Puurankarakenteinen ulkoseinä

Puurakenteinen ulkoseinä 223 mm, tuulensuojalevy 25 mm, mineraalivilla 225 mm, kipsilevy (sis. pinnat, vaakaponttilaudoitus ja sisäpinnat) 138 €/m2									
Paketit (8)									
Rakenteet (1)									
<input type="button" value="Lisää..."/> <input type="button" value="Vaihda..."/> <input type="button" value="Monista"/> <input type="button" value="Poista"/>									
Älä laske	Nimi	Yks.	Hank.	Mat.	Työt	Tunnit	Yht.		
<input type="checkbox"/>	Js-maalaus, maali 2 kertaa, öljymaali, höylätty puupinta	m2	0,00 €	2,83 €	5,46 €	0,19 tth	8,29 €		
<input type="checkbox"/>	Ulkoverhouslaudoitus, vaakaponttilaudoitus 28 mm	m2	0,00 €	15,10 €	20,86 €	0,62 tth	35,95 €		
<input type="checkbox"/>	Tuulensuojalevy 25 mm, mineraalivilla, naulausvälike	m2	0,00 €	14,21 €	2,38 €	0,07 tth	16,59 €		
<input type="checkbox"/>	Puurunko 223 mm k 600, ulkoseinä	m2	0,00 €	13,11 €	18,50 €	0,55 tth	31,61 €		
<input type="checkbox"/>	Lämmöneriste 225 mm, mineraalivilla, ulkoseinä	m2	0,00 €	21,32 €	4,30 €	0,15 tth	25,62 €		
<input type="checkbox"/>	Seinälevytys, kipsilevy 13 mm, 1-kertainen levytys	m2	0,00 €	4,60 €	7,00 €	0,22 tth	11,59 €		
<input type="checkbox"/>	Seinätaasoite, tasoite 1,5 kertaa ja saumaus, kipsilevy	m2	0,00 €	1,00 €	2,38 €	0,08 tth	3,37 €		
<input type="checkbox"/>	Seinämaalaus, maali 2 kertaa, kuiva tila	m2	0,00 €	1,11 €	3,38 €	0,12 tth	4,48 €		

Yhteenveto:

Nimi	Laajuus	Hank.	Mat.	Työt	Tunnit	Yht. (Alv 0%)	Hinta/Laajuus	Vaikeus	Sotuk.	Aluek.	Hankep.%	Alv%
Puurakenteinen US	115,05m2	0 €	8430 €	7392 €	231 tth	15821 €	137,52 €/m2	1,20	1,73	1,00	0,00 %	24,00 %
CLT-eriste-CLT	115,05m2	14506 €	4605 €	4657 €	148 tth	23768 €	206,58 €/m2	1,20	1,73	1,00	0,00 %	24,00 %
CLT-eriste-ulkoverhous	115,05m2	7253 €	7037 €	7675 €	240 tth	21965 €	190,92 €/m2	1,20	1,73	1,00	0,00 %	24,00 %

Järjestelmä



Maailmanlaajuinen käyttöaste 199 %			
ULS	199 %	ULS Tulipalo	! SLS 12 %

Jakso: CLT 60 C3s				
	Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
	1	20,0 mm	90°	C24 kuusi
	2	20,0 mm	0°	C24 kuusi
	3	20,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}	60,0 mm			

Materiaalin arvot										
Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k \min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{r,mean}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi	24,00	14,00	0,35	21,00	2,50	4,00	1,25	12 500,00	690,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät										
	Kuormaryhmä	Typ	Kesto-aika	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
LC3	CLT:n omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
LC1	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
LC2	Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,2	

LC3:CLT:n omapaino			
Puolisuunnikkakuorma			
Etäisyys alkupisteestä	$Q_{k,a}$	Kuormitus lopuksi	Kuormituksen pituus
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	0,84	0,84	12,640

LC1:Omapaino	
Pistekuorma	
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,050	3,62
0,900	3,62
1,800	3,62
2,700	3,62
3,600	3,62
4,500	3,62
5,400	3,62
6,320	3,62
7,240	3,62
8,140	3,62
9,040	3,62
9,940	3,62
10,840	3,62
11,740	3,62
12,590	3,62

LC2:Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy

Pistekuorma

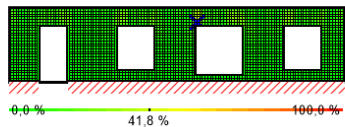
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,050	10,26
0,900	10,26
1,800	10,26
2,700	10,26
3,600	10,26
4,500	10,26
5,400	10,26
6,320	10,26
7,240	10,26
8,140	10,26
9,040	10,26
9,940	10,26
10,840	10,26
11,740	10,26
12,590	10,26

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissäätö
LCO1	1,35/1,00 * LC1 + 1,35/1,00 * LC3
LCO2	1,15/1,00 * LC1 + 1,15/1,00 * LC3 + 1,50/0,00 * LC2

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset

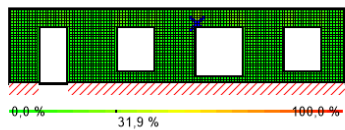
Nettoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

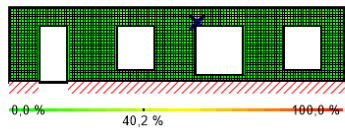
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{tP,Netto,k}$	Q	$T_{tP,Net,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	8,0	4,28	2,14	42 %

Bruttoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



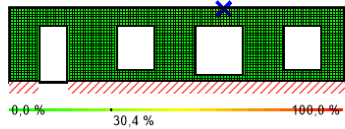
LCO2								
Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{v,IP,Brutto,k}$	[kN]	$IP_{Gross,d}$	[%]	
2969	7,05	2,25	0,8	3,5	4,28	0,71	32 %	

Reunaliimattujen pintojen vääntöleikkausjännityksen käyttöaste



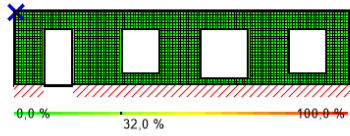
LCO2								
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{v,IP,T,k}$	Q	$T_{T,Node,d}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	
2969	7,05	2,25	0,8	2,5	4,28	0,64	40 %	

Käyttöaste aksiaaliselle vaakavoimalle



LCO2								
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{n,max}$	M_y	$\sigma_{n,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
3609	8,05	2,75	0,8	24,0	9,3447	0,0000	4,67	30 %

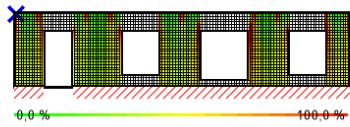
Käyttöaste aksiaaliselle pystyvoimalle



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
3529	0,05	2,75	0,8	24,0	19,6407	0,0000	4,91	32 %

Käyttöaste lommahdukselle

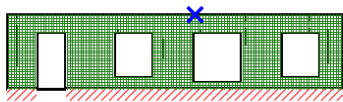


LCO2

Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
3529	0,05	2,75	2,8	135	0,1	0,184	13,44	4,91	0,00	199 %

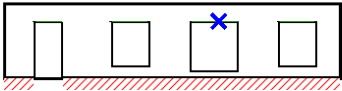
Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset

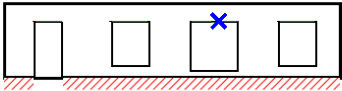
Vaakasuuntainen muodonmuutos

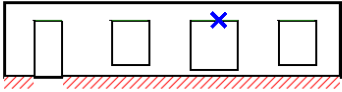


LCO2

Id	X	Z	W_{limit}	Raja	$V_{h,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
3725	7,05	2,8	9,3	L/300 = 9,3	0,1704	1,8 %

Alustava poikkeama [$w_{omin.}$]																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>K_{def}</th> <th>L_{ref}</th> <th>Raja</th> <th>w_{limit}</th> <th>$w_{calc.}$</th> <th colspan="2">Suhde</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th></th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[mm]</th> <th>[mm]</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2853</td> <td>8,05</td> <td>2,15</td> <td>0,6</td> <td>1,8</td> <td>1/400</td> <td>4,4</td> <td>0,5</td> <td colspan="2">12 %</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2										Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde		[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]			2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/400	4,4	0,5	12 %	
LCO2																																									
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde																																	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]																																		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/400	4,4	0,5	12 %																																	

Lopullinen taipuma [$w_{omin.} + w_{l.p.} * K_{def}$]																															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>K_{def}</th> <th>L_{ref}</th> <th>Raja</th> <th>w_{limit}</th> <th>$w_{calc.}$</th> <th colspan="2">Suhde</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th></th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[mm]</th> <th>[mm]</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2853</td> <td>8,05</td> <td>2,15</td> <td>0,6</td> <td>1,8</td> <td>1/200</td> <td>8,8</td> <td>0,7</td> <td colspan="2">8 %</td> </tr> </tbody> </table>	Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde		[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]			2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/200	8,8	0,7	8 %	
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde																							
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]																								
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/200	8,8	0,7	8 %																							

Lopullinen taipuma netto [$w_{l.p.} * (1 + K_{def})$]																															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>K_{def}</th> <th>L_{ref}</th> <th>Raja</th> <th>w_{limit}</th> <th>$w_{calc.}$</th> <th colspan="2">Suhde</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th></th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[mm]</th> <th>[mm]</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2853</td> <td>8,05</td> <td>2,15</td> <td>0,6</td> <td>1,8</td> <td>1/300</td> <td>5,9</td> <td>0,4</td> <td colspan="2">7 %</td> </tr> </tbody> </table>	Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde		[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]			2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/300	5,9	0,4	7 %	
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde																							
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]																								
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/300	5,9	0,4	7 %																							

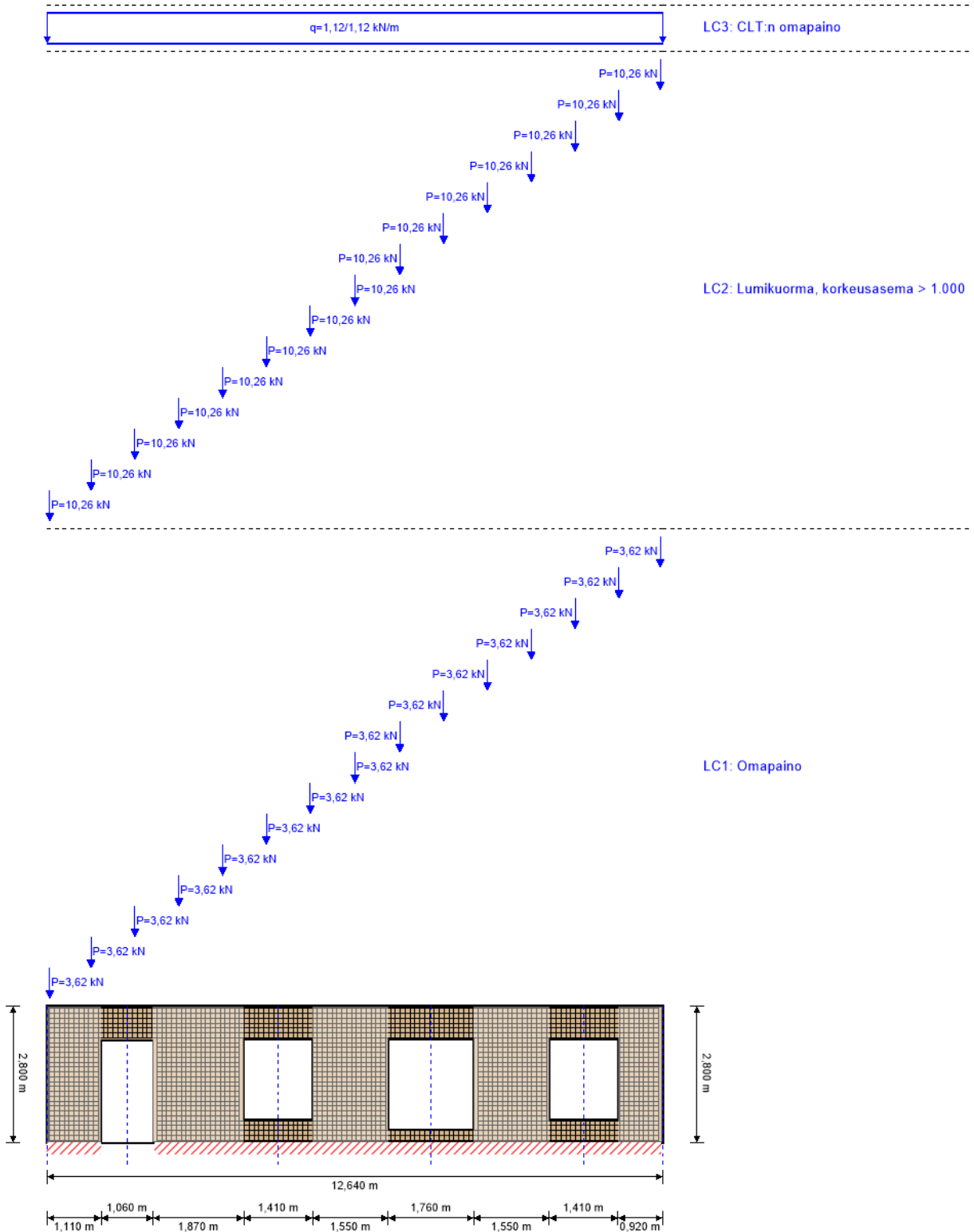
Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 338	EN 338 - Kantavat puurakenteet — Lujuusluokat
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-14/0349	Eurooppalainen tekninen arviointi ETA-14/0349 of 02.10.2014
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Asiantuntemus CLT:n tasoleikkauslujuuden ominaisarvolle
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Berechenbarkeit der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses von Brettsperrholzbauteilen "Stora Enso CLT"
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Gutachtliche Stellungnahme über die Versagenszeit t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten gemäß ÖNorm B3410 bzw. Gipsplattentyp DF gemäß EN 520
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu –
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Kapitel 12:
Analysis of CLT wall elements, using a beam grid model - TU-Graz - focus sts 113 1_SF_12	Berechnung von BSP-Wandscheiben mit Gitterrostmodellen - TU-Graz - focus sts 113 1_SF_12
SFS EN 1995-1-2_NA	Eurocode 5: Berechnung und Bemessung von Holzbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Bemessung für den Brandfall, Nationale Festlegungen zu SFS EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Gutachten über Rollschubmodul und Rollschubfestigkeit von CLT Platten
Expertise shear in plane of CLT, H.J. Blass	Gutachtliche Stellungnahme - Änderung der Bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-599 - Scheibenschub in der Ebene von CLT

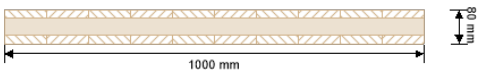
Vastuuvapauslauseke

Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/ rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta tulosteita ei saa muokata. Vaikka ohjelmisto on kehitetty huolellisesti, Stora Enso ei anna takuita tai ota vastuuta tiedon tarkkuudesta, voimassaolosta, ajantasaisuudesta tai täydellisyydestä eikä vastaa myytävyydestä tai sopivuudesta tiettyyn tarkoitukseen. Stora Enso ei vastaa suorista, epäsuorista, erityisistä tai muista välillisistä vahingoista jotka seuraavat ohjelmiston käytöstä, mukaan lukien menetetyt voitot, liiketoiminnan keskeytyminen ja ohjelmien tai muun datan menetys. Stora Enso, sen tytäryhtiöt eivätkä muut vastaavat osapuolet ole vastuussa mistään suorasta, erityisestä, epäsuorasta, satunnaisesta tai muusta vahingosta vaikka vahingon mahdollisuudesta olisi varoitettu. Edellä oleva ei sulje pois pakollista/laillista tuotevastuuta.

Järjestelmä



Maailmanlaajuinen käyttöaste				
ULS	96 %	ULS Tulipalo	!	SLS 9 %

Jakso: CLT 80 C3s				
	Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
	1	20,0 mm	90°	C24 kuusi
	2	40,0 mm	0°	C24 kuusi
	3	20,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}		80,0 mm		

Materiaalin arvot										
Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k \min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{r,mean}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi	24,00	14,00	0,35	21,00	2,50	4,00	1,25	12 500,00	690,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät										
	Kuormaryhmä	Typ	Kesto aika	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
LC3	CLT:n omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
LC1	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
LC2	Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,2	

LC3:CLT:n omapaino			
Puolisuunnikkakuorma			
Etäisyys alkupisteestä	$Q_{k,a}$	Kuormitus lopuksi	Kuormituksen pituus
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	1,12	1,12	12,640

LC1:Omapaino	
Pistekuorma	
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,050	3,62
0,900	3,62
1,800	3,62
2,700	3,62
3,600	3,62
4,500	3,62
5,400	3,62
6,320	3,62
7,240	3,62
8,140	3,62
9,040	3,62
9,940	3,62
10,840	3,62
11,740	3,62
12,590	3,62

LC2:Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy

Pistekuorma

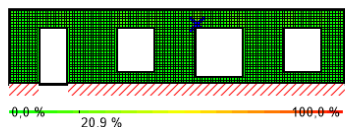
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,050	10,26
0,900	10,26
1,800	10,26
2,700	10,26
3,600	10,26
4,500	10,26
5,400	10,26
6,320	10,26
7,240	10,26
8,140	10,26
9,040	10,26
9,940	10,26
10,840	10,26
11,740	10,26
12,590	10,26

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,35/1,00 * LC1 + 1,35/1,00 * LC3
LCO2	1,15/1,00 * LC1 + 1,15/1,00 * LC3 + 1,50/0,00 * LC2

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset

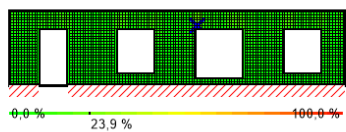
Nettoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{iP,Netto,k}$	Q	$T_{iP,Net,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	8,0	4,27	1,07	21 %

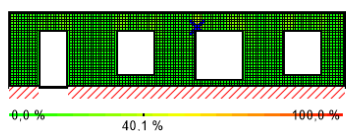
Bruttoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{v,IP,Brutto,k}$ [N/mm ²]	[kN]	$\tau_{IP,Gross,d}$ [N/mm ²]	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	3,5	4,27	0,53	24 %

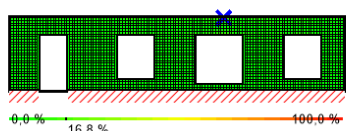
Reunaliimattujen pintojen vääntöleikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{v,IP,T,k}$ [N/mm ²]	[kN]	$\tau_{T,Node,d}$ [N/mm ²]	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	2,5	4,27	0,64	40 %

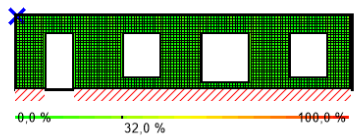
Käyttöaste aksiaaliselle vaakavoimalle



LCO2

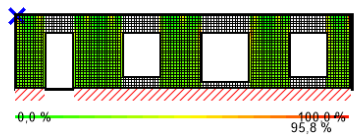
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{n,max}$	M_y	$\sigma_{n,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
3609	8,05	2,75	0,8	24,0	10,3189	0,0000	2,58	17 %

Käyttöaste aksiaaliselle pystyvoimalle



LCO2									
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]	
3529	0,05	2,75	0,8	24,0	19,6729	0,0000	4,92	32 %	

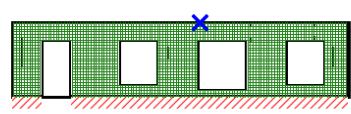
Käyttöaste lommahdukselle



LCO2											
Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	
3529	0,05	2,75	2,8	92	0,1	0,382	13,44	4,92	0,00	96 %	

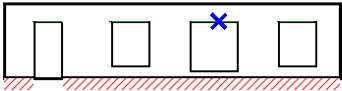
Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset

Vaakasuuntainen muodonmuutos



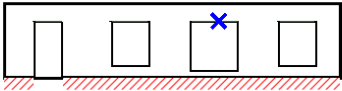
LCO2						
Id	X	Z	W_{limit}	Raja	$v_{h,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
3725	7,05	2,8	9,3	L/300 = 9,3	0,1114	1,2 %

Alustava poikkeama $[w_{omin.}]$



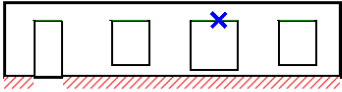
LCO2									
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/400	4,4	0,4	9 %	

Lopullinen taipuma $[w_{omin.} + w_{l.p.} * K_{def}]$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/200	8,8	0,5	6 %	

Lopullinen taipuma netto $[w_{l.p.} * (1 + K_{def})]$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/300	5,9	0,3	5 %	

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 338	EN 338 - Kantavat puurakenteet — Lujuusluokat
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-14/0349	Eurooppalainen tekninen arviointi ETA-14/0349 of 02.10.2014
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Asiantuntemus CLT:n tasoleikkauslujuuden ominaisarvolle
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus

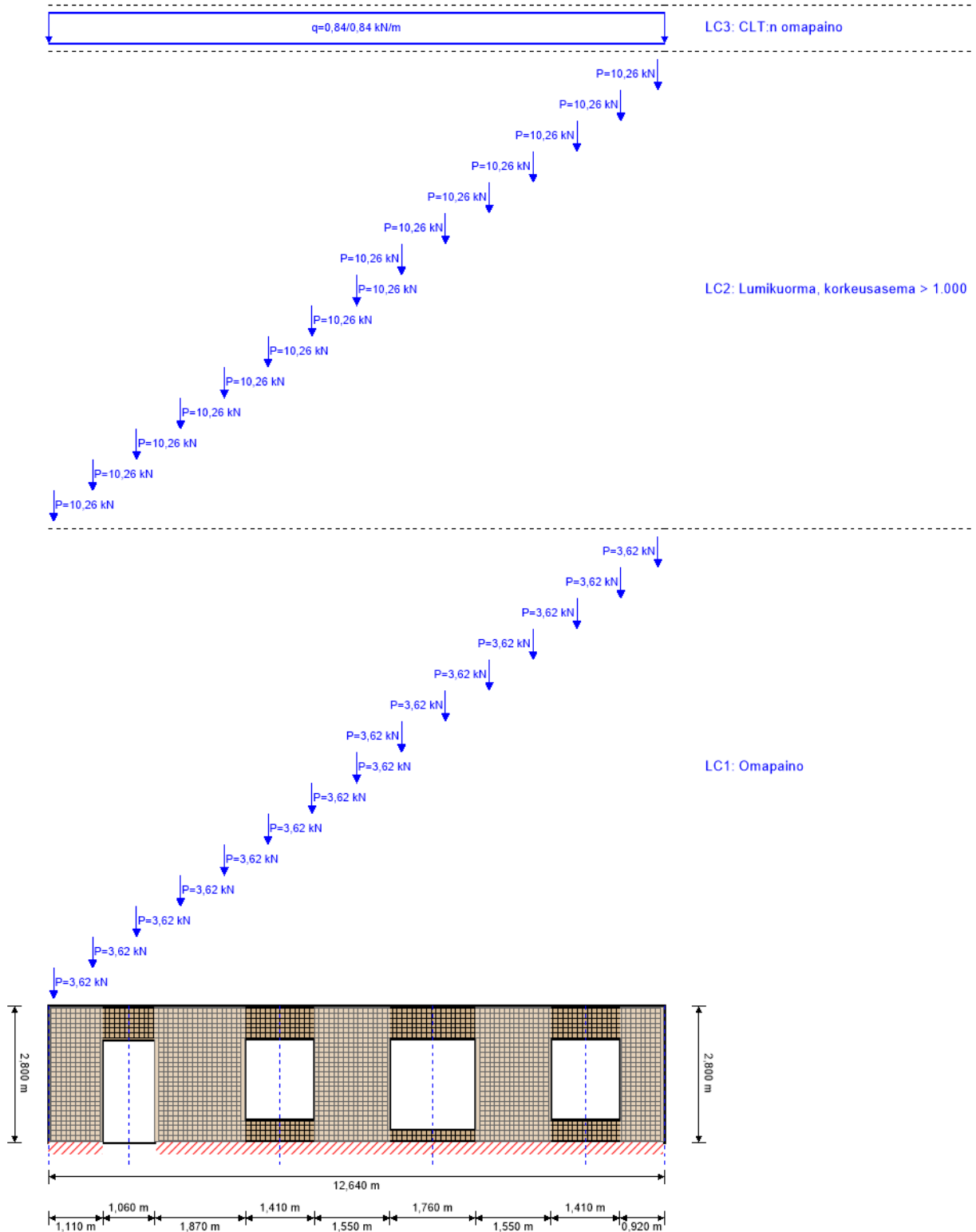


Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Berechenbarkeit der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses von Brettsperrholzbauteilen "Stora Enso CLT"
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Gutachtliche Stellungnahme über die Versagenszeit t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten gemäß ÖNorm B3410 bzw. Gipsplattentyp DF gemäß EN 520
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu –
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Kapitel 12:
Analysis of CLT wall elements, using a beam grid model - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12	Berechnung von BSP-Wandscheiben mit Gitterrostmodellen - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12
SFS EN 1995-1-2_NA	Eurocode 5: Berechnung und Bemessung von Holzbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Bemessung für den Brandfall, Nationale Festlegungen zu SFS EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Gutachten über Rollschubmodul und Rollschubfestigkeit von CLT Platten
Expertise shear in plane of CLT, H.J. Blass	Gutachtliche Stellungnahme - Änderung der Bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-599 - Scheibenschub in der Ebene von CLT

Vastuuvapauslauseke

Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/ rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta tulosteita ei saa muokata. Vaikka ohjelmisto on kehitetty huolellisesti, Stora Enso ei anna takuita tai ota vastuuta tiedon tarkkuudesta, voimassaolosta, ajantasaisuudesta tai täydellisyydestä eikä vastaa myytävyydestä tai sopivuudesta tiettyyn tarkoitukseen. Stora Enso ei vastaa suorista, epäsuorista, erityisistä tai muista välillisistä vahingoista jotka seuraavat ohjelmiston käytöstä, mukaan lukien menetetyt voitot, liiketoiminnan keskeytyminen ja ohjelmien tai muun datan menetys. Stora Enso, sen tytäryhtiöt eivätkä muut vastaavat osapuolet ole vastuussa mistään suorasta, erityisestä, epäsuorasta, satunnaisesta tai muusta vahingosta vaikka vahingon mahdollisuudesta olisi varoitettu. Edellä oleva ei sulje pois pakollista/lailista tuotevastuuta.

Järjestelmä



Maailmanlaajuinen käyttöaste 159 %			
ULS	159 %	ULS Tulipalo	! SLS 12 %

Jakso: CLT 60 C3s				
	Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
	1	20,0 mm	90°	C24 kuusi
	2	20,0 mm	0°	C24 kuusi
	3	20,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}	60,0 mm			

Materiaalin arvot										
Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k \text{ min}}$	$E_{0, \text{mean}}$	G_{mean}	$G_{r, \text{mean}}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi	24,00	14,00	0,35	21,00	2,50	4,00	1,25	12 500,00	690,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät										
	Kuormaryhmä	Typ	Kesto-aika	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
LC3	CLT:n omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
LC1	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
LC2	Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,2	

LC3:CLT:n omapaino			
Puolisuunnikkakuorma			
Etäisyys alkupisteestä	$Q_{k,a}$	Kuormitus lopuksi	Kuormituksen pituus
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	0,84	0,84	12,640

LC1:Omapaino	
Pistekuorma	
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,100	3,62
0,900	3,62
1,800	3,62
2,700	3,62
3,600	3,62
4,500	3,62
5,400	3,62
6,320	3,62
7,240	3,62
8,140	3,62
9,040	3,62
9,940	3,62
10,840	3,62
11,740	3,62
12,500	3,62



LC2:Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy

Pistekuorma

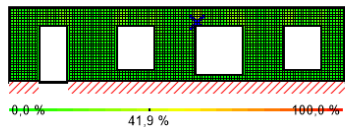
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,100	10,26
0,900	10,26
1,800	10,26
2,700	10,26
3,600	10,26
4,500	10,26
5,400	10,26
6,320	10,26
7,240	10,26
8,140	10,26
9,040	10,26
9,940	10,26
10,840	10,26
11,740	10,26
12,500	10,26

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,35/1,00 * LC1 + 1,35/1,00 * LC3
LCO2	1,15/1,00 * LC1 + 1,15/1,00 * LC3 + 1,50/0,00 * LC2

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset

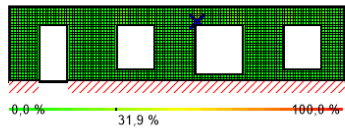
Nettoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{tP,Netto,k}$	Q	$T_{tP,Net,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	8,0	4,29	2,14	42 %

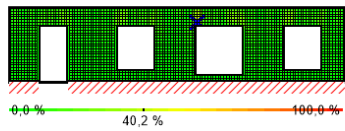
Bruttoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{v,IP,Brutto,k}$	[kN]	$\tau_{IP,Gross,d}$	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	3,5	4,29	0,71	32 %

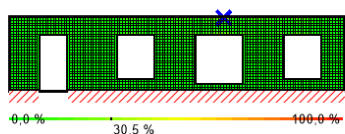
Reunaliimattujen pintojen vääntöleikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	$\tau_{T,Node,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{v,IP,T,k}$	[kN]	$\tau_{T,Node,d}$	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	2,5	4,29	0,64	40 %

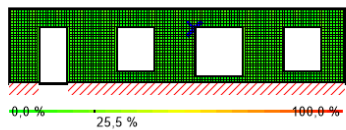
Käyttöaste aksiaaliselle vaakavoimalle



LCO2

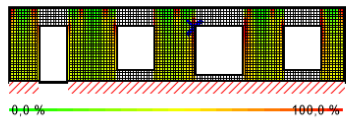
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{n,max}$	M_y	$\sigma_{n,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{m,k}$	[kN]	[kNm]	$\sigma_{n,max}$	[%]
3609	8,05	2,75	0,8	24,0	9,3697	0,0000	4,68	31 %

Käyttöaste aksiaaliselle pystyvoimalle



LCO2									
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]	
2716	6,95	2,05	0,8	24,0	15,6620	0,0000	3,92	25 %	

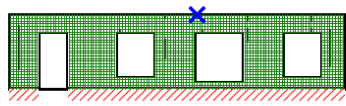
Käyttöaste lommahdukselle



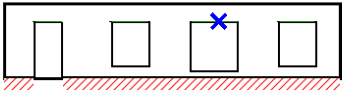
LCO2											
Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	
2716	6,95	2,05	2,8	135	0,1	0,184	13,44	3,92	0,00	159 %	

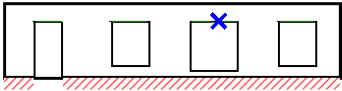
Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset

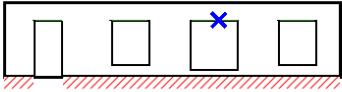
Vaakasuuntainen muodonmuutos



LCO2						
Id	X	Z	W_{limit}	Raja	$v_{h,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
3725	7,05	2,8	9,3	L/300 = 9,3	0,1695	1,8 %

Alustava poikkeama [$w_{omin.}$]									
	LCO2								
	Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde
	[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]	
	2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/400	4,4	0,5	12 %

Lopullinen taipuma [$w_{omin.} + w_{l.p.} * K_{def}$]									
									
	Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde
	[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]	
	2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/200	8,8	0,7	8 %

Lopullinen taipuma netto [$w_{l.p.} * (1 + k_{def})$]									
									
	Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde
	[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[m]	[mm]	
	2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/300	5,9	0,4	7 %

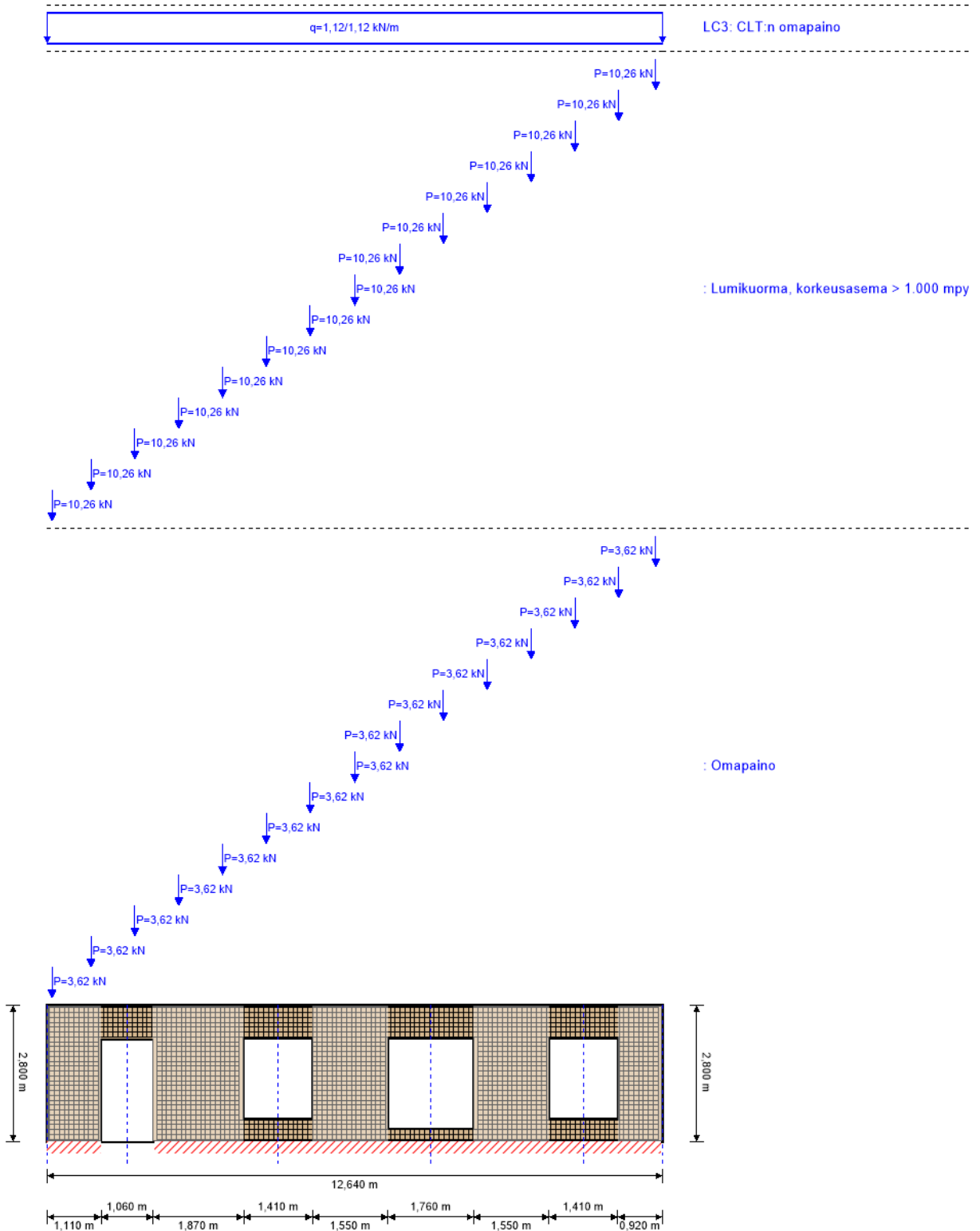
Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 338	EN 338 - Kantavat puurakenteet — Lujuusluokat
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-14/0349	Eurooppalainen tekninen arviointi ETA-14/0349 of 02.10.2014
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Asiantuntemus CLT:n tasoleikkauslujuuden ominaisarvolle
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Berechenbarkeit der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses von Brettsperrholzbauteilen "Stora Enso CLT"
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Gutachtliche Stellungnahme über die Versagenszeit t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten gemäß ÖNorm B3410 bzw. Gipsplattentyp DF gemäß EN 520
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu –
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Kapitel 12:
Analysis of CLT wall elements, using a beam grid model - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12	Berechnung von BSP-Wandscheiben mit Gitterrostmodellen - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12
SFS EN 1995-1-2_NA	Eurocode 5: Berechnung und Bemessung von Holzbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Bemessung für den Brandfall, Nationale Festlegungen zu SFS EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Gutachten über Rollschubmodul und Rollschubfestigkeit von CLT Platten
Expertise shear in plane of CLT, H.J. Blass	Gutachtliche Stellungnahme - Änderung der Bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-599 - Scheibenschub in der Ebene von CLT

Vastuuvapauslauseke

Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/ rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta tulosteita ei saa muokata. Vaikka ohjelmisto on kehitetty huolellisesti, Stora Enso ei anna takuita tai ota vastuuta tiedon tarkkuudesta, voimassaolosta, ajantasaisuudesta tai täydellisyydestä eikä vastaa myytävyydestä tai sopivuudesta tiettyyn tarkoitukseen. Stora Enso ei vastaa suorista, epäsuorista, erityisistä tai muista välillisistä vahingoista jotka seuraavat ohjelmiston käytöstä, mukaan lukien menetetyt voitot, liiketoiminnan keskeytyminen ja ohjelmien tai muun datan menetys. Stora Enso, sen tytäryhtiöt eivätkä muut vastaavat osapuolet ole vastuussa mistään suorasta, erityisestä, epäsuorasta, satunnaisesta tai muusta vahingosta vaikka vahingon mahdollisuudesta olisi varoitettu. Edellä oleva ei sulje pois pakollista/lailista tuotevastuuta.

Järjestelmä



Maailmanlaajuinen käyttöaste 71 %			
ULS	71 %	ULS Tulipalo	! SLS 9 %

Jakso: CLT 80 C3s				
	Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
	1	20,0 mm	90°	C24 kuusi
	2	40,0 mm	0°	C24 kuusi
	3	20,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}	80,0 mm			

Materiaalin arvot										
Materiaalit	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k \text{ min}}$	$E_{0, \text{mean}}$	G_{mean}	$G_{r, \text{mean}}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 kuusi	24,00	14,00	0,35	21,00	2,50	4,00	1,25	12 500,00	690,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät										
	Kuormaryhmä	Typ	Kesto aika	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
LC3	CLT:n omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1	1
	Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,2	

LC3:CLT:n omapaino			
Puolisuunnikkakuorma			
Etäisyys alkupisteestä	$Q_{k,a}$	Kuormitus lopuksi	Kuormituksen pituus
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	1,12	1,12	12,640

:Omapaino	
Pistekuorma	
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,100	3,62
0,900	3,62
1,800	3,62
2,700	3,62
3,600	3,62
4,500	3,62
5,400	3,62
6,320	3,62
7,240	3,62
8,140	3,62
9,040	3,62
9,940	3,62
10,840	3,62
11,740	3,62
12,500	3,62

:Lumikuorma, korkeusasema > 1.000 mpy

Pistekuorma

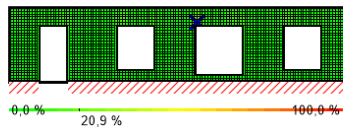
Etäisyys alkupisteestä	P_k
[m]	[kN]
0,100	10,26
0,900	10,26
1,800	10,26
2,700	10,26
3,600	10,26
4,500	10,26
5,400	10,26
6,320	10,26
7,240	10,26
8,140	10,26
9,040	10,26
9,940	10,26
10,840	10,26
11,740	10,26
12,500	10,26

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,35/1,00 * + 1,35/1,00 * LC3
LCO2	1,15/1,00 * + 1,15/1,00 * LC3 + 1,50/0,00 *

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset

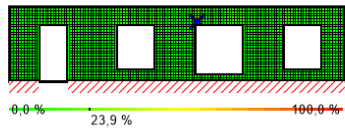
Nettoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



LCO2

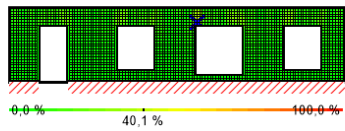
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{tP,Netto,k}$	Q	$T_{tP,Net,d}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
2969	7,05	2,25	0,8	8,0	4,28	1,07	21 %

Bruttoleikkauksen tasossa olevan leikkausjännityksen käyttöaste



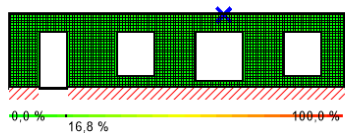
LCO2								
Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	$f_{v,IP,Brutto,k}$	[kN]	[N/mm ²]	[IP,Gross,d] [%]	
2969	7,05	2,25	0,8	3,5	4,28	0,53	24 %	

Reunaliimattujen pintojen vääntöleikkausjännityksen käyttöaste



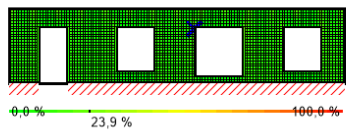
LCO2								
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{v,IP,T,k}$	Q	$\tau_{T,Node,d}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	
2969	7,05	2,25	0,8	2,5	4,28	0,64	40 %	

Käyttöaste aksiaaliselle vaakavoimalle



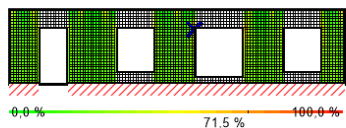
LCO2								
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{n,max}$	M_y	$\sigma_{n,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
3609	8,05	2,75	0,8	24,0	10,3481	0,0000	2,59	17 %

Käyttöaste aksiaaliselle pystyvoimalle



LCO2									
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]	
2716	6,95	2,05	0,8	24,0	4,6786	0,0000	3,67	24 %	

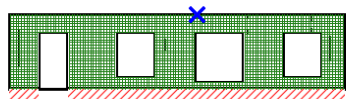
Käyttöaste lommahdukselle



LCO2											
Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	
2716	6,95	2,05	2,8	92	0,1	0,382	13,44	3,67	0,00	71 %	

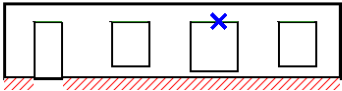
Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset

Vaakasuuntainen muodonmuutos



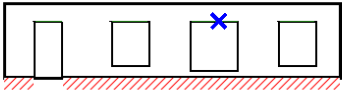
LCO2						
Id	X	Z	W_{limit}	Raja	$v_{h,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
3725	7,05	2,8	9,3	L/300 = 9,3	0,1109	1,2 %

Alustava poikkeama $[w_{omin.}]$



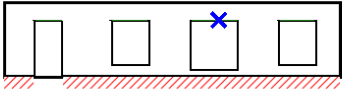
LCO2									
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/400	4,4	0,4	9 %	

Lopullinen taipuma $[w_{omin.} + w_{l.p.} * K_{def}]$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/200	8,8	0,5	6 %	

Lopullinen taipuma netto $[w_{l.p.} * (1 + K_{def})]$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		
2853	8,05	2,15	0,6	1,8	1/300	5,9	0,3	5 %	

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten

Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 338	EN 338 - Kantavat puurakenteet — Lujuusluokat
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ETA-14/0349	Eurooppalainen tekninen arviointi ETA-14/0349 of 02.10.2014
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Asiantuntemus CLT:n tasoleikkauslujuuden ominaisarvolle
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus



Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Berechenbarkeit der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses von Brettsperrholzbauteilen "Stora Enso CLT"
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Gutachtliche Stellungnahme über die Versagenszeit t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten gemäß ÖNorm B3410 bzw. Gipsplattentyp DF gemäß EN 520
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu –
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Kapitel 12:
Analysis of CLT wall elements, using a beam grid model - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12	Berechnung von BSP-Wandscheiben mit Gitterrostmodellen - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12
SFS EN 1995-1-2_NA	Eurocode 5: Berechnung und Bemessung von Holzbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Bemessung für den Brandfall, Nationale Festlegungen zu SFS EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Gutachten über Rollschubmodul und Rollschubfestigkeit von CLT Platten
Expertise shear in plane of CLT, H.J. Blass	Gutachtliche Stellungnahme - Änderung der Bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-599 - Scheibenschub in der Ebene von CLT

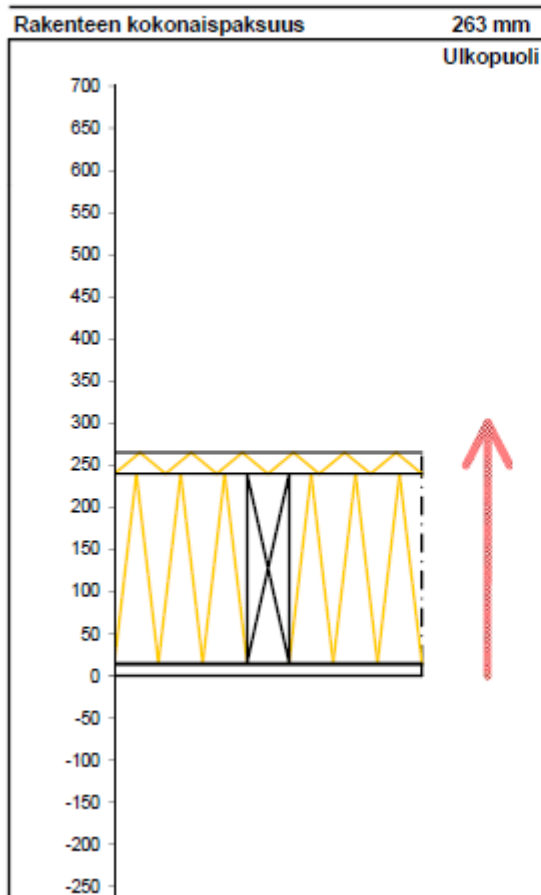
Vastuuvapauslauseke

Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/ rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta tulosteita ei saa muokata. Vaikka ohjelmisto on kehitetty huolellisesti, Stora Enso ei anna takuita tai ota vastuuta tiedon tarkkuudesta, voimassaolosta, ajantasaisuudesta tai täydellisyydestä eikä vastaa myytävyydestä tai sopivuudesta tiettyyn tarkoitukseen. Stora Enso ei vastaa suorista, epäsuorista, erityisistä tai muista välillisistä vahingoista jotka seuraavat ohjelmiston käytöstä, mukaan lukien menetetyt voitot, liiketoiminnan keskeytyminen ja ohjelmien tai muun datan menetys. Stora Enso, sen tytäryhtiöt eivätkä muut vastaavat osapuolet ole vastuussa mistään suorasta, erityisestä, epäsuorasta, satunnaisesta tai muusta vahingosta vaikka vahingon mahdollisuudesta olisi varoitettu. Edellä oleva ei sulje pois pakollista/laillista tuotevastuuta.

Ulkoseinävaihtoehtojen U-arvot

Puurunkoinen ulkoseinä

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	13	0,210	0,0619		
2 Ilman- ja höyrynsulku	0,2	0,330	0,0006		
3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	225	0,033	5,5201	48	600
4 Lämmöneriste	25	0,033	0,7576		
Ulkopinta			0,1300		



MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI

Ei muuraussiteitä

OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSSUUEDET

f_a	0,920	Eriste
f_b	0,080	Pystykoolaus
f_c	0,000	Vaakakoolaus
f_d	0,000	Koolausristeys

OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET

R_a	7,898	m ² K/W
R_b	2,811	m ² K/W
R_c	0,000	m ² K/W
R_d	0,000	m ² K/W

U-ARVO

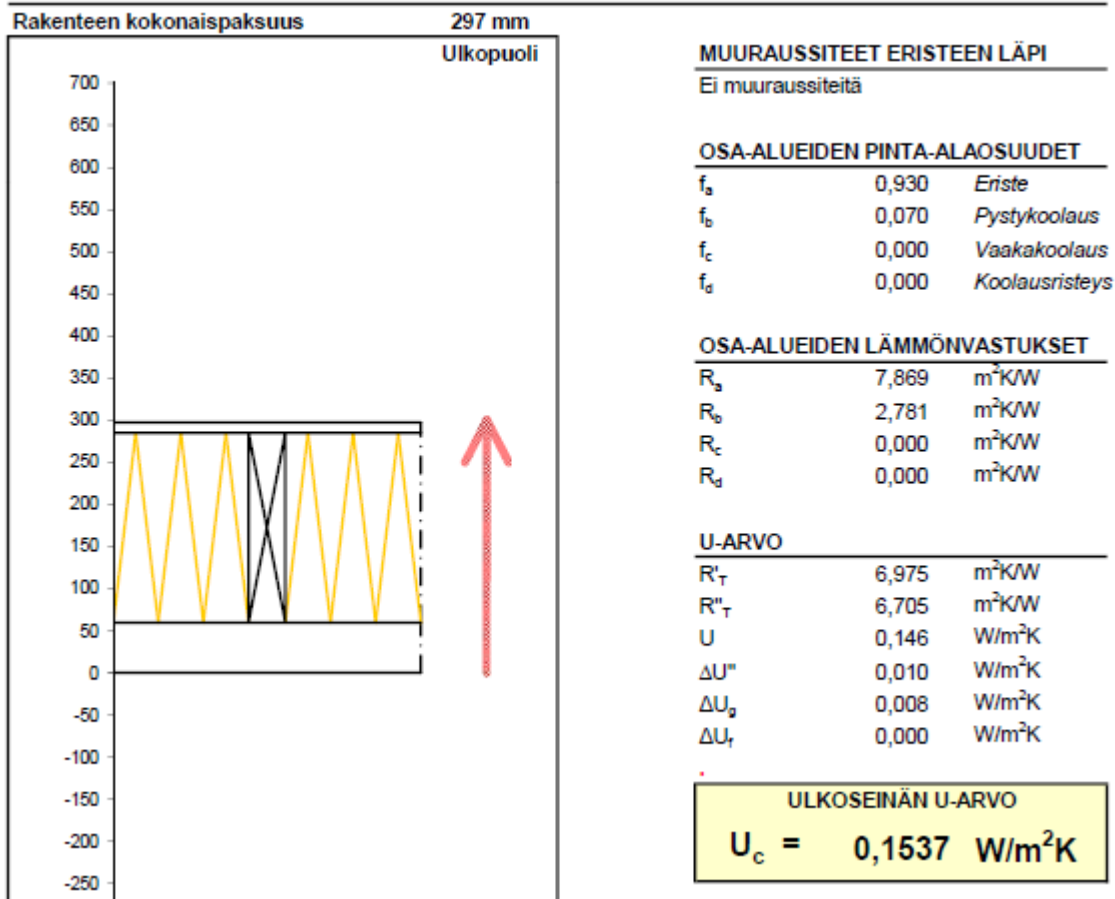
R'_T	6,899	m ² K/W
R''_T	6,600	m ² K/W
U	0,148	W/m ² K
$\Delta U''$	0,010	W/m ² K
ΔU_g	0,009	W/m ² K
ΔU_f	0,000	W/m ² K

ULKOSEINÄN U-ARVO

$$U_c = 0,1574 \text{ W/m}^2\text{K}$$

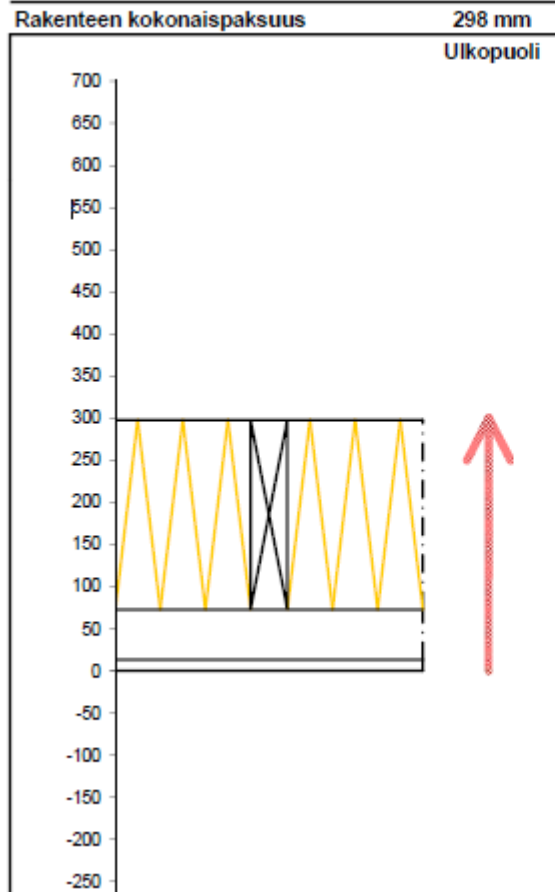
CLT-eriste-ulkoverhous

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 CLT	60	0,110	0,5455		
2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	225	0,033	5,6547	42	600
3 Kuitulevy	12	0,049	0,2449		
Ulkopinta			0,1300		



CLT-eriste-CLT

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m^2K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	13	0,210	0,0619		
2 CLT	60	0,110	0,5455		
3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	225	0,031	5,9320	42	600
Ulkopinta			0,0400		



MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI

Ei muuraussiteitä

OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET

f_a	0,930	<i>Eriste</i>
f_b	0,070	<i>Pystykoolausta</i>
f_c	0,000	<i>Vaakakoolausta</i>
f_d	0,000	<i>Koolausristeys</i>

OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET

R_a	8,035	m^2K/W
R_b	2,508	m^2K/W
R_c	0,000	m^2K/W
R_d	0,000	m^2K/W

U-ARVO

R'_T	6,962	m^2K/W
R''_T	6,709	m^2K/W
U	0,146	W/m^2K
$\Delta U''$	0,010	W/m^2K
ΔU_g	0,008	W/m^2K
ΔU_f	0,000	W/m^2K

ULKOSEINÄN U-ARVO

$$U_c = 0,1545 \text{ W/m}^2\text{K}$$