



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JOONA LÄHTEENMÄKI
CLT-ELEMENTIN SOVELTAMINEN PIENTALON VAIPPARAKEN-
TEESSA SEKÄ YLÄPOHJASSA

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Mikko Malas-
ka

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
24. helmikuuta 2017

TIIVISTELMÄ

JOONA LÄHTEENMÄKI: CLT-elementin soveltaminen pientalon vaipparakenteessa sekä yläpohjassa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 73 sivua, 11 liitesivua

Huhtikuu 2017

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastaja: professori Mikko Malaska

Avainsanat: CLT, massiivipuu, suunnittelu, pientalo

Opinnäytetyössä käsitellään CLT:tä rakennusmateriaalina ja tarkastellaan sen ominaisuuksia sekä käyttöä. CLT tulee sanoista Cross Laminated Timber ja se tarkoittaa ristiinliimatuista puulamelleista muodostuvaa massiivipuelementtiä. CLT-levyistä valmistetaan rakennusteollisuudelle CLT-elementtejä rakentamiseen. Suomessa CLT-rakentaminen on vielä harvinaista. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää CLT:n ominaisuuksia ja mahdollisuuksia sekä soveltuvuutta puurunkoisten pientalojen vaipparakenteeksi. Tutkimuksen soveltavassa osassa suunnitellaan rakennusosaltaan 189 m² oleva pientalo. Talon vaipparakenteet toteutetaan CLT-rakenteisina.

Opinnäytetyössä käsitellään CLT:n keskeiset ominaisuudet ja selvitetään CLT-tuotteiden valmistusprosessia. Työssä käsitellään CLT:n käyttöä, sekä käyttöön liittyviä erityispiirteitä liittyen mm. asentamiseen ja elementtien muokkaamiseen työmaalla. CLT-rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan osalta tarkastellaan lämmön ja kosteuden siirtymisestä rakenteissa. Diplomityöhön on pyritty kokoamaan pientalorakentamisen näkökulmasta CLT-rakenteisiin ja rakentamiseen liittyvät keskeiset perustiedot.

Opinnäytetutkimuksen teoriapohjana on käytetty olemassa olevien CLT-levyjen valmistajien internetsivuja sekä Puuinfon ympärille rakentuneiden yhteistyökumppaneiden tuotteita ja tutkimustuloksia. CLT-rakenteiden ja -tuotteiden ympäristövaikutuksiin liittyvät tietolähteet ovat pääosin kansainvälisiä.

CLT:llä on Suomen olosuhteissa suotuisat kasvunäkymät, sillä CLT soveltuu Suomen puurakentamiseen ja Suomessa on kaikki edellytykset tuottaa runsain määrin tarvittavaa raaka-ainesta rakennusteollisuudelle. Tämän tutkimuksen perusteella CLT soveltuu myös pientalorakentamiseen.

ABSTRACT

JOONA LÄHTEENMÄKI: Building enclosure design for CLT construction

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 73 pages, 11 appendix pages

April 2017

Master's Degree Program in Civil Engineering

Major: Construction Management and Economics

Examiner: Professor Mikko Malaska

Keywords: CLT, solid wood, detached house, design

The purpose of this thesis was to study the features and use of CLT structures in residential applications. Name CLT comes from words Cross Laminated Timber and a CLT panel consists of several layers of structural wood boards stacked crosswise and glued together to form a massive wood block. These panels can then be cut to form CLT elements of different shapes. In this research the properties and performance of CLT and CLT products were investigated with the aim of exploring the possibilities of CLT as a construction material in detached house construction in particular.

The thesis introduces CLT's key features and the production process. The research also introduces the special features of CLT construction including the installation and modifications to the elements. Building physical characteristics will be examined in terms of thermal and moisture control. The aim of the research is to collect sufficient information for the design of a typical timber framed detached house. In a case study the preliminary design of a detached house with 189 m² floor area is carried out.

The theory and technical information in this thesis was based on different online databases concerning about CLT and Finnish site called Puuinfo which has gathered information and articles. Information concerning the environmental performance of CLT was gathered mainly from various international sources.

CLT has good prospects for growth in the Finnish construction because it fits well to Finnish construction methods and the availability of the raw material resources is excellent. Based on the results of this study CLT is a potential construction material also in detached house construction.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteeksi Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitokselle. Työn ohjaajana ja valvojana on toiminut professori Mikko Malaska.

Opinnäytteellä haluan saada lisättyä tietoutta Suomessa vielä vähän käytetystä rakennusmateriaalista CLT:stä ja selvittää niitä mahdollisuuksia, mitä CLT tuo pientalorakentamiseen. Tavoitteenani on pyrkiä löytämään pitkällä tähtäimellä ympäristölle ja käyttäjille hyvä ratkaisu laadukkaaseen ja kestävään rakentamiseen.

Kiitän professori Mikko Malaskaa ohjauksesta ja inspiraatiosta sekä erityisesti Saara Vänskää merkittävästä tuesta kirjoitustaipaleella.

Tampereella, 14.3.2017

Joona Lähteenmäki

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	1
1.2	Työn rajaus ja rakenne	2
2	CLT –levy materiaalina.....	3
2.1	Yleisesti.....	3
2.2	CLT –tyypit.....	4
2.3	Valmistus	7
2.3.1	Tuotannon kuvaus.....	7
2.3.2	Raaka-aineesta lamelleiksi.....	8
2.3.3	Lamellien ladonta, liimaus sekä puristus.....	8
2.4	Käyttökohteet	8
2.5	Historia.....	11
3	CLT –ominaisuudet.....	13
3.1	Rakenneominaisuudet	13
3.2	Lujuusominaisuudet	13
3.3	Palotekniset ominaisuudet	15
3.4	Lämpötekniset ominaisuudet	16
3.5	Kosteustekniset ominaisuudet.....	17
3.6	Akustiset ominaisuudet	17
3.7	Ekologiset ominaisuudet.....	19
4	Rakennustekniset sovellukset.....	22
4.1	Mitoitus	22
4.1.1	Mitoitusperiaatteita	22
4.1.2	Pystyrakenteet.....	22
4.1.3	Vaakarakenteet.....	23
4.1.4	Liitospinta	23
4.2	Muokattavuus.....	23
4.3	Liitokset	33
4.3.1	Alapohjan liitos seinäelementtiin.....	33
4.3.2	Seinäelementtien liitos välipohjaan	37
4.3.3	Seinäelementin liitos yläpohjaan	38
4.3.4	Harjaliitos.....	40
4.3.5	Elementtien välinen pysty- ja vaakaliitos	41
4.3.6	Ikkuna- ja oviliitokset.....	45
4.4	Eristäminen	47
4.4.1	Vaipparakenteen eristäminen.....	47
4.4.2	Yläpohjan eristäminen	53
4.5	Kiinnikkeet.....	58
5	Esimerkkitarkastelu.....	61
5.1	Kantavien rakenteiden mitoitus.....	62

5.2	Lämpötekkinen mitoitus.....	63
6	Johtopäätökset sekä pohdinta.....	64
7	Yhteenveto	66
	Lähdeluettelo.....	67
	Liiteluettelo	73

KUVALUETTELO

Kuva 1	<i>CLT:n rakenne. [36]</i>	3
Kuva 2	<i>CLT:n vakiorakenteet [12]</i>	5
Kuva 3	<i>CLT:n pintalaadut [38]</i>	6
Kuva 4	<i>Weinig AG:n tuotantolinja [39]</i>	7
Kuva 5	<i>CLT:n ladonta sekä liimaus [40]</i>	8
Kuva 6	<i>CLT vaipparakenne [41]</i>	9
Kuva 7	<i>CLT sauna [42]</i>	10
Kuva 8	<i>CLT tilaelementti [43]</i>	10
Kuva 9	<i>Luontokeskus Haltia [43]</i>	11
Kuva 10	<i>Limnologen [18]</i>	12
Kuva 11	<i>CLT vs. Glulam [46]</i>	13
Kuva 12	<i>SmartLam [46]</i>	14
Kuva 13	<i>CrossLam mitoitustaulukko [47]</i>	15
Kuva 14	<i>CLT-välipohjan lattiakerrokset [48]</i>	18
Kuva 15	<i>Puun kiertokulku [12]</i>	20
Kuva 16	<i>Puun hiilijalanjälki [12]</i>	21
Kuva 17	<i>Reunan oikaisu [57]</i>	24
Kuva 18	<i>Kaareva reuna tai reikä [57]</i>	25
Kuva 19	<i>Reunan hammastus [57]</i>	26
Kuva 20	<i>Reunan viiste [57]</i>	27
Kuva 21	<i>Puolipontti [57]</i>	28
Kuva 22	<i>Pieni suorareunainen aukko [57]</i>	29
Kuva 23	<i>Iso suorareunainen aukko [57]</i>	30
Kuva 24	<i>Pintaura [57]</i>	31
Kuva 25	<i>Sisäura [57]</i>	32
Kuva 26	<i>CLT:n muokattavuus [57]</i>	33
Kuva 27	<i>Seinäliitos laastilla laattaan [57]</i>	34
Kuva 28	<i>Seinäliitos alapuulla laattaan [57]</i>	35
Kuva 29	<i>Seinäliitos korkealla alapuulla laattaan [57]</i>	35
Kuva 30	<i>Seinäliitos laastilla sokkeliin [57]</i>	36
Kuva 31	<i>Seinäliitos alapuulla sokkeliin [57]</i>	36
Kuva 32	<i>Välipohjaliitos vaippaa lävistäen vaippa [57]</i>	37
Kuva 33	<i>Välipohjaliitos vaippaan sisäpuoleisilla kannakkeilla [57]</i>	38
Kuva 34	<i>Yläpohjan liitos suorakulmaiseen vaippaan [57]</i>	38
Kuva 35	<i>Yläpohjan liitos viistettyyn vaippaan [57]</i>	39
Kuva 36	<i>Lovetun yläpohjan liitos suorakulmaiseen vaippaan [57]</i>	40
Kuva 37	<i>Harjaliitos palkkiin [57]</i>	40
Kuva 38	<i>Harjaliitos pusku- tai jiirisamaan [57]</i>	41
Kuva 39	<i>Seinän kulmaliitos [57]</i>	42
Kuva 40	<i>Seinän vaippaliitos [57]</i>	42

Kuva 41	<i>Seinän jatkoliitos vaakasaumalla [57]</i>	43
Kuva 42	<i>Seinän jatkoliitos pontatulla pystysaumalla [57]</i>	43
Kuva 43	<i>Seinän jatkoliitos täytelevyllä pystysaumassa [57]</i>	44
Kuva 44	<i>YP- tai VP-rakenteen jatkoliitos täytelevyllä [57]</i>	45
Kuva 45	<i>YP- tai VP-rakenteen jatkoliitos pontilla [57]</i>	45
Kuva 46	<i>Ikkunaliitos CLT:n linjaan [57]</i>	46
Kuva 47	<i>Ikkunaliitos CLT:n ulkopuolella [57]</i>	47
Kuva 48	<i>Vaipparakenne mineraalivillalla [57]</i>	48
Kuva 49	<i>Vaipparakenne puukuitulevyllä [57]</i>	49
Kuva 50	<i>Vaipparakenne XPS-eristeellä [57]</i>	50
Kuva 51	<i>Vaipparakenne selluloosalla [57]</i>	51
Kuva 52	<i>Vaipparakenne puhalluseristeellä [57]</i>	52
Kuva 53	<i>Vaipparakenne EPS-levyllä [57]</i>	53
Kuva 54	<i>Yläpohjarakenne mineraalivillalla [57]</i>	54
Kuva 55	<i>Yläpohjarakenne puukuitulevyllä [57]</i>	55
Kuva 56	<i>Yläpohjarakenne selluloosalla [57]</i>	56
Kuva 57	<i>Yläpohjarakenne PUR-levyllä [57]</i>	57
Kuva 58	<i>Tasakattoinen yläpohja EPS-eristeellä [57]</i>	58
Kuva 59	<i>Sherpa [58]</i>	59
Kuva 60	<i>TeknoWood [59]</i>	59
Kuva 61	<i>X-RAD [60]</i>	60
Kuva 62	<i>Villa Salvanska</i>	62

1 JOHDANTO

Diplomityön tarkoituksena on tarkastella CLT -elementtiä erinäisissä rakennusteknisissä sovelluksissa ja tarkastella materiaalisovelluksen historiaa ja luoda lukijalle selvä ja ymmärrettävä mielikuva maassamme suhteellisen uuden rakennusmateriaalin perustiedoista.

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Suomessa puurakentamisessa on otettu käyttöön uusia materiaaleja ja rakenneratkaisuja sekä lähdetty kehittämään rakentamista entistäkin energiatehokkaampaan rakentamiseen ja tiiviimpiin vaippa- ja yläpohjarakenteisiin. Tämä on tuonut mukanaan monimutkaisia rakenteita, jotka ovat alttiita erilaisille vauriomekanismeille. Näiden mekanismien johdosta rakenteissa on ilmennyt kosteudesta johtuvia homevaurioita ja muita sisäilmaongelmia.

Keski-Euroopassa puurakentaminen CLT -elementeillä on hyvin suosittua. Puu on jäänyt rakentamisessa betonin ja muiden vaihtoehtoisten kivipohjaisten rakennusmateriaalien varjoon. Tähän on ollut yhtenä keskeisenä syynä puun käyttöä rajoittaneet palomääräykset. Suomessa kuitenkin löytyy luontaisesti huomattavat raaka-ainevarastot puutuotteiden teolliseen valmistukseen. Tälle materiaalille ollaan hakemassa tehokkaita tapoja jalostaa puu kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi nykyisille markkinoille, joita hallitsevat aina vain kiristyvät energiavaatimukset.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia CLT -elementin mahdollistamia uusia sovelluksia rakennusteknisissä ratkaisuissa ja samalla selvittää mahdollisuuksia CLT-rakenteiden hyödyntämiseen Suomalaisessa pientalorakentamisessa.

Työssä tarkastellaan CLT -elementin perusrakennetta, käytettyjä materiaaleja sekä valmistusprosessia. Tutkimuksen soveltavassa osassa kerättyä aineistoa käytetään rakennuksen suunnitteluun. Lujuusteknisissä tarkasteluissa käydään läpi CLT -elementin kykyä siirtää kuormia rakenteessa. Keskeisessä asemassa on elementtiverkkomaisen voimien siirtämisen vertailu perinteisillä rakennusmateriaaleilla käytettyihin tapoihin. Paloteknisessä tarkastelussa selvitetään CLT:n kykyä sietää palorasitusta sellaisenaan sekä erilaisia palosuojarakaisuja määräyksissä esitettyjen vaatimusten täyttämiseksi. Ääniteknisten ominaisuuksien osalta selvitetään kuinka ne täyttävät nykypäivän määräykset ja mukavuustekijät. Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa selvitetään materiaalin

lämpötekniisiä ominaisuuksia ja sitä, kuinka CLT-rakenne käyttäytyy kosteuden kanssa. Tässä keskityttäisiin eritoten lamelliseen kuorirakenteeseen, jossa kukin rakennekerros olisi omaa materiaaliensa ilman merkittäviä risteäviä rakenteita. Sovellustarkastelussa keskityttäisiin käytännön seikkoihin kuten liitoksiin, mitoitukseen ja muokattavuuteen. Työssä selvitetään myös rakentamisen aikaisten työmaaolosuhteiden eroja verrattuna perinteisillä rakennusmateriaaleilla toteutettuihin kohteisiin.

1.2 Työn rajaus ja rakenne

CLT-materiaalin laajojen sovellusmahdollisuuksien johdosta työssä rajaudutaan tarkastelemaan pientalon ulkoseinän vaipparakenteen sekä yläpohjaratkaisujen toteutusta CLT –elementeistä. Tutkimuksessa selvitetään näiden rakenneosien rakenteellista toimintaa sekä rakenneteknisiä ratkaisuja ja mahdollisuuksia. Rajautuminen pientalorakentamiseen antaa mahdollisuuden kehittää ratkaisuja tuotantoalueelle, jossa toimii paljon eri kokoisia yrityksiä ja organisaatioita ja pientalotuotannon asiakasrajapinta on lukumääräisesti laajin kuluttajamarkkinoiden volyyymeistä johtuen. Pientalorakentaminen on esimerkiksi rahoituslaitosten suurimpia osa-alueita ja siksi kyseisen kuluttajasegmentin tarkastelu kohderyhmänä palvelee rakennusalaa laaja-alaisesti. Tarkoituksena on myös yrittää löytää kustannustehokkaita ja teknisesti toimivia ratkaisuja työmaatoteutukseen. Kaikki rakennusprosessia, sekä vaipparakenteiden valmistumista nopeuttavat ratkaisut vähentävät rakenteiden altistumista mahdollisille kosteusrasituksille.

2 CLT –LEVY MATERIAALINA

Tässä kappaleessa käydään lävitse yleistä tietoa liittyen CLT –elementtiin ja sen eri vaiheisiin historiassa ja valmistusprosessissa.

2.1 Yleisesti

Nimi CLT tulee suoraan sen englanninkielisestä nimestä, Cross-Laminated Timber. CLT –elementti on ristiinliimattu massiivipuinen levymäinen elementti, joka koostuu toisiinsa liimatuista laudoista tai lankuista riippuen kyseisen elementin käyttötarkoituksesta ja mitoituksellisista seikoista. Rakenne esitetty kuvassa 1.



Kuva 1 CLT:n rakenne. [36]

CLT –elementti on valmistettu joko PEFC-ympäristösertifioidusta kuusesta tai männystä ja rakennekerroksia siinä on joko 3, 5, 7 tai 8. Kokonaispaksuus voi olla 90mm ja 400mm välillä. Elementtien valmistuksessa käytettävän CLT -levyn tuotannolliset maksimitat ovat 2,95m x 16m. Rakennelaskelmissa käytettävä tilavuuspaino on 470kg/m^3 eli $5,0\text{kN/m}^3$. Standardin EN 12524 [7] mukaan lämmönjohtavuusarvo on $0,11\text{W/(mK)}$ ja ominaislämpökapasiteetti on 1600J/(kgK) . Standardin EN 1995-1-1 [7] mukaan rakenteen käyttöluokka on tyypillisesti 1 ja 2. [1]

CLT –elementeissä, jotka valmistetaan Suomessa, käytetään formaldehydivapaata PUR liimaa, jota käytetään vakuumiliimauksessa. [2]

2.2 CLT –tyypit

CLT –elementti mahdollistaa rakenteensa vuoksi lukuisat erilaiset sovellusvariaatiot itse perustuotteesta. Ulospäin CLT voidaan pinnoittaa lukuisilla erilaisilla rakennusalan tuotteilla riippuen millaisia ominaisuuksia CLT –elementiltä halutaan loppukäytössä. Visuaalisiin ja akustisiin ominaisuuksiin löytyy käytännössä rajattomasti variaatiota sillä pohjana CLT on monimuotoinen ja mahdollistaa käytännössä kaikkien nykyistenkin pintasovellusten hyödyntämisen. [9]

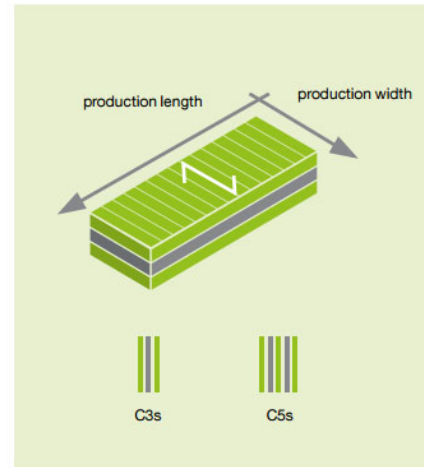
Kuvassa 2 on esitetty tyypilliset CLT –elementin paksuudet. Kuvan taulukosta löytyvät myös muut perustiedot kyseisistä elementtikoon tiedoista kuten lamellien paksuus, suunta ja pintalaatu. Kuvan 3 taulukossa on esitetty saatavilla olevan kolmen peruspintalaadun tiedot. Jaottelu on tehty sen mukaan tuleeko elementin pinta olemaan piilossa (NVI) vai esillä (VI ja IVI). NVI laadun elementtiä ei tarvitse suodattaa puun omista luonnollisista virheistä tai mahdollisista oksista. VI ja IVI luokissa elementin pintalamelliin valikoidaan vähäoksaisia ja virheettömiä höylätuotteita. Levyjä voidaan myös valmistaa pinnoiltaan poikkeavilla laaduilla. Sisäpintaan voidaan valita näkyviin jäävä VI laatu ja ulkopuolelle piiloon jäävä puoli voidaan tehdä NVI laadulla. [9]

CLT standard designs

C panels

The grain direction of the cover layers is always parallel to the production widths.

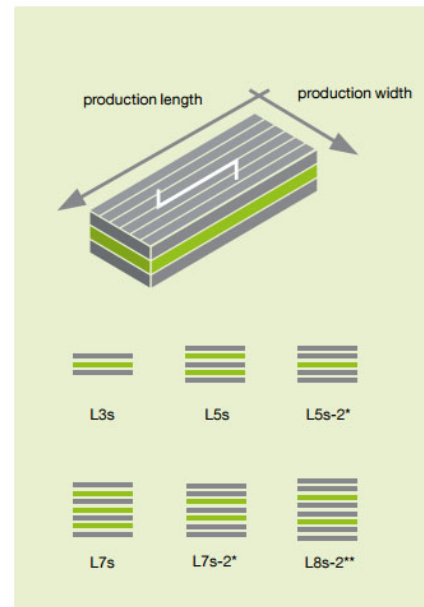
Thickness [mm]	Panel type [-]	Layers [-]	Panel design [mm]			
			C***	L	C***	L
60	C3s	3	20	20	20	
80	C3s	3	20	40	20	
90	C3s	3	30	30	30	
100	C3s	3	30	40	30	
120	C3s	3	40	40	40	
100	C5s	5	20	20	20	20
120	C5s	5	30	20	20	30
140	C5s	5	40	20	20	40
160	C5s	5	40	20	40	40



L panels

The grain direction of the cover layers is always at right angles to the production widths.

Thickness [mm]	Panel type [-]	Layers [-]	Panel design [mm]					
			L	C	L	C	L	C
60	L3s	3	20	20	20			
80	L3s	3	20	40	20			
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
200	L7s	7	20	40	20	40	20	40
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40
220	L7s-2*	7	60	30	40	30	60	
240	L7s-2*	7	80	20	40	20	80	
260	L7s-2*	7	80	30	40	30	80	
280	L7s-2*	7	80	40	40	40	80	
300	L8s-2**	8	80	30	80	30	80	
320	L8s-2**	8	80	40	80	40	80	



* cover layers consisting of two lengthwise layers

** cover layers and inner layer consisting of two lengthwise layers

*** with C panels, the sanding direction is at right angles to the grain

Production widths:

245 cm, 275 cm, 295 cm

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

CLT SURFACE QUALITY			
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
beauty treatment of the surface with dowels / blocks	permitted	permitted	permitted
...			



VI Visible quality



IVI Industrial Visible quality



NVI Non-Visible quality

Kuva 3 CLT:n pintalaadut [38]

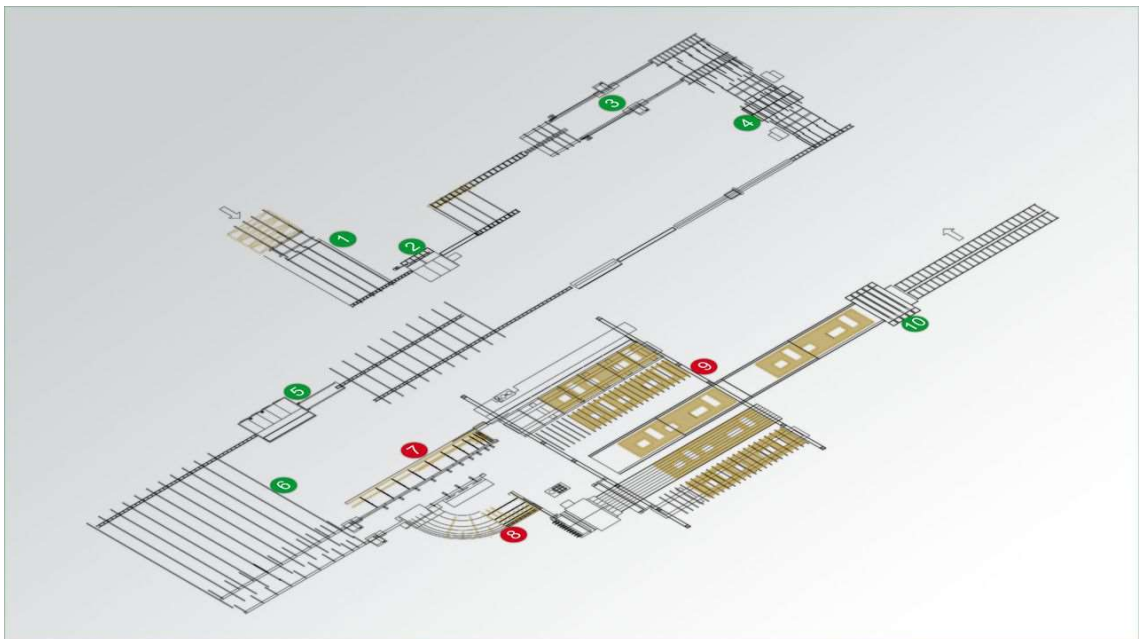
2.3 Valmistus

CLT -raakaelementin valmistuksen periaatteet eivät poikkea merkittävällä tavalla tehtaiden välillä johtuen vähäisestä valmistavien tehtaiden määrästä. Euroopassa CLT -elementtien keskeisiä valmistajia ovat KLH Massivholz, Stora Enso, Binderholz GmbH, FinnForest ja Mayr-Melnhof Kaufmann. Elementtien tuotanto keskittyy alueille, joissa laadukkaan raaka-aineen saatavuus on runsasta. Elementeille tehtävää työstämistä ja CNC -koneistusta tekee jo huomattavasti suurempi määrä yrityksiä. [15]

2.3.1 Tuotannon kuvaus

Eri CLT-valmistajien tuotantoprosessit ovat peruseriaateiltaan prosessina samanlainen mutta tehtaan tuotantolinja ja mahdolliset paikalliset poikkeamat voivat aiheuttaa pieniä eroja tuotantoprosesseittain. (6, 4) Yksinkertainen lopputuote ei mahdollista suuria eroja raakaelementtien tuotannossa. Perus raaka-aineetkaan eivät poikkea merkittävästi tehtaiden välillä.

Kuvassa 4 on esitetty periaatekuva Weinig AG:n tuotantolinjasta. Kohdassa 1 sijaitsee valmiin lamellimateriaalin syöttö tuotantolinjalle. Seuraavassa vaiheessa kohdassa 2 on esitetty lautojen esilevitys tasolla. Linjan kohdassa 3 puutavara sahataan määrävahvuuteen. Kohdassa 4 puutavaralle tehdään tarvittavat sormijatkokset sekä parannukset sen laatuun. Linjan kohdassa 5 puutavara höylätään. Linjan kohdassa 6 höylätty puutavara sahataan määrämittäisiksi. Linjan kohdissa 7 ja 8, höylätty sekä sahattu puutavara asetellaan kerroksiin, vuorottain lamellit pitkittäin sekä poikittain. Eri kerrosten väleihin levitetään liima ja kerrokset liimataan työvaiheittain. Kohdassa 10 suoritetaan liimaus puristimen avulla. [39]



Kuva 4 Weinig AG:n tuotantolinja [39]

2.3.2 Raaka-aineesta lamelleiksi

CLT -tuotanto alkaa lamellien höyläyksestä. Höyläyksessä puutavara työstetään etukäteen määritettyyn vahvuuteen, joka sopii haluttuun elementtivahvuuteen. Höyläys suoritetaan lamellien vuorottelulla pitkien ja lyhyiden välillä lamelli kerrallaan järjestelmällisen ladonnan mahdollistamiseksi. Höyläysvaiheessa tulee laaduntarkkailussa kiinnittää suurta huomioita ajettavien soirojen leveyden, pinnan ja erityisesti paksuuden tarkkuuteen ja laatuun.

2.3.3 Lamellien ladonta, liimaus sekä puristus

Lamellien ladonta ja nostaminen liimausalustalle tapahtuu alipainenostimella johtuen lamellien suuresta pituudesta. Liiman levitys tapahtuu liimaportaalilla, jolla varmistetaan tasalaatuinen liiman levitys lamellille. Liimoilla on olemassa avoin aika, joka tarkoittaa sitä aikaa, minkä liima tarvitsee parhaan tarttuvuuden saavuttamiseksi ennen kuin sen päälle ladotaan lisää lamelleja. Siitä alkaa suljettu aika, jonka aikana suoritetaan lamellien puristus kolmesta eri suunnasta. Normaali puristus aika on kaksinkertainen verrattuna avoimeen aikaan. Normaalisti avoin aika on liimasta riippuen 10-30 minuuttia. CLT -levyn jälkikäsittelyn tarpeet ovat vähäiset ja riippuvat sen tulevasta käyttötarkoituksesta. Levyille voidaan suorittaa tarpeen mukaan hionta ja erilaisia pinnoitusvaihtoehtoja. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen ladonta- ja liimauslinja. [4]



Kuva 5 CLT:n ladonta sekä liimaus [40]

2.4 Käyttökohteet

CLT:n käyttökohteita ja -tapoja on useita johtuen jalostusasteesta, mikä mahdollistaa monimuotoiset käyttötavat pienillä muutoksilla. Perusrakenteeltaan samanlaisia elementtejä voidaan hyödyntää erilaisissa kantavissa ja jäykistäväissä rakenteissa kuten;

ulkoseinissä, väliseinissä, välipohjissa, yläpohjissa, ulokkeissa ja muissakin arkkitehtuurisesti monimuotoisissa ja rakennusteknisesti hankalissa kohteissa. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen vaipparakenteen ja välipohjapalkiston rakenne. [2]



Kuva 6 CLT vaipparakenne [41]

CLT -elementtejä voidaan hyödyntää muutenkin kuin vain kantavissa ja jäykistävässä rakenteissa. Hyvän rakenteellisen lujuutensa ansiosta sitä voidaan käyttää myös tilaelementeissä, jotka valmistetaan talotehtaassa ja kuljetetaan rakennuskohteeseen asennusvalmiina kokonaisuutena. Kuvassa 7 esitetty on valmiiksi rakennettu saunaelementti, joka on valmistettu kokonaan kuivissa tehdasolosuhteissa ja, joka voidaan sijoittaa muuhun rakennuskokonaisuuteen tai erilliseksi rakennukseksi. [16]



Kuva 7 CLT sauna [42]

Kuvassa 8 on esitetty tilaelementti, joka voidaan jalostaa vaikka kylpyhuoneesta pesuhuoneeksi. Käyttötarkoitusta varten tilaelementtiin tehdään vain tarvittavat muutokset ja lisäykset. [17]



Kuva 8 CLT tilaelementti [43]

Suomesta löytyy jo useampiakin kohteita, jotka on toteutettu CLT –elementtejä hyödyntäen. Suomen ensimmäinen julkinen rakennus, joka rakennettiin CLT –elementeistä on Suomen luontokeskus Haltia ja sen rakensi yhteistyössä Stora Enso ja sen tytäryhtiö Eridomic Oy ja kuvassa 9 on esitetty Luontokeskus Haltia. [11]



Kuva 9 Luontokeskus Haltia [43]

2.5 Historia

Rakennusmateriaalina CLT on varsin nuori verrattuna perinteisiin rakentamisessa käytettyihin materiaaleihin tai jatkojalostettuihin tuotteisiin. Läpimurtonsa CLT teki 1990-luvulla kun sen sitä jalostettiin Sveitsissä ja myöhemmin Itävallassa. Ensimmäiset tunnetut sovelletut rakennuskohteet löytyvät Saksasta ja ne tunnetaan 'Dickholz' eli 'Paksupuu' -rakennuksina. Seuraavien viiden vuoden aikana rakennettiin pienempien puurakentamiseen erikoistuneiden urakoitsijoiden kanssa yhteistyössä testikohteita kevyesti vuoristosiin olosuhteisiin Saksassa, Sveitsissä ja Itävallassa. 2000-luvun alkuun mennessä menetelmä kehittyi täysimittaiseen teolliseen tuotantoon. Suosion myötä muuallakin Euroopassa aloitettiin tuotantokapasiteettiin investoiminen. (3)

CLT:n yleistymisen esteenä oli monin paikoin syvään juurtunut perinteet rakentamisessa. Esimerkiksi Iso-Britanniassa CLT:n yleistymisen esteenä oli ennakkoluulot puurakentamista kohtaan ja vankka uskomus siitä, että 'jos jokin toimii, älä muuta sitä'. CLT:n yleistymisessä iso rooli on arkkitehteilla, jotka suunnittelevat rakennuksia avoimin mielin ilman ennakkoluuloja ja mielenkiinnosta uusia materiaalia sekä ratkaisuja kohtaan. [3]

Pohjoismaiden ensimmäinen isommaksi uudiskohteeksi luokiteltava CLT -kohde aloitettiin Vaxjon kaupungissa, Ruotsissa vuonna 2006 ja se valmistui vuonna 2009. Siellä rakennettiin kuvassa 10 esitetty kahdeksan kerroksinen CLT-kerrostalo siten, että alimmainen kerros oli teräsbetoninen ja tämän päälle rakennettiin seitsemän kerrosta CLT -elementeistä. Kyseinen projekti sai Excellent Modern Wood Building -palkinnon Ruotsin kansalliselta puurakentamisen järjestöltä. [18]



Kuva 10 *Limnolegen [18]*

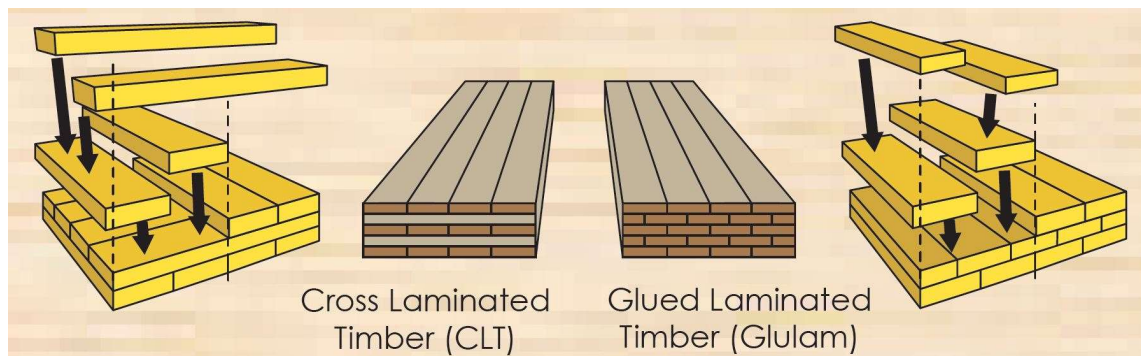
3 CLT –OMINAISUUDET

Tässä kappaleessa tarkastellaan CLT:n ominaisuuksia, jotka vaikuttavat CLT-elementeistä rakennetun rakennuksen suunnitteluun ja mitoitukseen.

3.1 Rakenneominaisuudet

CLT –elementti koostuu 3-8 lamellista, jotka ovat toisiinsa nähden 90° kulmassa ja tämä muodostaa ristikkäisen rakenteen, joka tekee elementistä rakenteellisesti lujan. Suomessa lamellit liimataan toisiinsa formaldehydivapaalla polyuretaaniliimalla (PUR) liimalla. Muualla valmistettavissa elementeissä voidaan käyttää myös formaldehydiä sisältäviä MUF ja PRF liimoja. Suomessa käytettävä PUR liima on hajutonta ja väritöntä sekä se kestää hyvin kosteutta. PUR liiman heikkoutena MUF liimaan verrattuna voidaan pitää sen huonoa kuumuuden sietoa. MUF liima puolestaan vapauttaa ympäristöönsä formaldehydiä, joka kuormittaa ympäristöä. Lisäksi MUF liima on kaksikomponenttista ja sen seurauksena vaatii tuotannossa erityistä tarkkuutta. [13]

Kuvassa 11 on havainnollistettu CLT:n ja liimapuulevyn rakenteen perustavanlaatuisen eron.



Kuva 11 CLT vs. Glulam [46]

3.2 Lujuusominaisuudet

Ristikkäisliimauksen ansiosta levy jakaa kuormaa kahteen suuntaan, joka tasoittaa levyyn kohdistuvaa kuormitusta. Levyn rakenteen ansiosta siihen kohdistuvat kuormat jakautuvat elementin alaosassa tasaisesti jäykän rakenteen ansiosta. Tämä mahdollistaa sen ettei levyjä tarvitse erikseen lisäjäykistää tai tueta. Tästä johtuen elementti sopii todella hyvin rungon ja kantavien rakenteiden rakennusmateriaaliksi. Tämä mahdollistaa arkkitehtuurisesti monimuotoisempia rakenteita, joiden tuentojen ja kestävyyksien

laskentaa voidaan keventää huomattavasti tavanomaisesta. Kuvassa 12 on havainnollistettu lisäjäykistämättömän CLT-elementin lujutta. [12]



Kuva 12 SmartLam [46]

Laskentaa suoritettaessa CLT – elementin lujuusominaisuuksien laskennassa käytetään lujuusluokkaa C24. Rakenteen omapainoksi on rakennelaskelmissa käytettävä arvoa 5,0 kN/m³. CLT:n käyttöluokiksi on määritelty 1 ja 2. [2]

Käyttöluokat on tarkoitettu eri olosuhteiden ja lujuusarvojen syntyvän muodonmuutoksen laskemiseen. Käyttöluokkien jako CLT:n tapauksessa tarkoittaa, että sitä voidaan käyttää pääasiassa kuivina pysyvissä rakenteissa, sekä ulkopidettävissä kuivina pysyvissä rakenteissa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että CLT -elementtiä voidaan käyttää lämmöneristyskerroksissa, tuulettuvissa rakenteissa ulkoilmassa sekä yläpohjan kylmänä rakenteena. CLT ei sovellu sellaisenaan ulkona säälle alttiina, kosteissa tiloissa eikä säälle välittömässä alttiudessa. Käyttöluokka 2 mahdollistaa sen, että CLT:tä voidaan käyttää vesikattorakenteissa kantavana rakenteena, joissa tulee ulkopuolista ylitystä räystäsrakenteiden verran. Se ei kuitenkaan saa olla säälle alttiina ja se tulee päällystää katemateriaalilla. Ulkona käytettäessä CLT -levy tulee pinnoittaa millä tahansa puulle tarkoitettulla pinnoitteella, joka mahdollistaa sen käytön ulkona vallitsevissa sääoloissa. [8, 10]

Kuvassa 13 olevaan taulukkoon on listattu CrossLam:n valmiiksi laatima taulukko lujuuksien mitoittamiseen kantavalle seinälle sekä laatalle.

Tuote nro	h (mm)	n	L	C	L	C	L	C	L	$f_{v,k}$ (N/mm ²)	$f_{R,k} 0^\circ$ (N/mm ²)	$f_{R,k} 90^\circ$ (N/mm ²)
			kerrosten paksuudet (mm)									
C1	60	3		20	20	20				2,67	1,10	-
C2	80	3		20	40	20				2,17	0,48	-
C3	80	3		30	20	30				2,00	1,10	-
C4	90	3		30	30	30				2,00	1,03	-
C5	100	3		30	40	30				1,88	0,71	-
C6	120	3		40	40	40				2,00	0,95	-
C65	140	3		50	40	50				1,76	0,95	-
C7	100	5		20	20	20	20	20		3,20	1,10	1,10
C8	130	5		30	20	30	20	30		2,46	1,10	0,68
C9	160	5		40	20	40	20	40		2,00	1,10	0,48
L1	60	3	20	20	20					2,67	1,10	-
L2	80	3	30	20	30					2,00	1,10	-
L3	100	3	40	20	40					1,60	1,10	-
L4	90	3	30	30	30					2,00	1,03	-
L5	100	3	30	40	30					2,50	0,71	-
L6	120	3	40	40	40					2,00	0,95	-
L65	140	3	50	40	50					1,76	0,95	-
L7	160	3	60	40	60					1,63	0,95	-
L8	100	5	20	20	20	20	20			3,20	1,10	1,10
L9	130	5	30	20	30	20	30			2,46	1,10	1,03
L10	160	5	40	20	40	20	40			2,00	1,10	0,48
L11	180	5	40	30	40	30	40			2,08	1,03	0,71
L12	200	5	40	40	40	40	40			2,40	0,95	0,95
L13	140	7	20	20	20	20	20	20	20	3,43	1,10	1,10
L14	180	7	30	20	30	20	30	20	30	2,67	1,10	0,68
L15	220	7	40	20	40	20	40	20	40	2,18	1,10	0,48
L16	260	7	50	20	50	20	50	20	50	1,85	1,10	0,35
L17	300	7	60	20	60	20	60	20	60	1,60	1,10	0,27

Kuva 13 CrossLam mitoitustaulukko [47]

3.3 Palotekniset-ominaisuudet

CLT:n palonkesto on yleisesti oletettua parempi. Puu on materiaalina muutenkin aliarvioitu palonkestoltaan johtuen siitä, että puun on totuttu palavan helposti kuten halko takassa. Puun lämpötilan noustessa 100°C:een, alkaa puun kemiallisesti sitoutunut vesi höyrystymään. Kun kaikki kemiallisesti höyrystynyt vesi on poistunut puuaineksesta, alkaa puun terminen pehmentyminen 180°C:n lämpötilassa ja saavuttaa huippunsa 380°C:een lämpötilassa. Syttymiseen vaikuttaa lämpötilalle altistumisaika ja siitä riippuen puun syttymislämpötila on yleensä 250 - 300°C. Palamisen alettua puu alkaa hiiltä nopeudella 0,8mm/min. CLT:n hiiltymisnopeudeksi on mitattu 0,65mm/min. [8]

Rakennustarvikkeet luokitellaan sen perusteella, miten ne käyttäytyvät palossa syttymisen, palon leviämisen ja savuttamisen suhteen. CLT täyttää rakennustarvikkeiden luokan D-s2-d0. Tämä tarkoittaa sitä, että CLT:n osallistuminen paloon on hyväksyttävissä (D), savuntuotto on vähäistä (s2) ja palavia pisaroita ei esiinny laisinkaan (d0). [8]

3.4 Lämpötekniset ominaisuudet

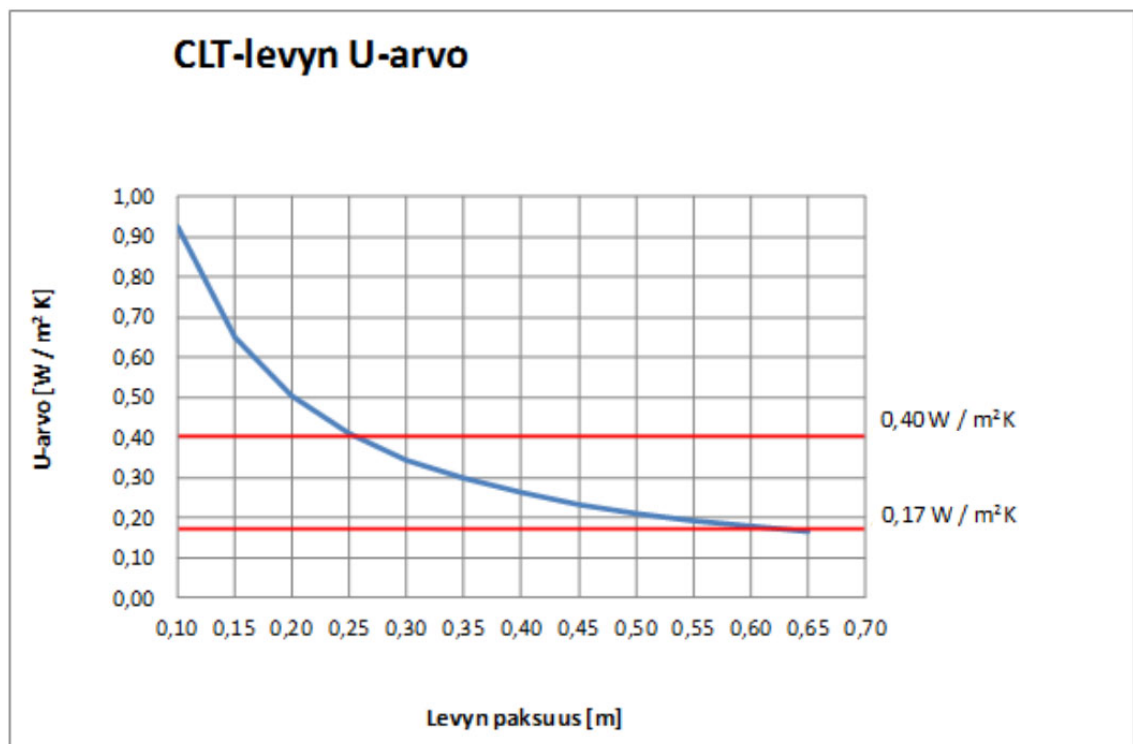
CLT vastaa lämpöteknisiltä ominaisuuksiltaan lähes tavallista puuta. Puun lämmönjohtavuus on riippuvainen sen ominaispainosta ja kosteuspitoisuudesta. Valmistajista riippuen CLT:n lämmönjohtavuudeksi ilmoitetaan 0,11 - 0,13W/mK. Stora Enso ilmoittaa tuottamansa CLT:n lämmönjohtavuudeksi 0,11W/mK. Tässä työssä on huomioitu Stora Enson ilmoittama lämmönjohtavuus $\lambda_{CLT} = 0,11 \text{ W/mK}$. [19]

CLT:n lämmöneristävyys johtuu osalta sen hyvästä ilmatiiveydestä. Stora Enson tutkimuksissa on todettu CLT -elementtien materiaalin ja liitosten olevan niin tiiviitä, ettei niiden ilmavuotoja kyetty mittaamaan ja tämän vuoksi erillistä ilman- tai höyrynsulkua ei ole tarvetta asentaa kun CLT:tä käytetään vaipparakenteessa. [19]

Suomen rakennusmääräykset määrittävät, että asuinkäytössä olevan asuinrakennuksen ulkoseinän U-arvon on oltava 0,17W/m²K tai alle. Kun käytetään CLT -elementtiä, joka on vähintään 180mm vahva, ei rinnasteta nykyisten määräyksien osalta hirsiseinään, jolloin vaatimuksena on 0,40 W/m²K tai alle. Yläpohjan osalta U-arvo vaatimus on tapauksesta riippumatta 0,09 W/m²K. [20]

Pelkällä CLT -elementillä U-arvojen saavuttaminen vaatisi 260mm vahvan rakenteen, jolloin ei tarvittaisi erillistä eristettä. Verhoilematon CLT täyttäisi tiukemman U-arvon, 0,17 W/m²K, rajan 600mm levyvahvuudella. Alla on esitetty taulukko, jossa U-arvolaskentaa on suoritettu Stora Enson tuottamalla CLT:llä. [20]

Taulukko 1 CLT:n U-arvo paksuuden funktiona [19]



CLT-paneelin lämmöneristävyyden laskennasta löytyy esimerkki lähteestä [19].

3.5 Kosteustekniset ominaisuudet

Rakennuksen kannalta suurimmat kosteuden lähteet ovat ulkoilmassa oleva kosteus sekä sisäilmassa oleva kosteus. Sade, maan kosteus, pintavedet ja rakennuskosteus muodostavat myös rasitteen käytetyille materiaaleille. Huokoisessa aineessa kosteus voi olla sitoutuneena vapaana höyrynä tai nesteenä.

CLT:n kosteusteknisiä ominaisuuksia arvioitaessa täytyy muistaa, että liima-aines, jota käytetään elementtien kasaamisessa, aiheuttaa paikallisia lisävastuksia kosteuden kulkeutumisella. Tämä on kuitenkin käytännön merkitykseltään hyvin pieni vaikutus, eikä sitä tarvitse laskutarkasteluissa ottaa huomioon. CLT-elementit voidaan olettaa suunnittelussa ilmatiiviiksi, jolloin vuotovirtojen kuljettama kosteus ei vaikuta laskentaan. Elementtien saumoihin muodostuva liitos on vaikeampi osoittaa ilmatiiviiksi erilaisten liitosten johdosta. CLT voidaan tutkimusten perusteella olettaa tiiviiksi rakenteeksi, jolloin erillistä höyrynsulkua ei tarvita. [21]

CLT:n levyrakenteen ansiosta se toimii sisäpinnan höyrynsulkuna ja näin estää diffuusion vaikutuksesta kosteuden siirtymistä sisäilmasta rakenteen ulompiin osiin. Tämän ansiosta CLT:tä käytettäessä rakenteen riski kärsiä kesäkondenssista käytännössä poistuu. Kesäkondenssilla tarkoitetaan diffuusion vaikutuksesta ulkoa sisään siirtyvän kosteuden virtaa. [22 s.16-17]

3.6 Akustiset ominaisuudet

CLT-elementtiä markkinoidaan äänimaailmaltaan miellyttävänä rakennusmateriaalina. Ongelmaksi CLT-rakenteisissa rakennuksissa tulee huoneistojen välisten väliseinien tai välipohjien akustinen eristäminen. Rakennusmääräykset asettavat tarkat kriteerit sille, miten paljon rakenteen voivat läpäistä ääntä. Nämä akustiikkaan liittyvät vaatimukset edellyttävät CLT-rakenteiden ja erityisesti niiden liitosten huolellista suunnittelua. Huoneistojen väliin tulee asentaa usein monikerroksisia ja paksuja eristerakenteita, jotta esimerkiksi askeläänieristyksen vaatimukset täytettäisiin.

Kuvassa 14 on esitetty eräs ratkaisu, jossa askelääniä on vähennetty asentamalla CLT-elementin päälle eriste sekä massaltaan suuri pintavalu, joka auttaa massanlain nojalla akustisten ominaisuuksien parantamisessa.



Kuva 14 CLT-välipohjan lattiakerrokset [48]

Rakentamismääräykset vaativat, että huoneistojen väliset seinät ja välipohjat tulee ilmaääneneristävyydeltään olla parempia kuin R'_w 55dB. Tällä luvulla tarkoitetaan rakenteeseen kohdistetun äänitehon ja rakenteen välitykselle puolelta toiselle siirtyvän äänitehon suhdetta. Arvo saadaan vertaamalla taajuuskaistoittain mitattua ilmaääneneristävyyttä standardoituun vertailukäyrään. Ilmaääneneristyslukua merkitään tunnuksella R_w (dB), kun tarkoitetaan eristävän rakenteen laboratoriomittauksista. Rakennuksessa mitattua ilmaistaan tunnuksella R'_w (dB). [49, 50 51]

Ilmaääneneristävyyteen vaikuttavia seikkoja ovat rakennusosan massa, reiät, tiiviys, liitokset, kosketuspinnat sekä reiät. CLT on massiivinen rakenne, joten siitä voidaan arvioida sen ilmaääneneristävyyttä painon perusteella. Teoriassa kappaleen ilmaääneneristävyyttä voidaan arvioida kaavalla $R = 20 \lg(mf) - 49$, jossa R on rakenteen ilmaääneneristävyys [dB], m on rakenteen massa [kg/m^2] ja f on tarkasteltavan äänen taajuus [Hz]. [23 s.18]

Rakennusmääräykset ottavat myös kantaa asuinhuoneistojen askeläänieristykseen. Vaatimuksena on, että välipohjan askeläänieristys on 53db tai parempi. Lattiaan voi kohdistua useita eri äänilähteitä. Yleisimmät ovat askeleet mutta huonekalut ja yleiset kolahduksetkin aiheuttavat merkittäviä ääniä rakenteissa. [49, 50, 51]

Lattian askeläänieristävyyteen vaikuttaa muun muassa rakenteen massa, resonanssi, päällyste, alemman kerroksen kattoverhous ja mahdollinen sivutiesiirtymä. Rakenteissa kulkevaa sivutiesiirtymää voidaan vähentää katkaisemalla yhtenäinen reitti. Tämä tapahtuu katkaisemalla rakenne ja lisäämällä väliin eristettä tai elastista massaa, joka pysäyttää mahdollisen sivutiesiirtymän. [23 s.38]

Askelääniä mitataan erillisellä askeläänikoneella, joka iskee yläpuoleiseen lattiapintaan toistettavalla voimakkuudella ja koneen aiheuttamaa äänenpainetasoa mitataan pinnan toisella puolella. [23 s.13]

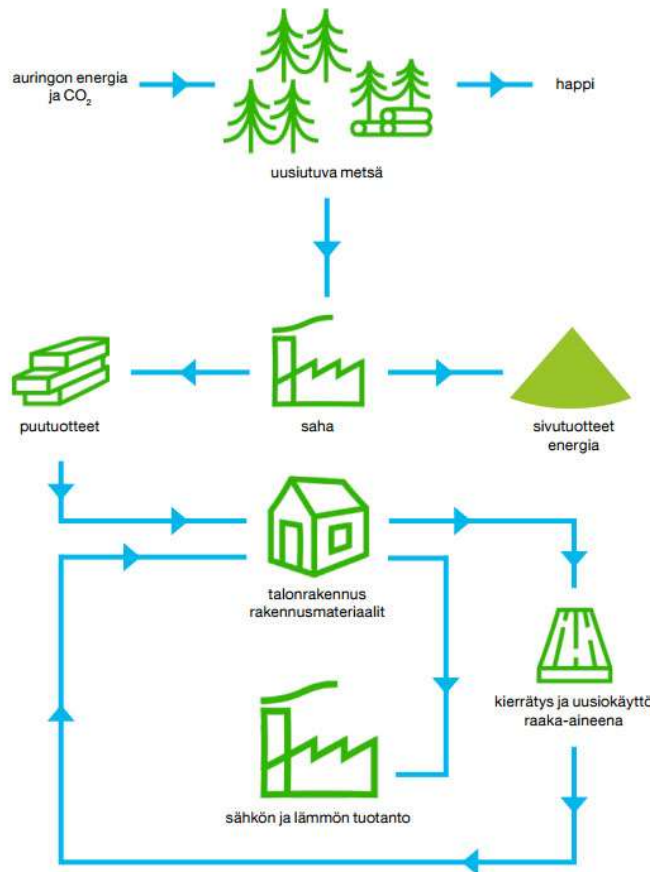
Ulkovaipalle ei ole määritetty rakennusmääräyksissä erillisiä arvoja asuinkäytössä, jotka rakennuksen tulisi täyttää, jotta rakennus olisi määräysten mukainen. [49, 50, 51]

3.7 Ekologiset ominaisuudet

Rakentaminen kuluttaa raaka-aineita enemmän kuin mikään muu teollisuuden ala painossa mitattuna. Vuonna 2003 purkujätteiden osuus teollisuuden jätteistä oli noin 40 – 50%. Suurin osa kyseisistä jätteistä oli uusiutumattomia. [25]

Rakentaminen ei ole suuria muutoksia kokeva teollisuuden ala, joka tulevaisuudessa tulisi vähenemään. Globaalilla mittakaavalla rakentaminen tulee kasvamaan maailmanlaajuisesti ja syynä tähän on väestön kasvu maapallolla. Maailmanlaajuiset muuttovirrat lisäävät myös tarvetta lisärakentamiselle. [25]

Kuvassa 15 on havainnekaavio puun kiertokulusta kasvusta energiajätteenä poltettavaksi lopputuotteeksi.



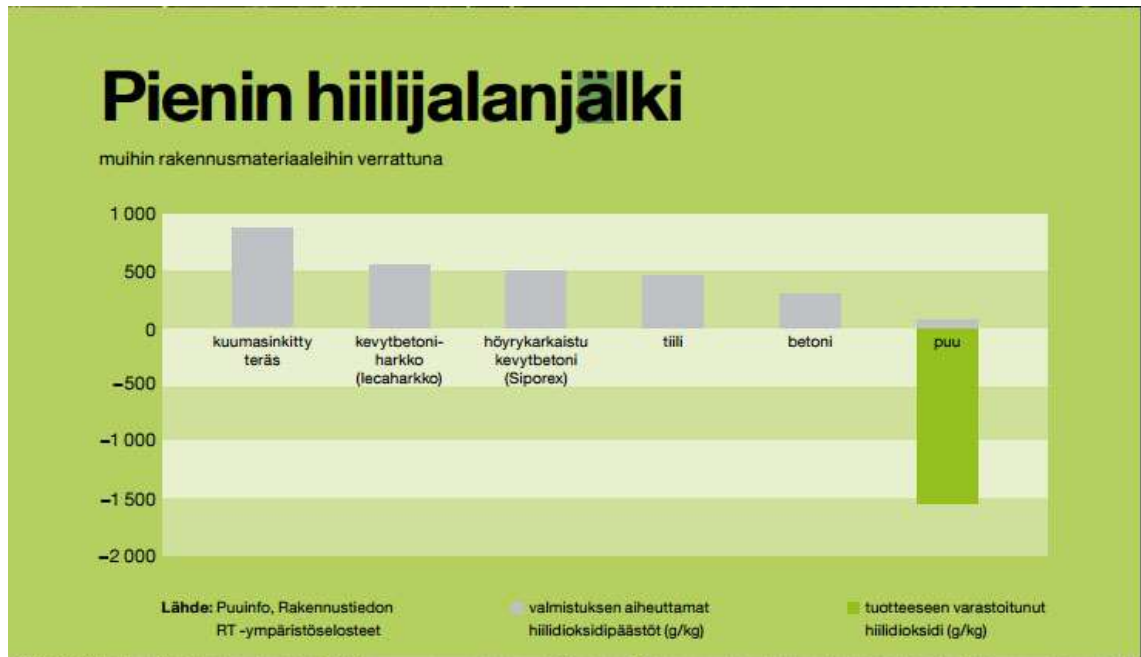
Puu on erinomainen ja uusiutuva materiaali.
Puutuotteet voidaan kierrättää tai käyttää energiaksi.

Kuva 15 Puun kiertokulku [12]

Puu rakennusmateriaalina on osana luonnon omaa kiertokulkua, sillä se on täysin itse-
näisesti luonnossa lisääntyvä raaka-aine, joka ei vaadi aktiivista teollista tuotantoa sa-
malla tavalla kuin esimerkiksi teräs tai sementti. Puun kohdalla päästöjä alkaa syntyä
vasta siinä vaiheessa, kun puuta aloitetaan jalostamaan. Kun puuta verrataan sementtiin
ja teräkseen, valmistuksessa syntyvän hiilidioksidin määrässä. Huomataan, että puu
tuottaa vain kahdeksanneksen siitä mitä betonin tuottaminen aiheuttaa hiilidioksidia ja
teräkseen verrattaessa ero on 21 -kertainen. [27]

Puurakentamista on kestävä kehityksen kannalta mahdollista kasvattaa huomattavasti,
sillä tällä hetkellä Suomessa metsän hiilivaranto kasvaa päivässä saman verran kuin
rakennusteollisuus käyttää puuraaka-ainetta koko vuonna. [25]

Kuvassa 16 on esitetty puun hiilijalanjälki suhteessa muihin yleisesti käytettyihin ra-
kennusmateriaaleihin.



Kuva 16 Puun hiilijalanjälki [12]

CLT on ympäristön kannalta merkittävä muutoksia tuova tekijä rakentamisessa. Kun verrataan CLT:n perusraaka-ainetta, puuta, huomataan sen positiivisen vaikutuksen hiilidioksidin varastoinnissa. CLT tuottaa vähän hiilidioksidia mutta sitoo kasvuvaiheessa itseensä merkittäviä määriä hiilidioksidia. [24]

4 RAKENNUSTEKNISET SOVELLUKSET

Tässä kappaleessa on tarkoitus tuoda esille, kuinka CLT -elementtiä sovelletaan rakennusteknisessä ketjussa raakaelementtitehtaalta osaksi valmista rakennusta. Tarkastelua tehdään perusmitoituksesta lähtien, jossa tarkastellaan haluttuihin ominaisuuksiin vaadittavat vähimmäisarvot elementille. Ketjussa seuraavana on raakaelementtien työstäminen haluttuun muotoon varusteluineen ja lopuksi tarkastellaan työmaateknisestä näkökulmasta muokattujen elementtien liittäminen toisiinsa työmaalla.

4.1 Mitoitus

CLT -elementin mitoittamisessa tulee ottaa huomioon rakenteen lamellijako käytettävän kohteen mukaan. Seiniä mitoittaessa tulee huomioida, että ulommat lamellit ovat pystysuunnassa ja vaakarakenteisiin tulevissa elementeissä uloimmat lamellit ovat jännevälin suunnassa. Tämä maksimoi käytettävään tarkoitukseen vaaditun kuormien kantokyvyn. [8]

Store Enso on julkaissut Calculatis by Store Enso mitoitusohjelma ilmaiseksi kuluttajien käyttöön. Se sisältää kaikki suunnittelumoduulit edeltäneestä CLTengoneer suunnitteluohjelmasta lisättynä muutamalla uudella ominaisuudella. Materiaalikirjastoa on laajennettu ja uusia suunnittelukoodeja. [52]

4.1.1 Mitoitusperiaatteita

CLT-poikkileikkauksien mitoituksessa tulee huomioida se, että kuormia kantavina kerroksina lasketaan vain sellaiset kerrokset, jotka ovat laudan syysuuntaan kuormien aiheuttamien jännitysten suuntaisia. Leikkausmuodonmuutosten vaikutus otetaan huomioon jännitysten ja levyn sisäisten rasituksen määrittelyssä. Kantavien kerroksien jäykkyyksinä ja ominaislujuuksina käytetään lautojen lujuusluokan ominaistaulukkoarvoja. [28]

4.1.2 Pystyrakenteet

Seiniä mitoittaessa tulee määrittää statiikan kuormitukset. Aukollisissa elementeissä tulee tarkastaa seinän osien nurjahduskestävyys nivelpäisenä seinärakenteena. Nurjahduskestävyyttä mitoittaessa mitoitetään pystysuuntaisten lamellien avulla ilman vaakalamellien myötävaikutusta. Vaakasuntaiset lamellit kuormittavat syysuuntaa vastaan kohtisuorassa ja siten ne aiheuttavat pystysuuntaisten lamellien välille liukumaa. Liukuma alentaa poikkileikkauksen taivutusjäykkyyttä ja siksi poikkileikkauksille tulee

määrittää teholliset poikkileikkausvakiot. Mitoituksessa tulee myös huomioida taipuman asettamat vaatimukset käyttöasteelle. [53]

Jäykistävää seinää mitoitettaessa laskentaa yksinkertaistetaan laskemalla aukotetuissa seinissä elementin isompi osuus, vaikka käytännössä toinenkin puoli toimii jäykistävänä. Jäykistävissä seinissä tulee suorittaa tarkastelu leikkauskestävyydelle ja jäykisteen leikkaussiirtymä. Jäykisteen kokonaissiirtymä muodostuu leikkausvoiman aiheuttamasta siirtymästä sekä taivutusmomentin aiheuttamasta siirtymästä ja alustan sekä jäykisteen välisen liitoksen siirtymästä. Jäykisteen tuen tukipainekestävyys sekä ankkurointi tulee mitoittaa alustakiinnityksen kera. [54]

Aukotetuissa elementeissä tulee tarkistaa aukkopalkkien riittävä kestävyys taivutukselle tarkastelemalla palkin jänneväliden suuntaisten lamellien avulla ja leikkauskestävyys palkin kokonaispoikkileikkauksella. Leikkauslujuutena tulee käyttää kyseisen CLT-elementin määritettyä leikkauslujuutta. Tarkasteluissa tarkistetaan myös taipuman käyttösasteen pysyminen hyväksytyissä raameissa, sekä kiepahduskestävyys. [55]

4.1.3 Vaakarakenteet

Vaakarakenteissa kestävyys mitoitetaan väli/yläpohjan jänneväliden suuntaisten lamellien avulla. Poikittaissuuntaiset lamellit otetaan tarkasteluissa huomioon, kun tarkastellaan värähtelyä. Poikittaissuuntaiset lamellit kuormittuvat kohtisuorassa syysuuntaanvastaan, joten ne aiheuttavat jänneväliden suuntaisten lamellien välille liukumaa. Tämä alentaa elementin poikkileikkauksen taivutusjäykkyyttä, joten CLT-elementin poikkileikkaukselle tulee määrittää tehollinen poikkileikkausvakio. Tapaustarkastelut tehdään taivutuskestävyydelle, leikkauskestävyydelle liimaussaumoissa, leikkauskestävyys neutraaliakselilla, taipumalle ja värähtelylle.

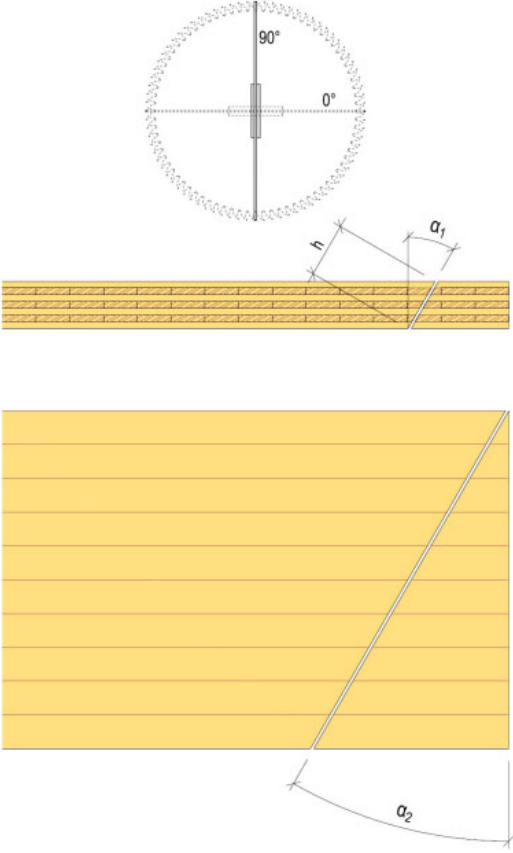
4.1.4 Liitospinta

Seinien ja vaakarakenteiden väliset pinnat tulee tarkastella tukireaktioilla ja mitoittaa tukipainekestävyys tehollisilla kosketuspinoilla, jotka ovat seinissä vain pystysuuntaiset lamellit. Vaakarakenteessa kosketuspinnan muodostaa seinän pystylamellit ja näin ollen tarkastellaan kiskopainerasitusta. [57]

4.2 Muokattavuus

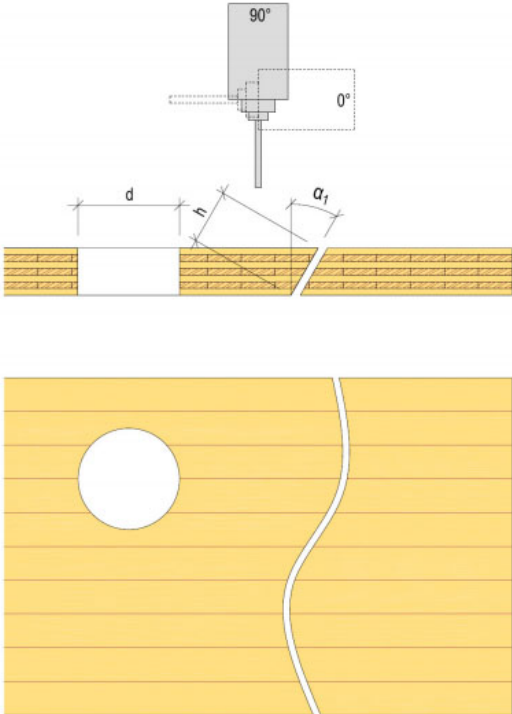
CLT -elementin muokkaus on mahdollista suorittaa tehdasoloissa ja tämän ansiosta muokkaamiseen voidaan käyttää teollisia työkaluja kuten CNC-työstökoneita. Suomen ainoalla CLT tehtaalla Kuhmossa on käytössä 5-akselinen CNC-kone, sirkkeli ja tappijyrsin. [29]

Kuvassa 17 on esitetty reunan oikaisu. Reunan oikaisuun käytetään sirkkeliä ja sen keskeiset ominaisuudet ovat mahdollinen kulman säätö terässä $0^\circ - 90^\circ$, enintään 310mm leikkuu korkeus ja risteävää tasokulmaa välillä $0^\circ - 90^\circ$. Molempien terien yhtäaikainen käyttö on myös mahdollista. [29]

Työstö Reunan oikaisu	Työkalu Sirkkeli	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>Terän kääntyvyys 360°</p> <p>$\alpha_1 = 0^\circ \dots 90^\circ$ riippuen h-mitasta</p> <p>$h = \max 310 \text{ mm}$</p> <p>$\alpha_2 = 0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>Molemmat kulmat voivat olla yhtä aikaa käytössä.</p>

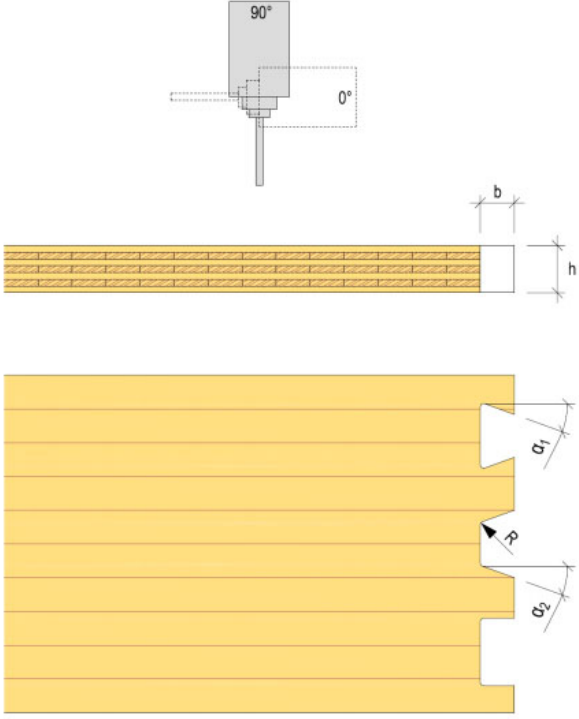
Kuva 17 Reunan oikaisu [57]

Kuvassa 18 on esitetty kaarevien reunojen tai reikien teko. Kaarevien reunojen ja reikien tekemiseen tehtaalta löytyy tappijyrsin, jossa on mahdollisuus terän kallistukseen $0^\circ - 90^\circ$. Tappijyrsimen 20mm terällä päästään 120mm jyrsintäkorkeuteen tai vastaa- vasti 40mm terällä päästään 200mm jyrsintäkorkeuteen. Aukotuksia voidaan tehdä mi- nimissään 20mm läpimitalla. Tälläkin työstökoneella on mahdollista käyttää useampaa ominaisuutta kerralla. [29]

Työstö Kaareva reuna tai reikä	Työkalu Tappijyrsin $\varnothing 20 / \varnothing 40$	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$ $\alpha_f = 15^\circ \dots 90^\circ$ riippuen h-mitasta $h = \text{max } 120 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\varnothing 20 \text{ mm}$) $h = \text{max } 200 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\varnothing 40 \text{ mm}$) $d = \text{min } 20 \text{ mm}$</p> <p>Molemmat kulmat voivat olla yhtä aikaa käytössä.</p>

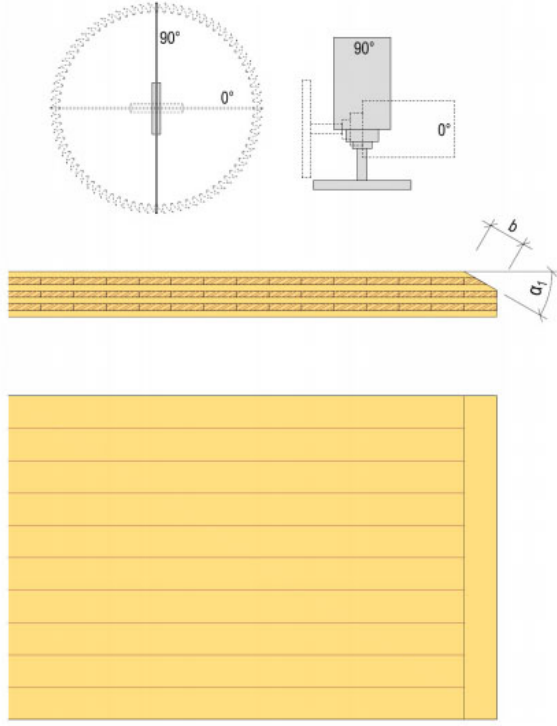
Kuva 18 Kaareva reuna tai reikä [57]

Kuvassa 19 on esitetty reunan hammastus. Reunan hammastukseen voidaan käyttää edellistä tappijyrsintä ja siinä on ainoastaan rajoitteita hammastettavan alueen vahvuuteen ja sisähammastuksen säteisyys on 10mm käytettäessä 20mm terää tai säteisyys on 20mm käytettäessä isompaa 40mm jyrsintäterää. Hammastettavan alueen korkeutta voidaan kasvattaa asemoimalla CLT -elementti uudelleen työstötasolle. [29]

Työstö Reunan hammastus	Työkalu Tappijyrsin Ø 20 / Ø 40	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>α_1 = ei rajoitusta</p> <p>α_2 = ei rajoitusta</p> <p>h = max 120 mm (tappijyrsin Ø 20 mm)</p> <p>h = max 200 mm (tappijyrsin Ø 40 mm)</p> <p>b = ei rajoitusta</p> <p>R = 10 mm (tappijyrsin Ø 20 mm)</p> <p>R = 20 mm (tappijyrsin Ø 40 mm)</p> <p>Mitta h voi olla suurempikin, mutta tällöin levy tulee kääntää. Tästä laskutetaan lisätyönä.</p>

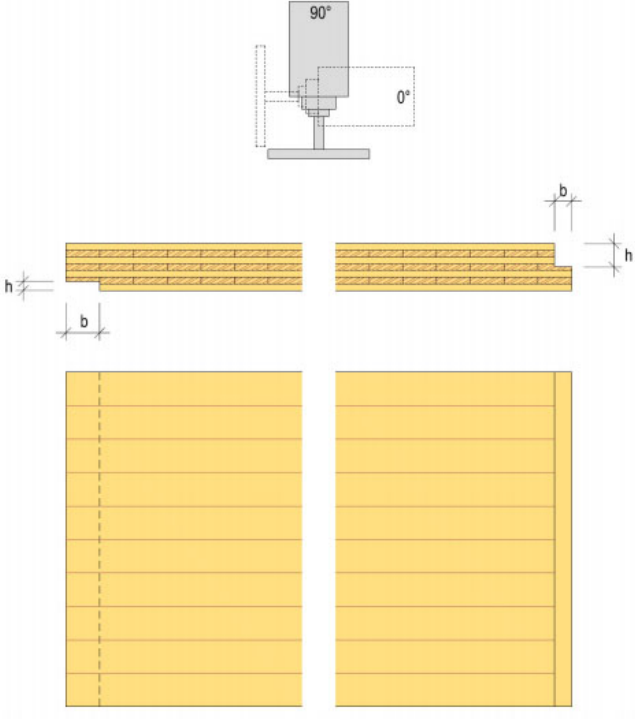
Kuva 19 Reunan hammastus [57]

Kuvassa 20 on esitetty reunan viistäminen. Reunan viisteisiin käytetään kiekkojyrsintä, jossa on läpimitaltaan 300mm jyrsinterä tai sirkkelin terä. Terän kallistuskulma voi olla välillä $0^\circ - 90^\circ$, viisteen luiskapinnan maksimi leveys on 310mm sirkkelin terällä ja jyrsinterällä vastaavaa rajoitetta ei ole. [29]

Työstö Reunan viiste	Työkalu Kiekkojyrsin Ø 300 / Sirkkeli	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>$\alpha_1 = 0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>$b = \text{max } 310 \text{ mm (sirkkeli)}$</p> <p>$b = \text{ei rajoitusta (kiekkojyrsin)}$</p>

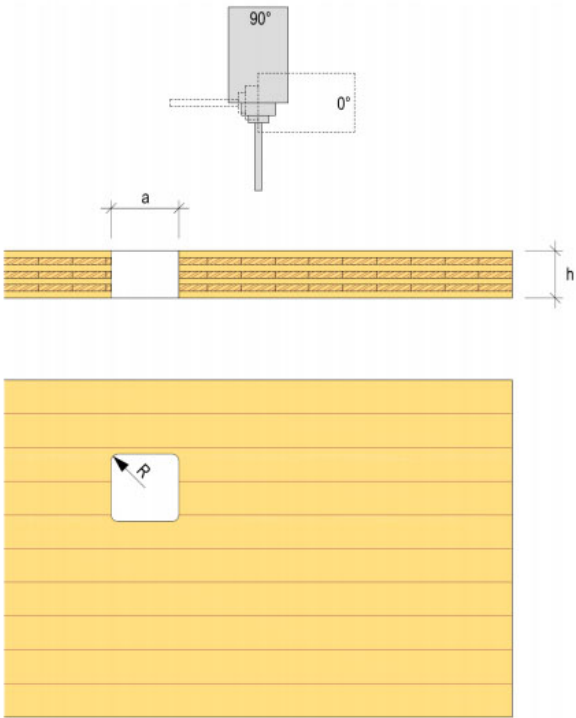
Kuva 20 Reunan viiste [57]

Kuvassa 21 on esitetty puolipontin tekeminen. Puoliponttien tekemiseen käytetään kiekkojyrsintä. Työkaluna siinä on 300mm kiekkojyrsin. Työrajoitteita sillä on työstettävän leveyden suhteen elementin alapinnassa 100mm vaakasiirtymässä ja 27mm pystysuuntaa levyn alapinnassa. [29]

Työstö Puolipontti	Työkalu Kiekkojyrsin Ø 300	Työstötietoja
		<p>b = ei rajoitusta levyn yläpuolella</p> <p>b = max 100 mm levyn alapuolella</p> <p>h = ei rajoitusta levyn yläpuolella</p> <p>h = min 27 mm levyn alapuolella</p>

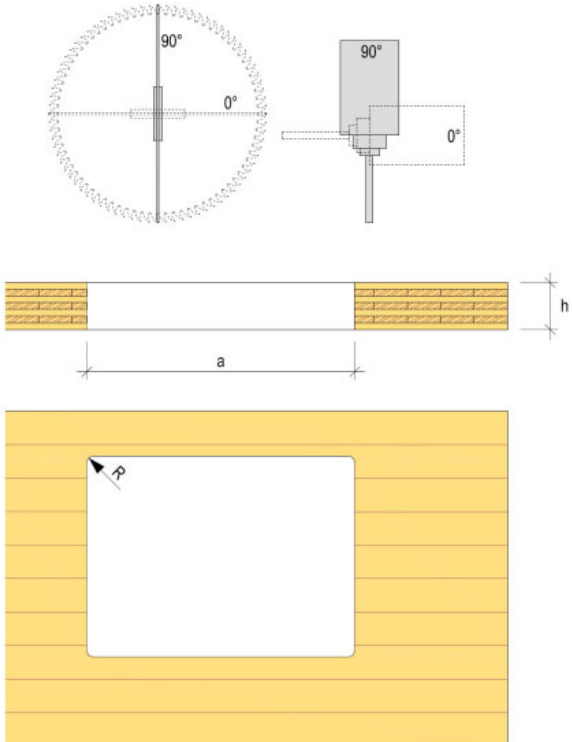
Kuva 21 Puolipontti [57]

Kuvassa 22 on esitetty pienien suorareunaisten aukkojen teko. Pienien suorareunaisten aukkojen tekemiseen käytetään kaksiteräistä tappijyrsintä. Terät voivat olla joko 20mm tai 40mm läpimitoiltaan. Terän kallistuvuuden suhteen rajoitteena on $0^\circ - 90^\circ$ kulma. Aukon vähimmäissivumitta on 20mm, aukotettavien elementtien vahvuus 20mm terällä on maksimissaan 120mm ja 40mm terällä elementti voi puolestaan olla 200mm vahva. Kaarevuussäde 20mm terällä on 10mm ja 40mm terällä kaarevuussäde on 20mm. [29]

Työstö Pieni suorareunainen aukko	Työkalu Tappijyrsin Ø 20 / Ø 40	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>$a = 20 \text{ mm} \rightarrow$</p> <p>$h = \text{max } 120 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\text{Ø } 20 \text{ mm}$)</p> <p>$h = \text{max } 200 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\text{Ø } 40 \text{ mm}$)</p> <p>$R = 10 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\text{Ø } 20 \text{ mm}$)</p> <p>$R = 20 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\text{Ø } 40 \text{ mm}$)</p> <p>HUOMIO ! Aukon kulmissa on pyöristys, johtuen tappijyrsimestä. Tämä tulee huomioida esimerkiksi ikkunan sovitusmitoissa. Pyöristys voidaan poistaa käsityökaluilla.</p>

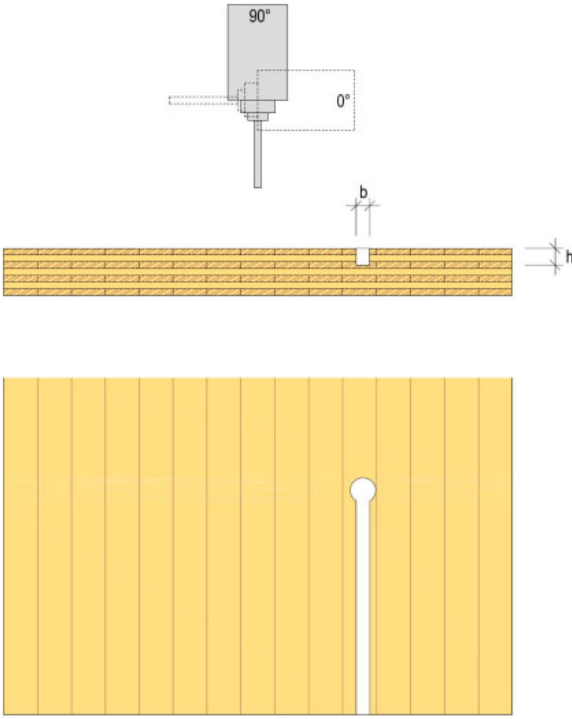
Kuva 22 Pieni suorareunainen aukko [57]

Kuvassa 23 on esitetty isojen suorareunaisien aukkojen teko. Isoja suorareunaisia aukkoja voidaan tehdä sekä sirkkelillä tai tappijyrsimellä. Molempien työkalujen osalta työstökulma voi olla välillä $0^\circ - 90^\circ$. Työstettävä elementti voi olla tappijyrsimen 20mm terällä 120mm vahva tai puolestaan isommalla 40mm terällä voidaan työstää 200mm vahvaa elementtiä. Säteisyys aukkojen reunassa on 20mm terässä 10mm ja 40mm terällä säteisyys on 20mm. Isoissa aukoissa pyritään sirkkelityöskentelyyn nopeutensa takia mutta haittana tästä on rosoisempi työstöjälki. Kulmat tehdään tappijyrsimellä, jottei elementin ehjät pinnat vaurioituisi. [29]

Työstö Iso suorareunainen aukko	Työkalu Sirkkeli / Tappijyrsin $\varnothing 20 / \varnothing 40$	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>$h = \max 120 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\varnothing 20 \text{ mm}$)</p> <p>$h = \max 200 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\varnothing 40 \text{ mm}$)</p> <p>$R = 10 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\varnothing 20 \text{ mm}$)</p> <p>$R = 20 \text{ mm}$ (tappijyrsin $\varnothing 40 \text{ mm}$)</p> <p>HUOMIO !</p> <p>Isot aukot (esim. ikkuna, ovi) tehdään sirkkelillä, koska se on nopeampi työstötapa kuin tappijyrsin. Tästä joutuen työstöjälki ei ole niin siisti kuin tappijyrsimen työstöjälki.</p> <p>Aukon kulmat tehdään tappijyrsimellä, joten aukon kulmissa on pyöristys, johtuen tappijyrsimestä. Tämä tulee huomioida esimerkiksi ikkunan sovitusmitoissa. Pyöristys voidaan poistaa käsityökaluilla.</p>

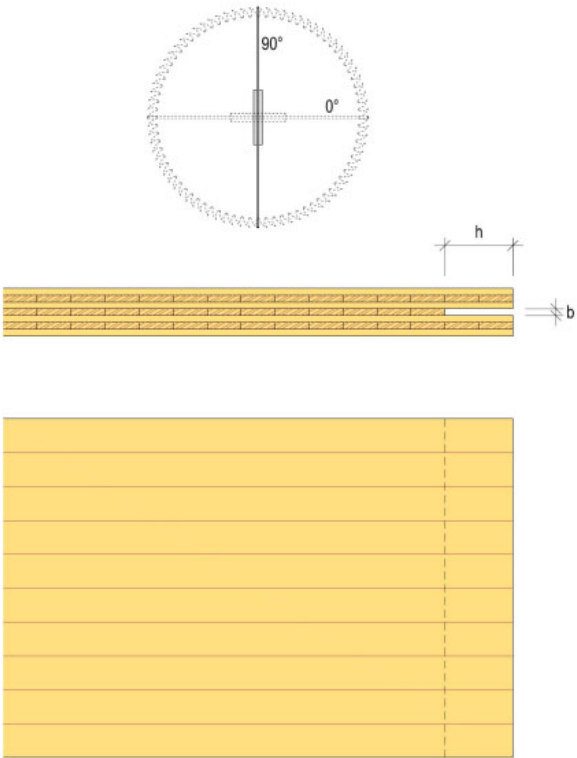
Kuva 23 Iso suorareunainen aukko [57]

Kuvassa 24 on esitetty pintaurien teko. Elementtien urittaminen tehdään tappijyrsimellä. Tappijyrsimen terää voidaan kallistaa välillä 0° - 90° ja uran pienin läpimitta 20mm terällä 20mm ja työstettävät elementtivahvuudet ovat 20mm terällä 120mm ja 40mm terällä 200mm. Urituksessa tulee pyrkiä minimoimaan pintalamellien saumojen leikkaamista lujuuden säilyttämiseksi. [29]

Työstö Ura	Työkalu Tappijyrsin Ø 20 / Ø 40	Työstötietoja
		<p>Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$</p> <p>$b = \text{min } 20 \text{ mm}$</p> <p>$h = \text{max } 120 \text{ mm (tappijyrsin } \text{Ø } 20 \text{ mm)}$</p> <p>$h = \text{max } 200 \text{ mm (tappijyrsin } \text{Ø } 40 \text{ mm)}$</p> <p>HUOMIO !</p> <p>Uran suunta tulee olla pintalamellin suuntainen, jotta pintalamellit eivät katkea ja näin heikennä levyn kestävyyttä.</p>

Kuva 24 Pintaura [57]

Kuvassa 25 on esitetty elementtiin tehtävä sisäura. Elementtien päätyjen urittamiseen käytetään sirkkeliä ja sen työstökulma voi olla välillä 0° - 90° ja uran vähimmäisvahvuus on 6mm ja maksimi syvyys uralla voi olla 310mm. [29]

Työstö Ura	Työkalu Sirkkeli	Työstötietoja
		Terän kallistuvuus $0^\circ \dots 90^\circ$ $b = \text{min } 6 \text{ mm}$ $h = \text{max } 310 \text{ mm}$

Kuva 25 Sisäura [57]

Edellä esitellyillä työstötavoilla on mahdollista suorittaa tehdasoloissa hyvinkin monimuotoisia valmisteleviä töitä elementeille, joita ei tarvitse enään suorittaa työmalla huomattavasti vaikeammassa olosuhteissa.

Näillä edellä mainituilla työstötavoilla voidaan CLT -elementtiä muokata käytännössä vapaasti. Elementit voidaan muotoon leikata valmiiksi tehdasoloissa, joissa toleranssit ovat huomattavasti pienemmät kuin työmaalla tehtäessä. Elementteihin voidaan näin tehdä aukotukset työmaalla asennettaville oville, ikkunoille ja tekniikalle. Talotekniikan mahdollisesti kaipaamat roilotukset voidaan hoitaa myös elementtiin valmiiksi. Tämä parantaa oleellisesti tilannetta, jossa työmaalla roilottaessa tehtäisiin mahdollisesti turhia ja huonolaatuisia roilotuksia elementteihin. Myös elementtien väliset liitospinnat työstetään tehtaalla, jotta työmaalla saataisiin aikaiseksi mahdollisimman tiiviit saumat.

Puskusaumainen suora liitospinta on todella haastava saada tiiviisti kiinni niin, ettei merkittäviä vuotoaukkoja asennuksesta jäisi.

Kuvassa 26 on esitetty esimerkki tilasta, jossa on hyödynnetty CLT -elementin muokattavuusmahdollisuuksia. Selkeinä seikkoina voidaan nostaa esiin ikkuna-aukko, joka ei noudattele ollenkaan perinteistä rakentamista ja kattoon rakennettu kennomainen alakatto. Katossa sijaitsevien valaisimien tekniikka on myös porattu piiloon.



Kuva 26 CLT:n muokattavuus [57]

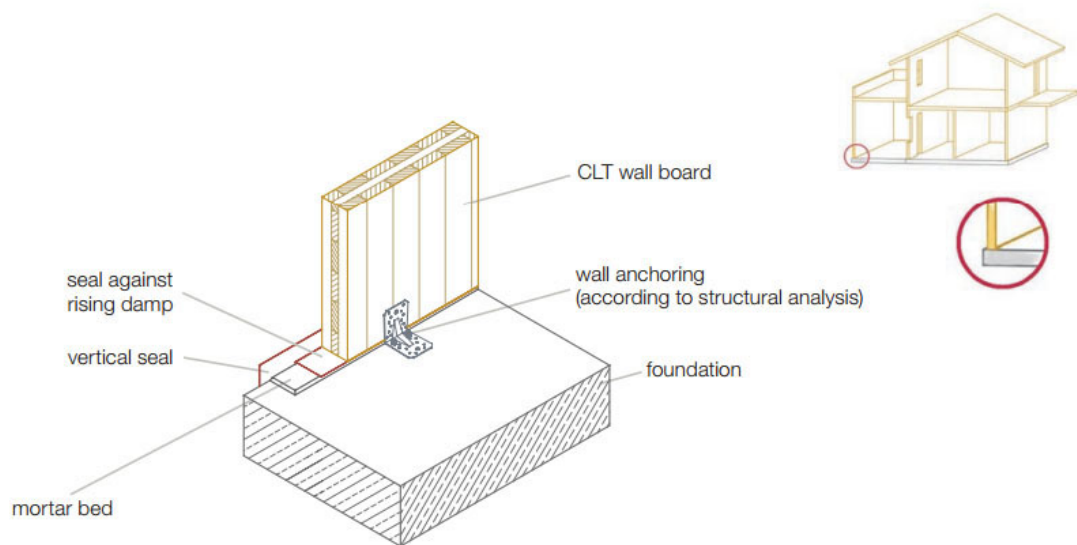
4.3 Liitokset

Tässä kappaleessa käydään lävitse CLT -elementin yleisiä liitostapoja työmaalla tehtäviin asennuksiin. Tarkasteltavina liitoksina pidetään työn aiheen kannalta merkittävät liitokset alapohjan ja seinäelementin liitosta, seinäelementin liitosta välipohjaan, seinäelementin liitosta yläpohjaan sekä yleisimpien aukkojen varusteliitoksia kuten ikkunoita ja ovia.

4.3.1 Alapohjan liitos seinäelementtiin

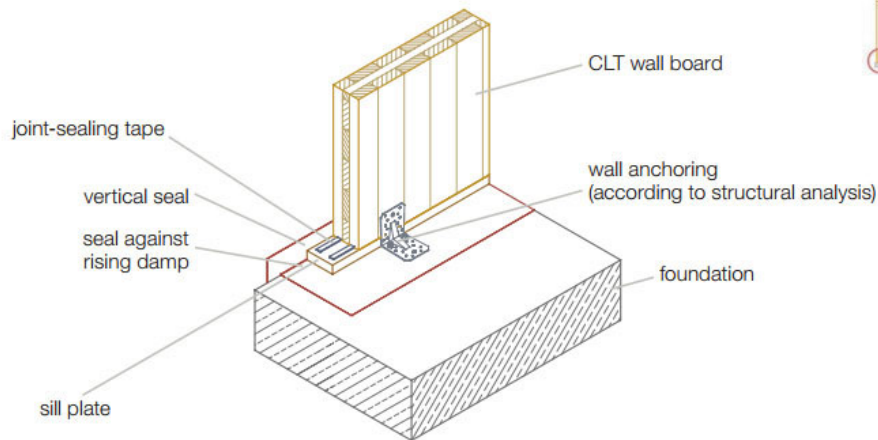
Stora Enson CLT-oppaassa on viisi perusliitosta seinäelementin liittämiseksi teräsbetoniin alapohjaan.

Ensimmäisessä liitostyyppissä CLT -seinäelementti asennetaan laastipedille, joka muotoutuu elementin ja laatan muotoihin näin vähentäen epätasaisuuden toleransseja liitoksessa. Laatalle asetetaan elementin leveydeltä laastia ja tämän päälle asennetaan eriste, jota estää kosteuden nousemisen CLT -elementtiin, mikäli käytettiin märkää laastia. Käytettävä laastisauma voi olla myös etukäteen tehty ja asennuksen yhteydessä kuivunut. Siitä huolimatta saumaan tulee asentaa eristekaista. Liitoksen kylkeen tulee asentaa pystysuuntainen suoja, joka estää saumalaastin leviämisen liitoksen ulkopuolelle. CLT -elementti ankkuroidaan teräsbetonilaataan kulmaraudalla, joka on mitoitettu rakennesuunnitelmien mukaan. Kuvassa 27 havainnollistetaan rakennetta. [31]



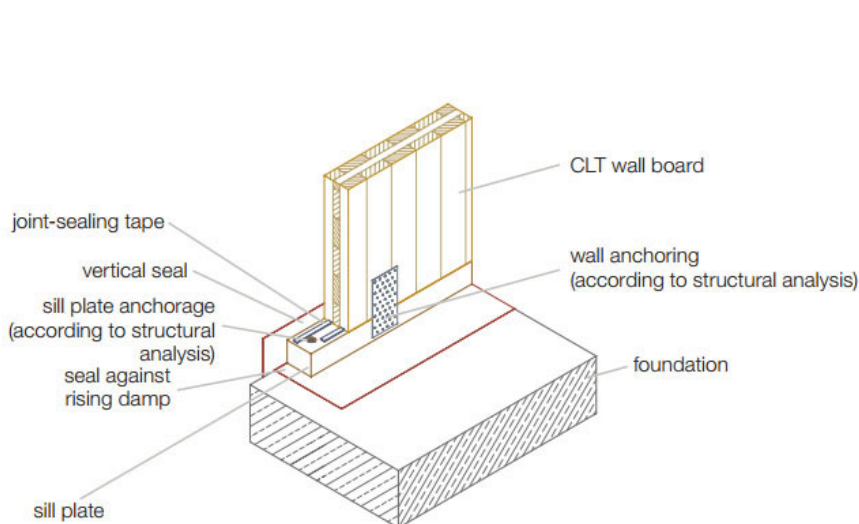
Kuva 27 Seinäliitos laastilla laataan [57]

Seuraava asennusmalli perustuu CLT -elementin alle asennettavaan aluslataan. Tässä ratkaisussa Teräsbetonilaatan päälle on asetettu eriste kosteuden nousua vastaan ja tämän päälle on asennettu elementin levyinen asennuslauta, johon liimataan saumateipit tasoittamaan liitoksen epätasaisuuksia. Seinäelementti tulee kiinnittää rakennesuunnitelmien mukaisella määrällä kulmakiinnikkeitä. Liitoksen ulkoreuna varmistetaan ulkolinjaan asennetavalla saumatiivisteellä. Kuvassa 28 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 28 Seinäliitos alapuulla laattaan [57]

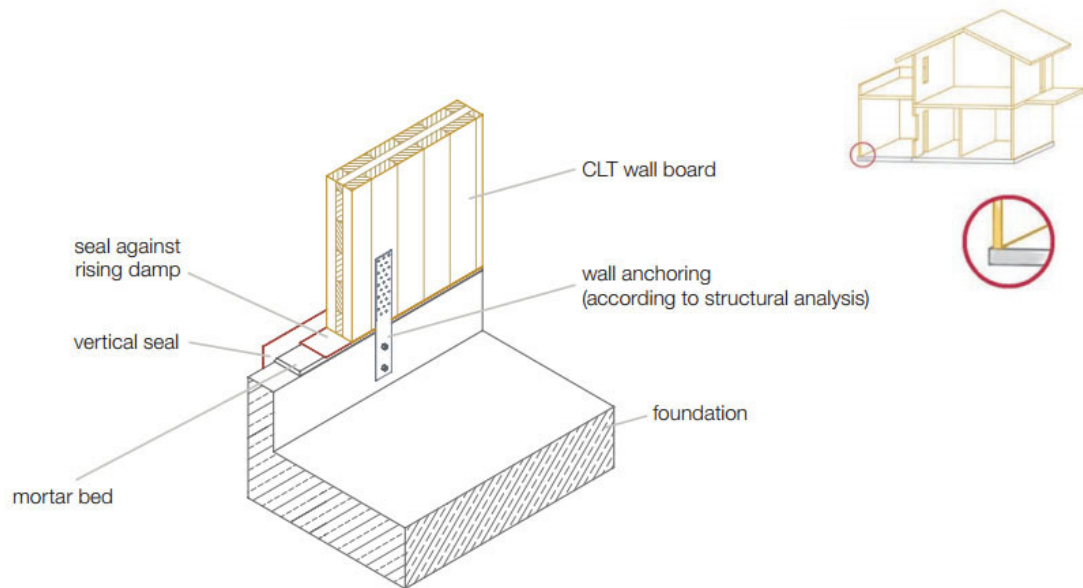
Kolmas liitostyyppi noudattelee hyvin samanlaista toteutusta kuin edeltävä liitos. Mutta tässä korotetun aluslaudan mallissa pyritään kasvattamaan huonekorkeutta ja liitoksen kokonaiskorkeus kasvaa merkittävästi edelliseen verrattuna ja siitä syystä johtuen liitos on tehtävä kulmakiinnikkeellä sekä naulauslevyllä riittävän lujuuden saavuttamiseksi. Kuvassa 29 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 29 Seinäliitos korkealla alapuulla laattaan [57]

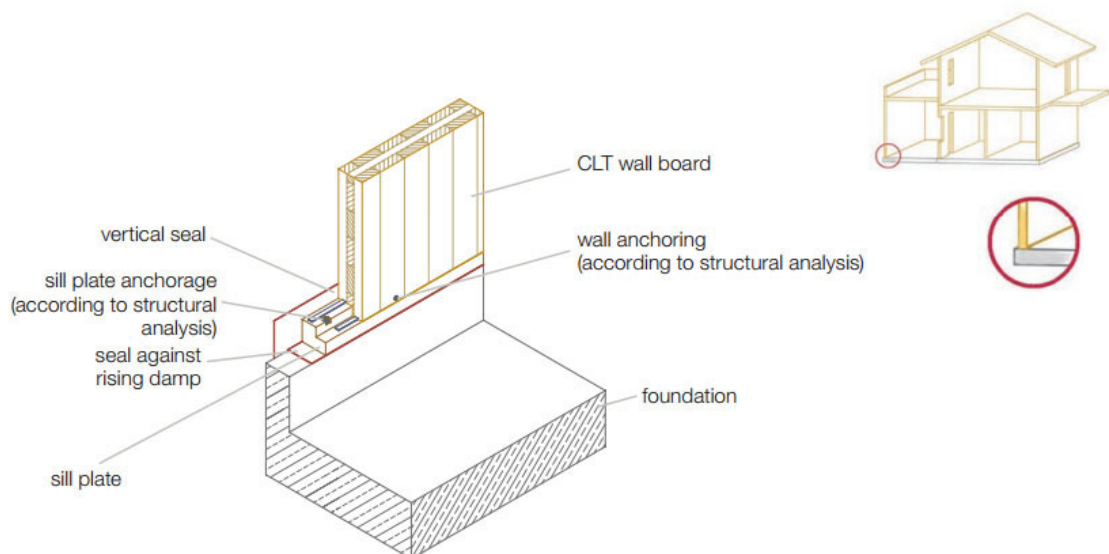
Neljäs liitostyyppi on tarkoitettu rakenteelle, jossa CLT -elementti liitetään teräsbetoniin sokkeliin. Tässä liitostyyppissä CLT -elementti on korkeammalla kuin laatta ja sokkelin ja elementin sisä- ja ulkoreunat muodosta tasaisen linjan molemmin puolin elementtiä, joten liitoksen jäykistämiseen käytetään naulauslevyjä molemmin puolin liitosta. Asennussaumaan tulee laastitäyte saumapinnan tasaukseksi ja väliin tulee asentaa

kosteutta eristävä kaista, ettei kosteus nouse CLT -elementtiin. Kuvassa 30 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 30 Seinäliitos laastilla sokkeliin [57]

Viides liitostyyppi Stora Enson malliratkaisuissa on teräsbetonisen sokkelin liitos CLT -elementtiin, jossa muodostetaan tasainen linjan molemmin puolin elementtiä, joten liitoksen jäykistämiseen käytetään naulauslevyjä molemmin puolin liitosta. Asennusaumaan tulee alapuu, joka voi olla matala tai korotettu. Saumaan tulee liimata kaksi tiivistysteippiä, sekä ulkopuolelle pystyreunaan tulee liimata suojakaista sekä alapuun alle tulee asentaa kosteuden nousua estävä kaista. Kuvassa 31 havainnollistetaan rakennetta. [31]

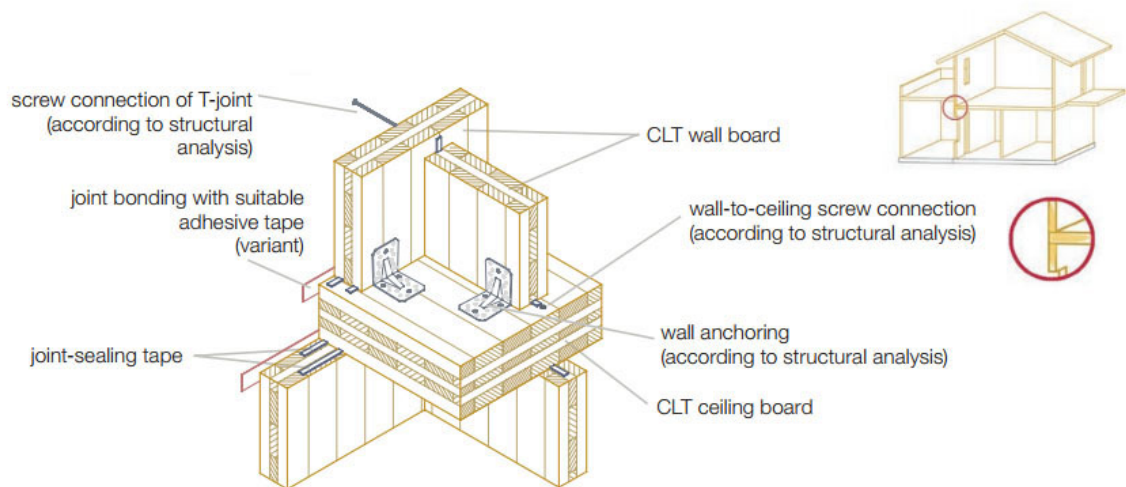


Kuva 31 Seinäliitos alapuulla sokkeliin [57]

4.3.2 Seinäelementtien liitos välipohjaan

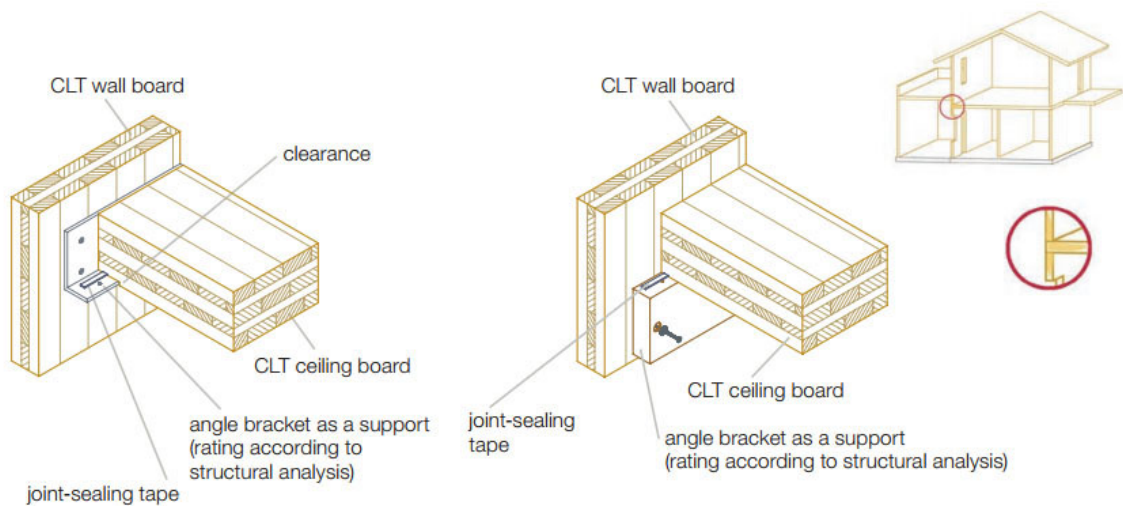
Välipohjien liittäminen seinän vaipparakenteeseen voidaan tehdä kahdella eri tavalla. Valintaan vaikuttavana tekijänä on elementtien asennusjärjestys, sillä toisessa ratkaisussa välipohja tulee vaipasta läpi ja toisessa ratkaisussa välipohja jää vaipparakenteen sisäpuolelle. [31]

Ratkaisu, jossa välipohjaelementti läpäisee vaipan, on rakennusteknisesti paremmin kuormia siirtävä rakenne erillisten mitoittavien kannakkeiden puutteesta johtuen. Tässä ratkaisussa välipohjaelementti lepää kantavan seinän päällä. Rakenne kiinnitetään kantavaan seinään ponteistaan ruuvaamalla rakennesuunnitelman mukaisesti. Ilmatii- viyden saavuttamiseksi tulee rakenteeseen liimata elementtien väliin tiivistysnauhat ja ulkopintaan tiivistysteipit. Kuvassa 32 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 32 Välipohjaliitos vaippaa lävistäen vaippa [57]

Välipohjan ja seinän liitos voidaan tehdä myös ehjällä vaipparakenteella, jolloin ei tarvitse kiinnittää erillistä huomioita ilmatiiveyden ylläpitämiseksi. Tässä ratkaisussa vaipan sisäpintaan mitoittetaan kannake, joka tukee mitoittavat kuormat ja siirtää ne kantavalle vaipparakenteelle. Ratkaisuna voidaan käyttää ulokkeellista kannaketta välipohjan alla tai kulmakannaketta vaipan ja välipohjan välissä. Asennuksessa tulee käyttää liitospinnalle asennusnauhaa tasaisen kosketuksen varmistamiseksi. Kuvassa 33 havainnollistetaan rakennetta. [31]

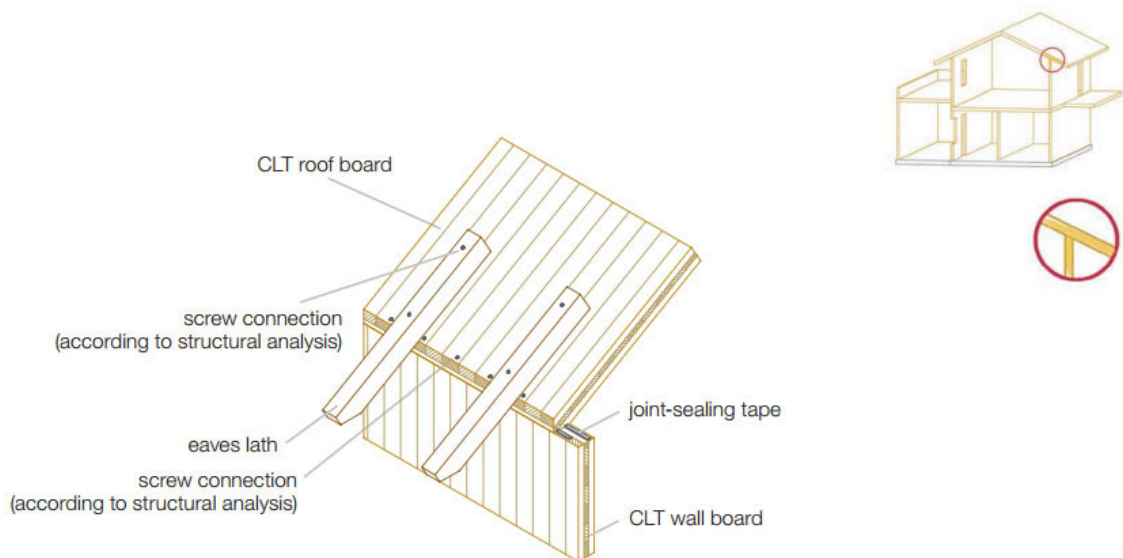


Kuva 33 Välipohjaliitos vaippaan sisäpuoleisilla kannakkeilla [57]

4.3.3 Seinäelementin liitos yläpohjaan

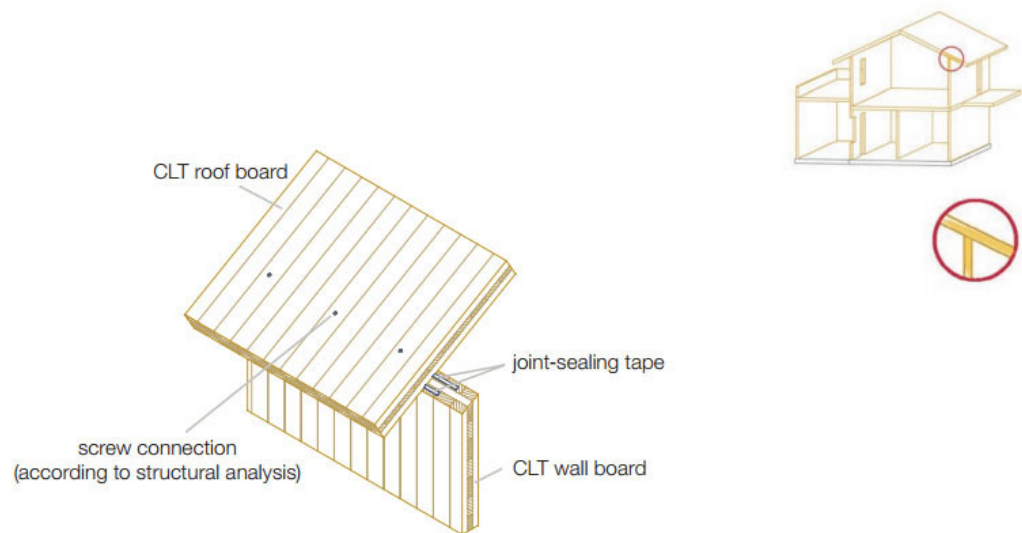
Yläpohjan ja vaipan CLT -elementtien liitoksen voi toteuttaa kolmella erilaisella tavalla Stora Enson ohjeen mukaan. Kaksi näistä ratkaisuista on pitkällä CLT räystäällä ja yksi on erillisillä räystääsruoteilla. (Stora Enso, 2012 A Shell Construction)

Ratkaisu, jossa räystääs on erillisellä jatkeella toteutettu niin, että vaipan CLT -elementti on yläosastaan suorakulmainen ja yläpohjan CLT -elementti on kulmaan sahattu tasaisen kontaktipinnan aikaan saamiseksi. Pintojen väliin asennetaan tiivistysteippi ilmatiiyvyyden varmistamiseksi ja rakenneliitos jäykistetään rakennesuunnitelman mukaisin ruuvikiinnityksin yläpohjaelementin läpi ruuvaamalla vaippaelementin sisään. Kuvassa 34 havainnollistetaan rakennetta. [31]



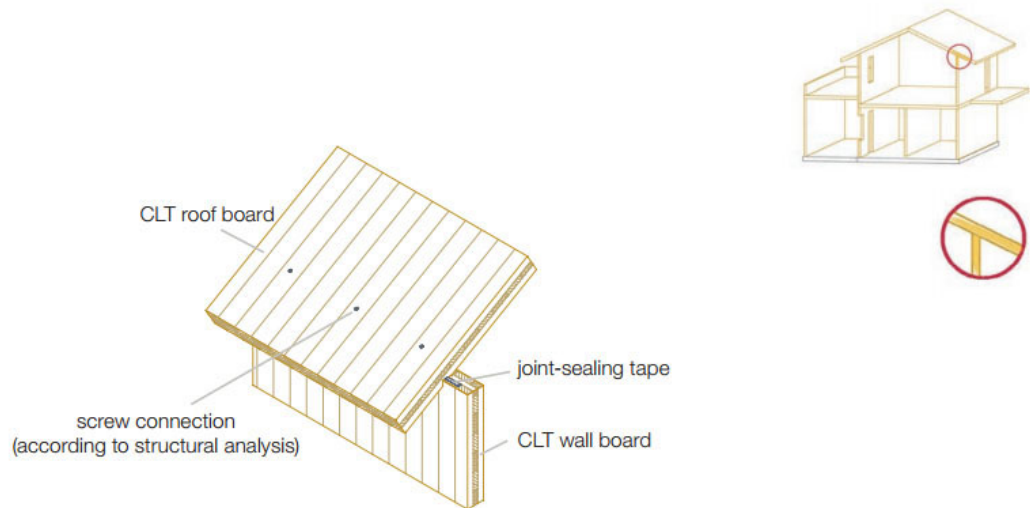
Kuva 34 Yläpohjan liitos suorakulmaiseen vaippaan [57]

Pitkän CLT räystäään ensimmäinen toteutusvaihtoehto on tehty ehjällä CLT -elementillä yläpohjassa, ja vaipan CLT -elementtiä on leikattu kulmaan yläosastaan tasaisen kontaktin aikaan saamiseksi. Elementtien liitossaumaan on liimattava kaksi tiivistysteippiä rakenteen ilmatiiviyden aikaan saamiseksi. Rakenne kiinnitetään ruuviliitoksin yläpohjajaelementin läpi vaippaelementin sisään. Kuvassa 35 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 35 Yläpohjan liitos viistettyyn vaippaan [57]

Toinen vaihtoehto tälle räystääsratkaisulle on vaipan CLT -elementin yläosan pitäminen suorakulmaisena ja loveta yläpohjan CLT -elementtiä, jotta yläpohjajaelementti lepäisi tasaisesti kantavan vaipan päällä. Elementtien saumaan tulee liimata kaksi tiivistysteippiä rakenteen ilmatiiviyden aikaansaamiseksi. Rakenne kiinnitetään ruuviliitoksin rakennesuunnitelmien mukaisesti vaippaelementtiin. Kuvassa 36 havainnollistetaan rakennetta. [31]

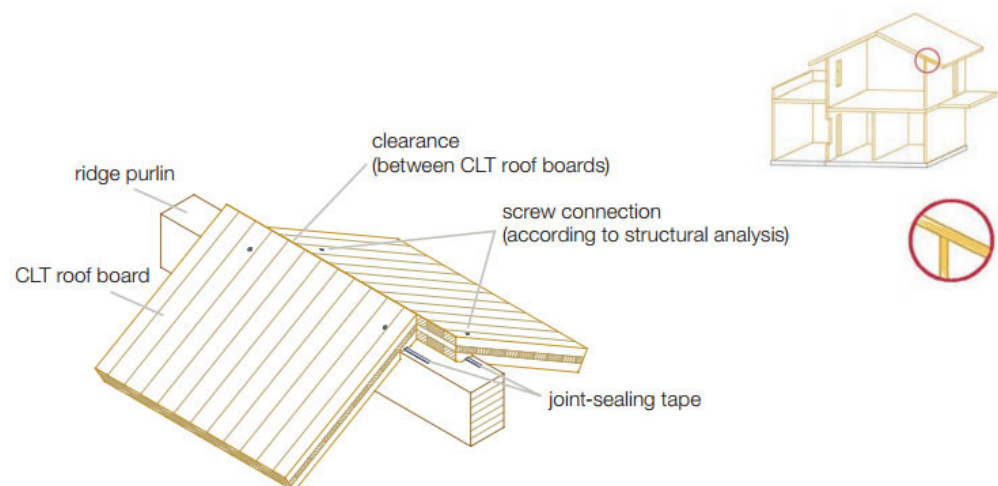


Kuva 36 Lovetun yläpohjan liitos suorakulmaiseen vaippaan [57]

4.3.4 Harjaliitos

Harjaliitoksia on kahdessa erilaisessa kategoriassa. Yksi tapa on harjansuuntaisella palkilla tuettu kattorakenne ja kaksi muuta ovat lappeet vastakkain toisiinsa tukeutuvia ratkaisuja. [31]

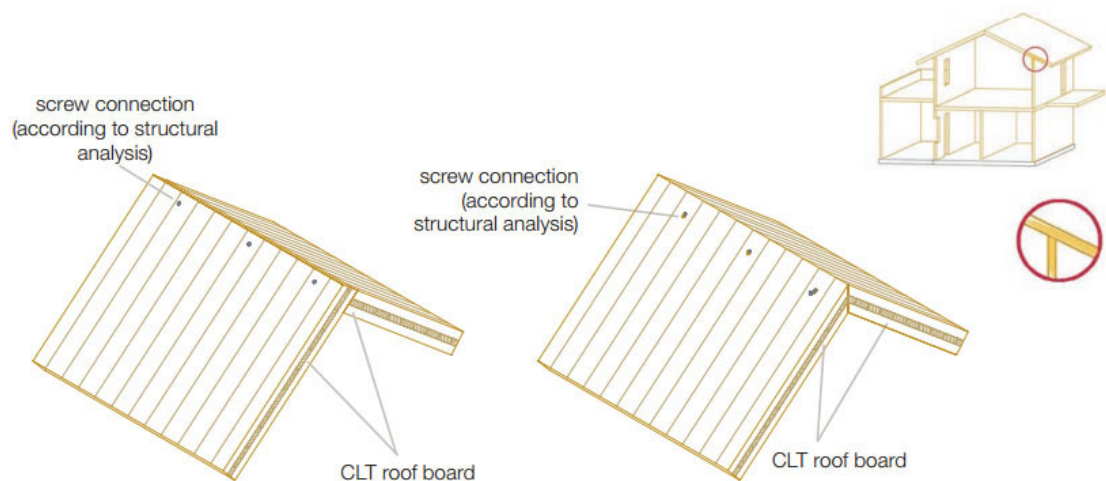
Harjaliitos, jossa on erillinen kantava tuki harjan suuntaisesti. Toteutetaan niin, että molemmat lappeet jyrsitään palkin kohdalta, jotta paine tuelle jakautuisi tasaisesti ja rakenteen tiivistäminen ilmatiiviiksi olisi helpompaa. Kosketuspinnolle asennetaan tiivistysteipit ilmatiiviyden aikaansaamiseksi. Rakenne kiinnitetään ruuvikiinnikkein kantavaan palkkiin rakennesuunnitelmien mukaisessa laajuudessa. Kuvassa 37 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 37 Harjaliitos palkkiin [57]

Harjapalkittomissa ratkaisussa lappeat tukeutuvat toisiinsa. Toisessa vaihtoehdossa toinen elementti nousee toisen yläpuolelle muodostaen ehjän harjan ja kiinnitys tapahtuu elementin ulkopinnalta asennettaviin ruuvikiinnityksiin, jotka porautuvat matalammalla olevan elementin sydän rakenteisiin sen päädystä. Ilmatiivyyden varmistamiseksi rakenteen liitokseen tulee asentaa tiivistysteippi. [31]

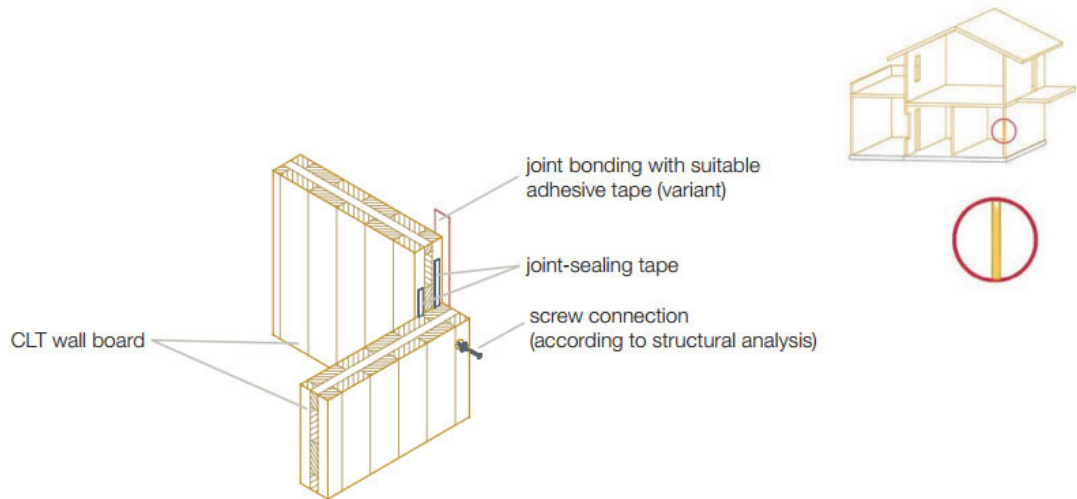
Toisessa harjapalkittomassa vaihtoehdossa molemmat CLT -elementit on leikattu jiiriin muodostaen pystysuoran liitoslinjan ylöspäin. Rakenne tukeutuu toisiinsa aiheutuvasta puristuksesta ja rakenteen kiinnitys suoritetaan ruuviliitoksin toisiinsa rakennesuunnitelmien mukaisella tavalla. Kuvassa 38 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 38 Harjaliitos pusku- tai jiirisaumaan [57]

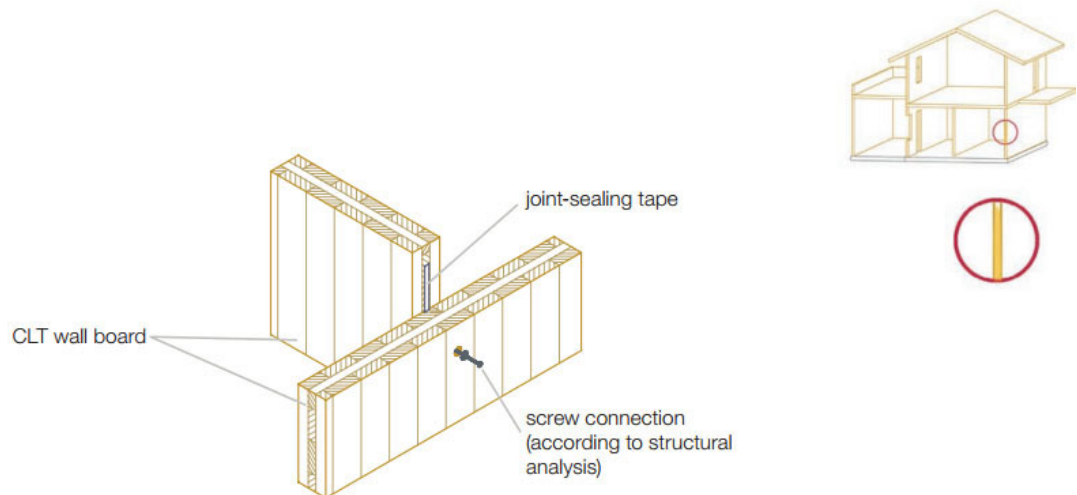
4.3.5 Elementtien välinen pysty- ja vaakaliitos

CLT -elementtien kulmaliitos tapahtuu ruuvaamalla kulmaan tulevan elementin sivusta läpi ruuviliitin, joka kiinnittyy päädystään ulomman elementin kylkeen. Sauman tiiveys varmistetaan liimaamalla saumaan kaksi kappaletta tiivistysnauhoja ja ulkosauma liitoksesta teipataan tiivistysteipillä. Sauman tiiveys voidaan myös varmistaa liimaamalla sisäkulmaan tiivistysteippi, mikäli välissä käytettäviä tiivistysnauhoja ei käytetä. Liitoksen kiinnittäminen tulee suorittaa rakennesuunnitelmien mukaisella tavalla. Kuvassa 39 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 39 Seinän kulmaliitos [57]

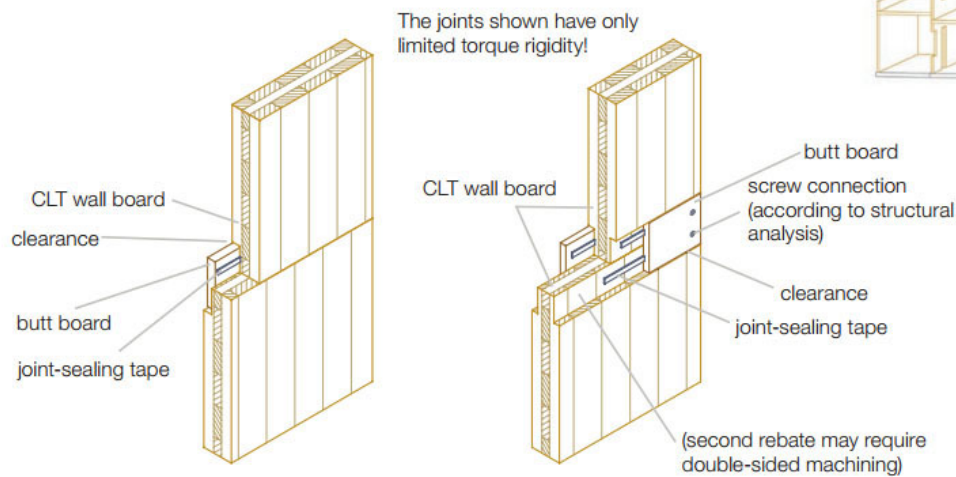
CLT -väliseinän kiinnitys CLT -elementistä tehtyyn vaippaan tapahtuu ruuviliitoksella, jossa vaipparakenteen läpi ruuvataan kiinnike väliseinäelementin pätyyn. Väliseinäelementin pätyyn tulee liimata tiivistenauha, mikäli huoneiden väliset seinät tulee olla kaasutiiviitä. Kiinnitys tulee tapahtua 90° kulmassa ja rakennesuunnitelmien mukaisella tiheydellä. Kuvassa 40 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 40 Seinän vaippaliitos [57]

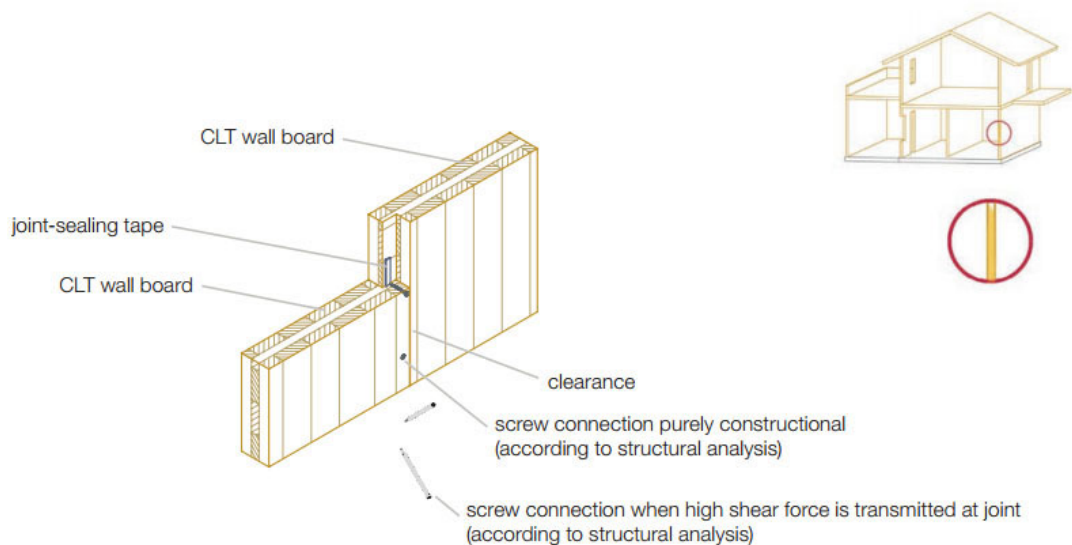
Huonekorkeutta kasvatettaessa joudutaan turvautumaan elementtien asentamiseen päällekkäin ja tällaisessa vaakasaumassa tulee käyttää ulkokuoriltaan kuorittuja elementtejä. Elementtien lovetuksen tulee olla vähintään 27mm syvä ja 80mm leveä. Liitoksessa käytetään liitoslautaa ja jokaiseen liitossivuun tulee asentaa tiivistysnauha ilmatiiveyden

varmistamiseksi. Liitoslauta kiinnitetään molemmille puolille liitosta ruuvikiinnityksin rakennesuunnitelmien mukaan. Kuvassa 41 havainnollistetaan rakennetta. [31]



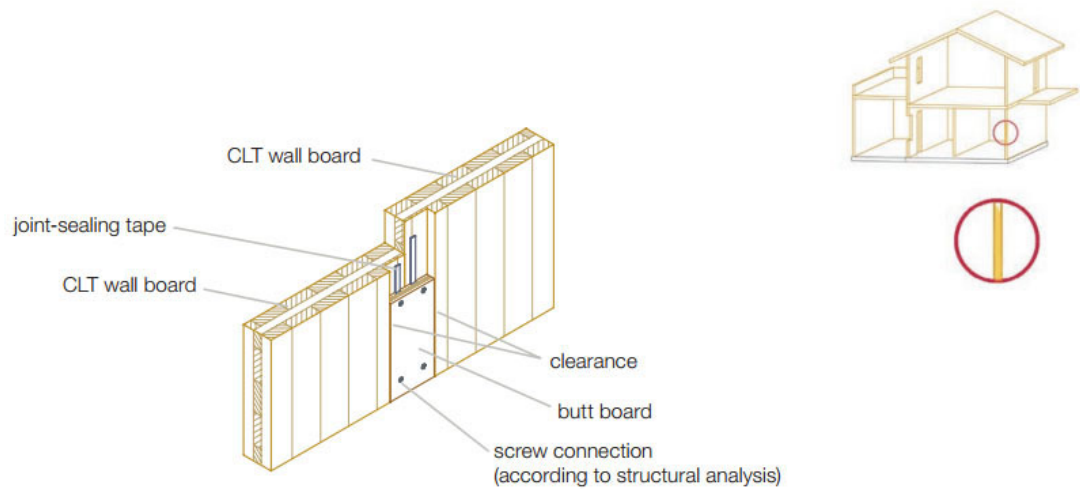
Kuva 41 Seinän jatkoliitos vaakasaumalla [57]

Seinää tehtäessä tulee mahdollisesti tarve tehdä vaakasuuntaan jatkos ja tällainen CLT -elementtien pystysauma tulee toteuttaa loveamalla molemmat elementit mutta risteäviltä sivuilta. Näin saadaan aikaiseksi limitys kiinnitettävissä elementeissä ja niiden kiinnitys tapahtuu ruuvaamalla kiinnikkeet molemmiin puoliin liitosta rakennesuunnitelmien mukaisessa laajuudessa. Sauman ilmatiiveys varmistetaan lisäämällä liitokseen liimattava tiivistysnauha ja ulkopuolelle saumaan teipattava tiivistysteippi. Kuvassa 42 havainnollistetaan rakennetta. [31]



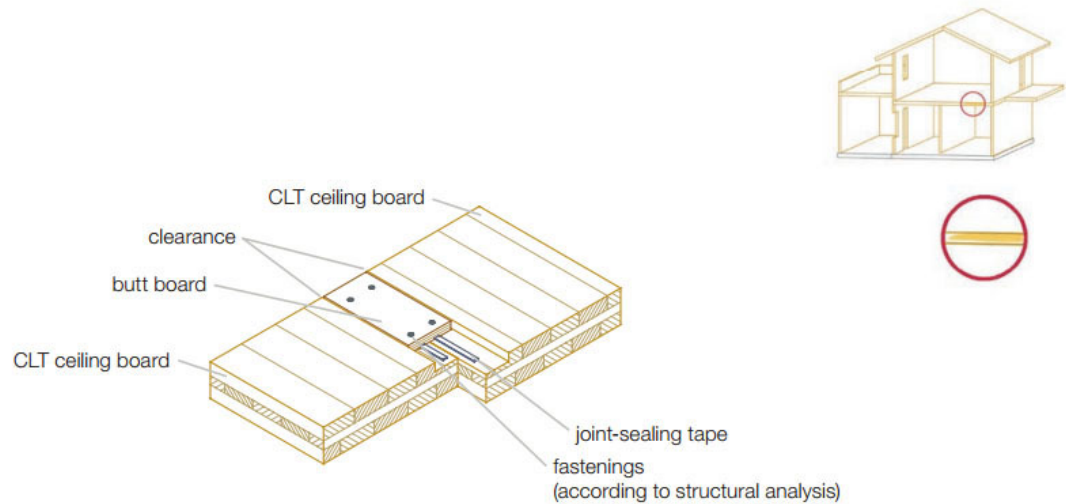
Kuva 42 Seinän jatkoliitos pontatulla pystysaumalla [57]

Seinän jatkoksen voi toteuttaa myös liitoksella, jossa elementtien sisäpinnat lovetaan symmetrisesti ja liitos tehdään täytelaudalla. Loven tulee olla vähintään 27mm syvä ja 80mm leveä molemmissa elementeissä. Liitoksen pinnat tiivistetään asentamalla tiivistysnauhat asennuspinoille ja tarvittaessa vaipan ulkopinnalle. Liitos kiinnitetään ruuvi-liitoksen rakennesuunnitelmien mukaisessa laajuudessa. Kuvassa 43 havainnollistetaan rakennetta. [31]



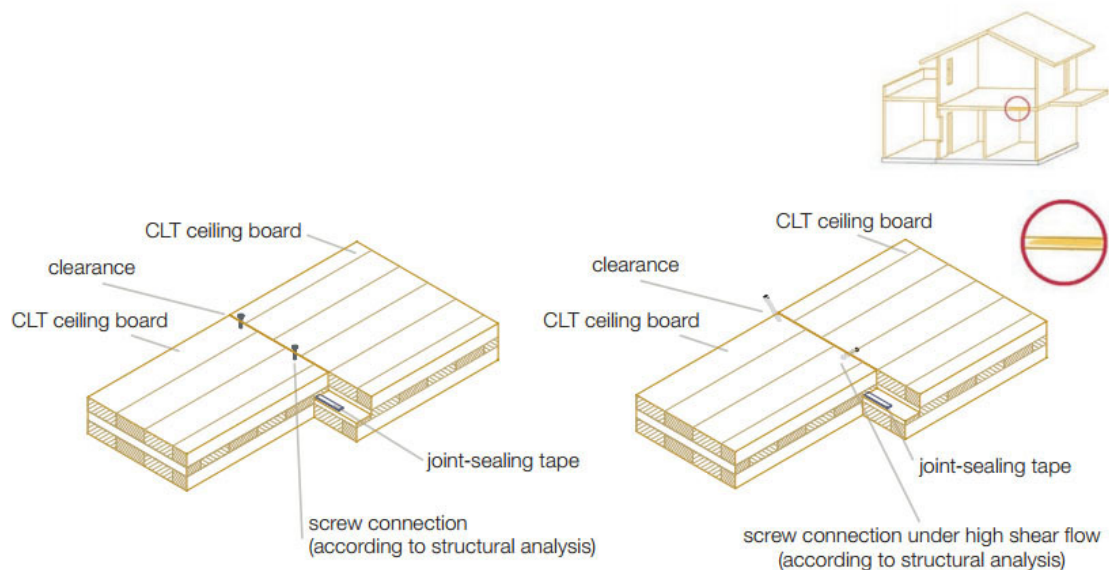
Kuva 43 *Seinän jatkoliitos täytelevyllä pystysaumassa [57]*

Vaakarakenteessa pitkittäissauman liitos voidaan tehdä kahdella eri tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on loveamalla ja täytelaudalla tehty liitos. Loveaminen tehdään symmetrisesti ja syvyyttä tulee olla vähintään 27mm ja leveyttä vähintään 80mm. Liitos tiivistetään liimattavalla nauhalla ja liitos kiinnitetään täytelaudalla rakennesuunnitelman mukaisesti ruuvikiinnikkeillä. Kuvassa 44 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 44 YP- tai VP-rakenteen jatkoliitos täytelevyllä [57]

Toinen vaihtoehto on epäsymmetrisesti lovetut elementit, joissa loveamalla saadaan aikaiseksi sormijatkos. Rakenteen tiiviys varmistetaan elementtisaumaan liimattavalla tiivistysnauhalla. Rakenne kiinnitetään rakennesuunnitelmien mukaisella ruuviliitoksella määritellyssä laajuudessa. Kuvassa 45 havainnollistetaan rakennetta. [31]

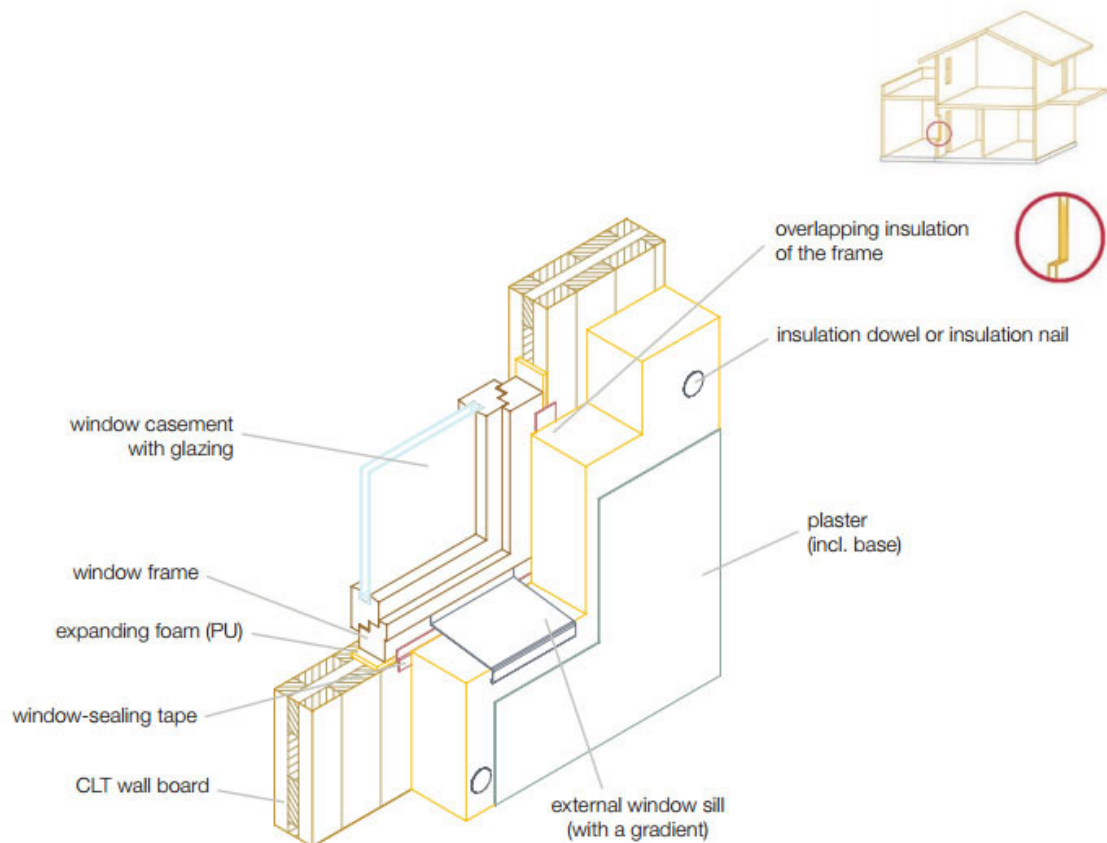


Kuva 45 YP- tai VP-rakenteen jatkoliitos pontilla [57]

4.3.6 Ikkuna- ja oviliitokset

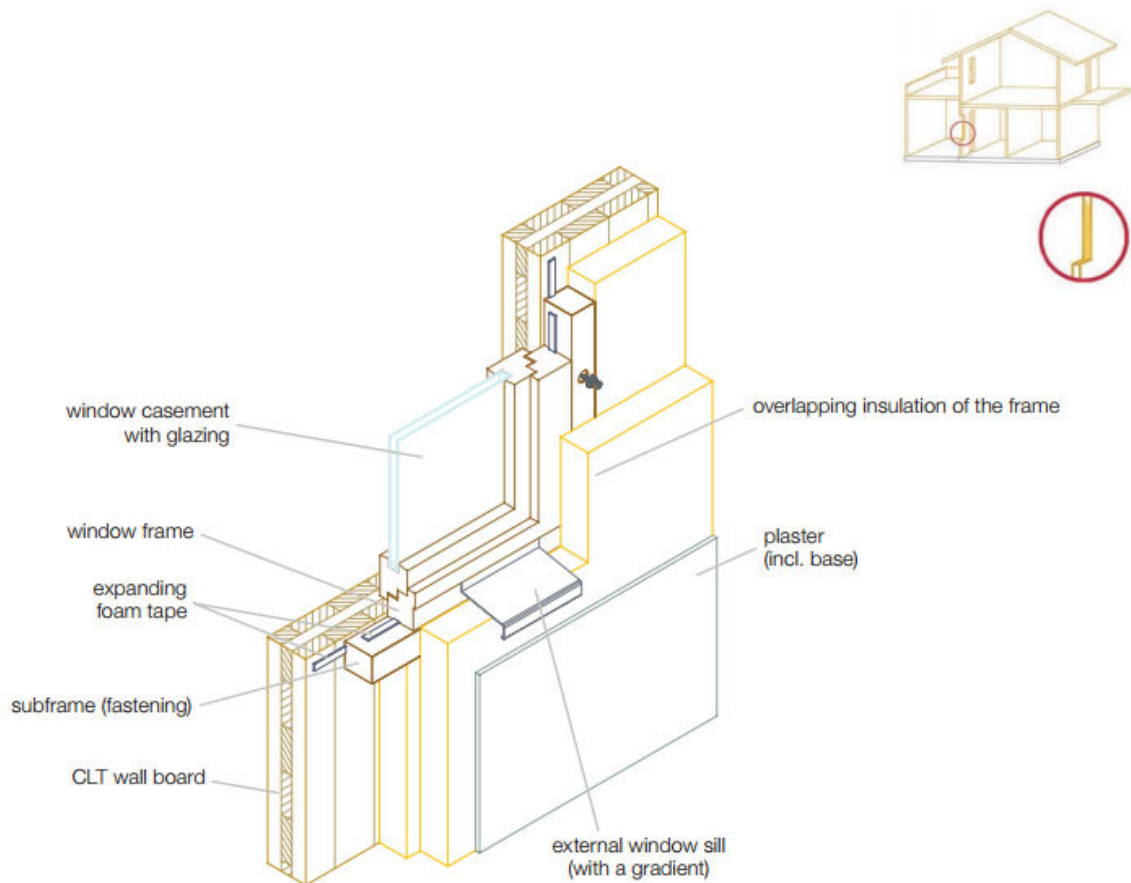
Ikkuna- ja oviliitokset ovat keskenään samanlaiset vaipparakenteeseen asennettaessa. Vaihtoehtoisia tapoja asennukselle on kaksi, jotka poikkeavat oleellisesti ainoastaan rungon ja asennettavan karmin linjauksen osalta. [31]

Stora Enson esittämä ensimmäinen asennusvaihtoehto on vaipparakenteen ulkolinjan ja asennettavan karmin ulkolinjan suhteen samassa tasossa. Tässä ratkaisussa ikkuna tiivistetään seinärakenteeseen PUR -vaahdolla ja saumaliitos teipataan tiivistysteipillä ylitse rakenneliitoksen ilmatiiveyden saavuttamiseksi. Seinään asennettava lämmöneriste sijoitetaan niin, että liitoskohdan ylitse tulee eristettä karmin puolelle ja näin jättää allensa tiivistysteipin. Kuvassa 46 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 46 Ikkunaliitos CLT:n linjaan [57]

Vaihtoehtoisessa ikkunaliitoksessa ei käytetä PUR -vaahtoa asennukseen vaan asennus tehdään tiivistyvällä asennusteipillä. Tässä ratkaisussa ikkuna-aukon linjassa ulkopuolelle asennetaan apupuun kiertämään ikkuna-aukko. Tähän liitossaumaan on liimattu tiivistenauha varmistamaan liitoksen ilmatiivyyttä ja liitoksen tasaiselle linjalle asennetaan vielä erillinen tiivistysteippi ilmatiiveyden varmistamiseksi. Itse ikkuna asennetaan apupuun varaan niin, että karmin on linjassa ulkopuolelta apupuun kanssa. Tähän liitossaumaan tulee asentaa tiivistysnauha ilmatiiveyden parantamiseksi sekä ulkosaumaan liimataan tiivistysteippi. Ikkunan asennukseen käytetty apurunko jää lämmöneristeen taakse piiloon. Kuvassa 47 havainnollistetaan rakennetta. [31]



Kuva 47 Ikkunaliitos CLT:n ulkopuolella [57]

4.4 Eristäminen

Tässä kappaleessa tarkeastellaan CLT -elementtirakenteisen rakennuksen mahdollisia eristämisvaihtoehtoja vaipparakenteessa sekä yläpohjassa. Tarkasteltavat eristeet ovat mineraalivilla, puukuitulevy, selluloosa EPS/XPS-eriste. [33]

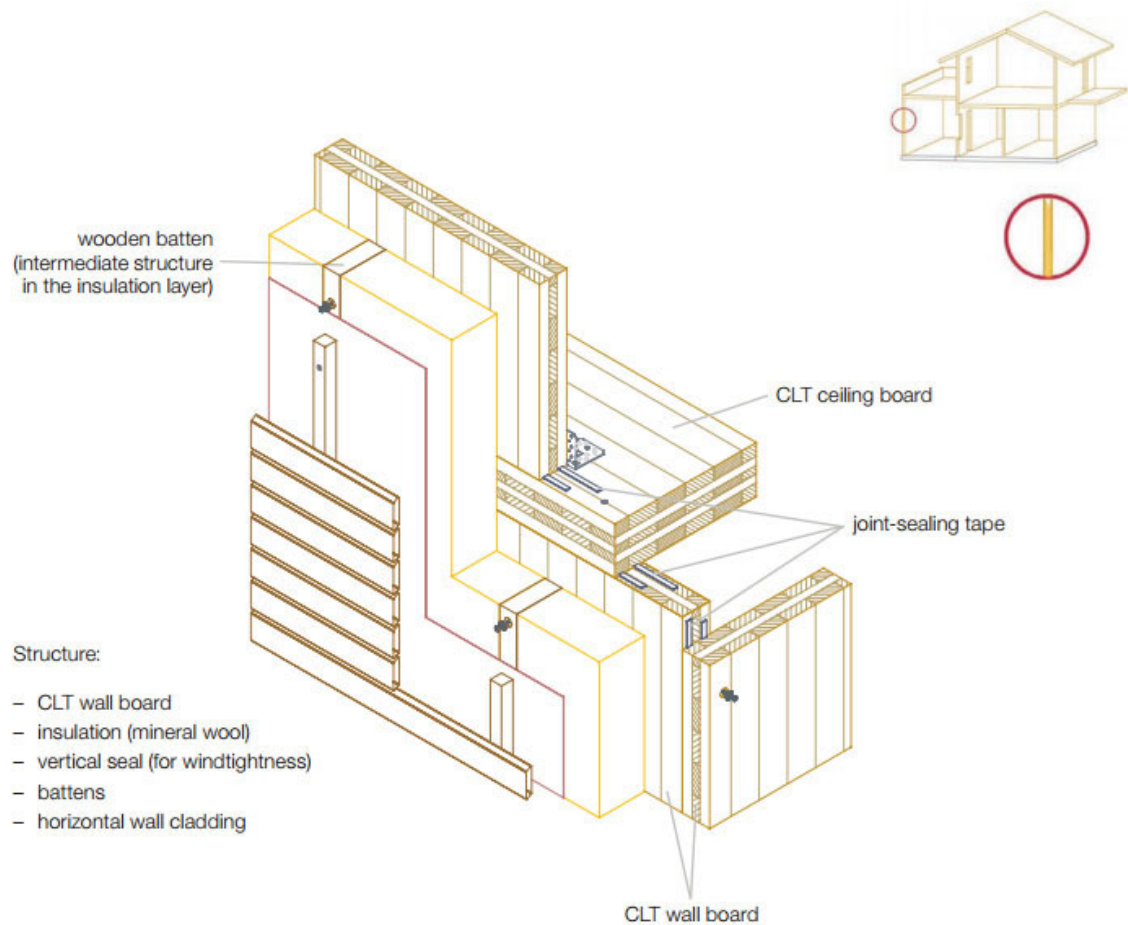
4.4.1 Vaipparakenteen eristäminen

CLT -elementeistä rakennetun vaipan eristämisessä voidaan käyttää perinteisesti käytössä olevia eristeitä. Stora Enso antaa rakenneohjeen mineraalivillalle, puukuitulevylle, selluloosalle ja EPS/XPS eristeelle. Rakennerratkaisuihin vaikuttaa myös käytettävä julkisivuratkaisu. [33]

Mineraalivillaa käytettäessä, CLT -elementin ulkokuoreen tulee asentaa pystykoolaukset villan leveyden mukaisella koolausjaolla. Koolauksen vahvuus on täysin riippuvainen asennettavan eristekerroksen vahvuudesta. Lämmöneriste ja koolaus tulee ulkopinnoiltaan samaan tasoon. Seuraava rakennekerros ulospäin on tuulensuojalevy tiiviisti asennettuna lämmöneristettä vasten. Tuulensuojalevy kiinnitetään pystykoolauksilla

alkuperäisen koolauksen kanssa samalla jaolla ehjän kiinnityksen takaamiseksi. Pystykoolaukseen kiinnitetään lopullinen julkisivu niin, että sen ja tuulensuojalevyn väliin jää riittävä tuuletusrako. [33]

Julkisivussa on myös mahdollista käyttää tiiltä tai jotain muuta vaihtoehtoista ratkaisua. Tämä tulee huomioida kyseisen materiaalin tukemisessa, että rakenne on tarpeeksi staabiili. Kuvassa 48 havainnollistetaan rakennetta. [33]

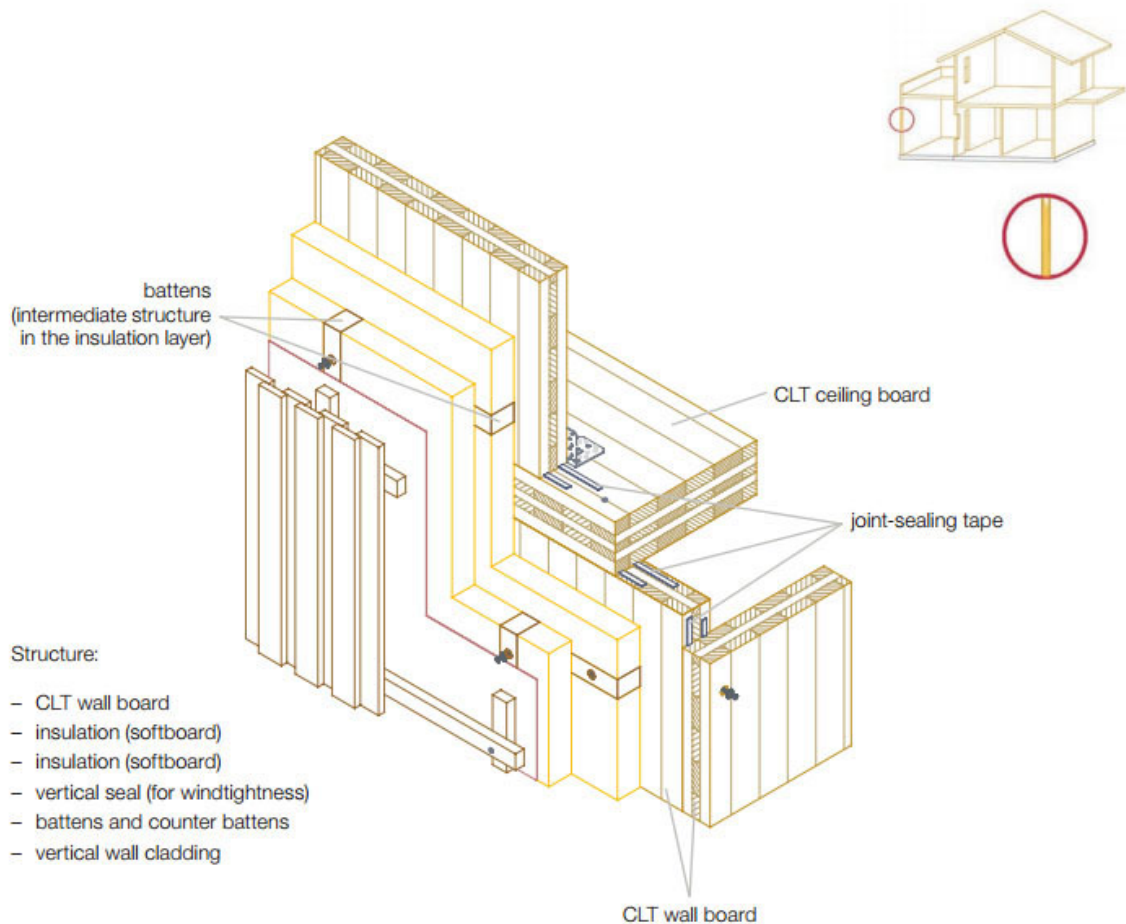


Kuva 48 Vaipparakenne mineraalivillalla [57]

Puukuitulevyllä eristettäessä Stora Enso antaa asennusesimerkin, jossa käytetään risti-koolausta ja jossa eriste asennetaan kahdessa kerroksessa keskenään ristiin koolattujen rimojen varaan. Sisempi kerros asennetaan vaakatasossa ja ulompi kerros asennetaan pystysuunnassa. Lämpöä eristävien kerroksien päälle asennetaan tuulensuojakerros alemman kerroksien koolauksien linjassa kiinnittäen. [33]

Lautaverhoilua käytettäessä julkisivulautojen suunta ratkaisee, kuinka monta koolauskerrosta on tarpeen, että saadaan ilmalle pystysuuntainen tuuletusreitti. Vaihtoehtoisissa

pintamateriaaleissa tulee ottaa huomioon mahdolliset lisätuennan tarpeet kuten tiilimuurauksessa. Kuvassa 49 havainnollistetaan rakennetta. [33]

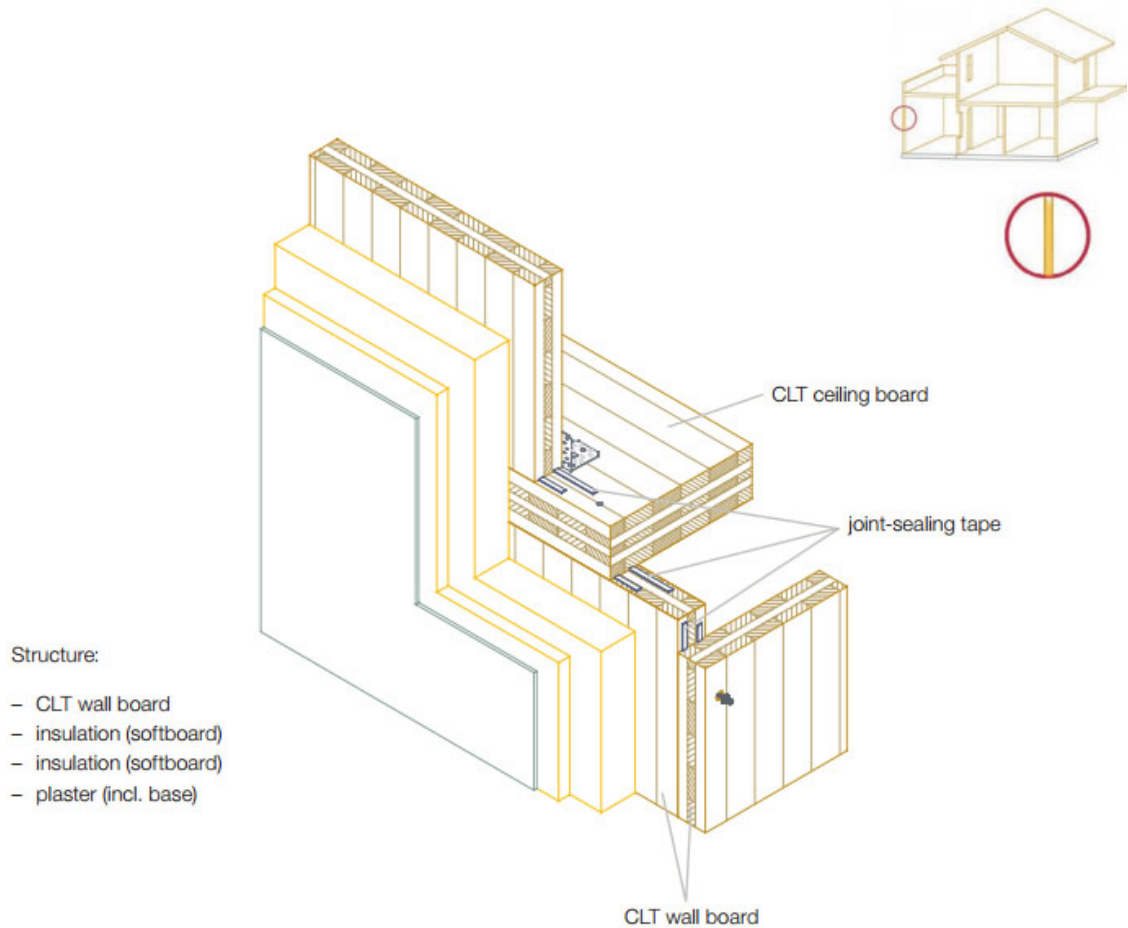


Kuva 49 Vaipparakenne puukuitulevyllä [57]

Puukuitulevyä voidaan käyttää eristeenä myös silloin kun julkisivusta halutaan tehdä rappauspintainen. Rakennekerrokset poikkeavat tällöin oleellisesti puukoolatuista vaihtoehdoista, sillä tässä ratkaisussa eristeiden tuenta tapahtuu eristekerroksien ulompaan pintaan asennettavan kerroksen ankkuroinnista sisäpuolen jäykistävään rakenteeseen erillisillä naula- tai ruuvilätkillä. Ulompaan pintaan ei jätetä erillistä tuuletusrakoa tai koolauksia julkisivurakenteelle. Tähän pintaan tulee tarvittavat asennusverkot tai vastaavat rappausta varten. [33]

Erityisiä huomioita tehtävässä rakenteessa on huomioida rakenteelle mahdolliset kosteudesta tai roiskevedestä johtuvat rasitukset. Näihin tulee varautua rakentamalla mahdolliset alueet hyödyntäen XPS –eristettä. Käytännössä tämä tarkoittaisi alakierrosten tai murtoharjakattojen liitoksista jatkuvien kattorakenteiden alaosien tekemistä XPS –eristeestä. [33]

Rappauksen valitsemisessa tulee huomioida, että se soveltuu käytettävään eristeeseen rakennusfysikaalisilta ominaisuuksiltaan, jotta rakennetta ei altistettaisi virheellisten toteutusten johdosta mahdollisille kosteusvaurioille ja niistä seuraaville homeongelmille. Kuvassa 50 havainnollistetaan rakennetta. [33]



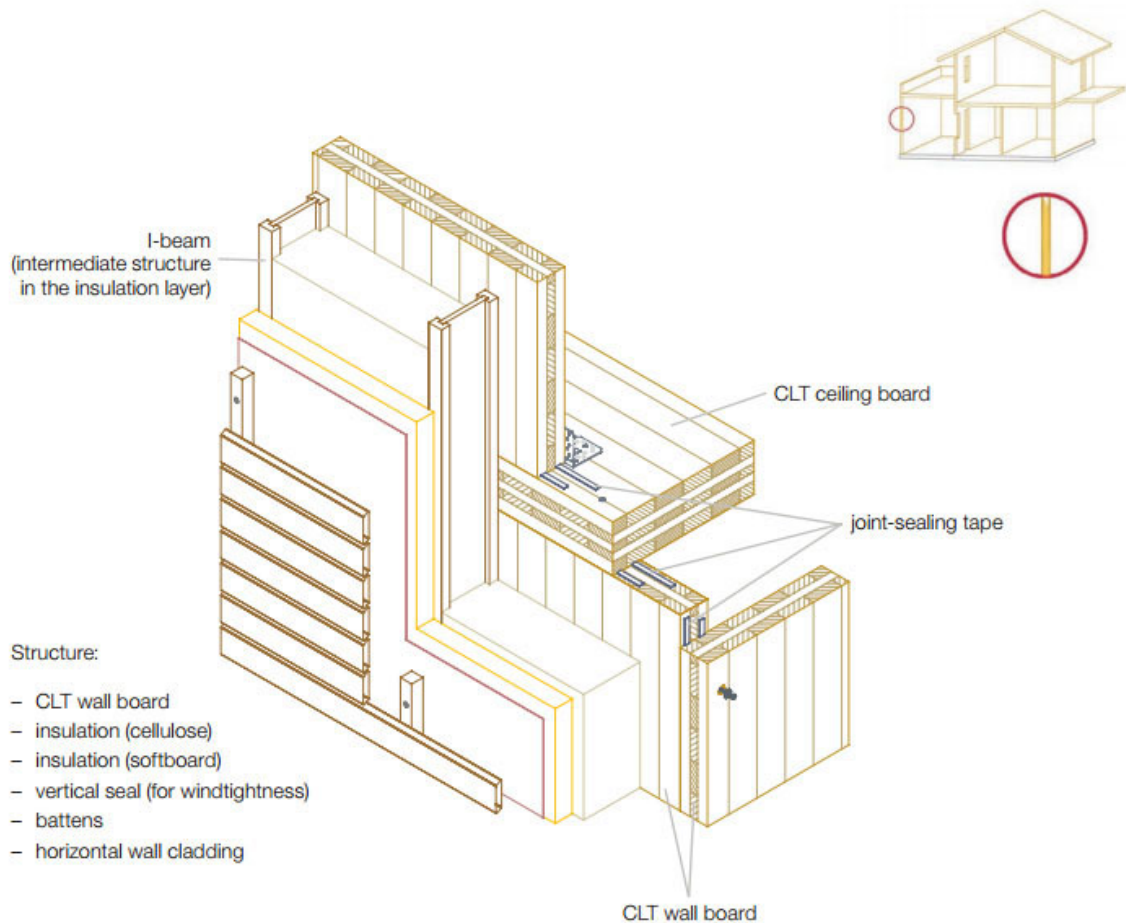
Kuva 50 Vaipparakenne XPS-eristeellä [57]

Selluloosaa eristeenä käytettäessä seinärakenteeseen tulee rakentaa kennot, joihin selluilla puhalletaan. Seinään kiinnitetään koolausvälin mukaisesti esivalmistetut I-profiilit ja niiden muodostamaan ulkolinjaan asennetaan kuitulevy yhdeksi seinäksi kennorakenteelle estämään eristeen leviäminen ympäristöönsä. Kun tukea muodostava rakenne on valmis ja alhaalta tiivis, täytetään kenno puhaltamalla sinne selluloosaa. Puukuitulevyn pintaan tulee asentaa erillinen tuulensuojalevy, joka kiinnitetään rimoituksella rakennerokoksissa alempana sijaitsevaan koolaukseen. Julkisivun ja tuulensuojalevyn väliin tulee jättää rakenteelle riittävä tuuletusväli. [33]

Rakenteeseen on myös mahdollisuus käyttää vaihtoehtoisia julkisivumateriaaleja. Mutta tämä tulee ottaa huomioon mahdollisia tuentoja ajatellen. [33]

Selluloosaa eristeenä käytettäessä tulee myös varmistua siitä, että ulommat rakennekerrokset ja rakenteiden reunat ovat riittävän vesitiiviitä, ettei kosteus pääse lämmöneristeenä käytettävään selluloosaan kosketuksiin. [33]

Selluloosa eristyksen rakennetta voidaan myös hyödyntää muitakin irtonaisia massaeristeitä käytettäessä. Paljon käytetyt vaihtoehdot ovat puhallettu mineraalivilla tai viime vuosina yleistynyt ekovilla. Kuvassa 51 havainnollistetaan rakennetta.

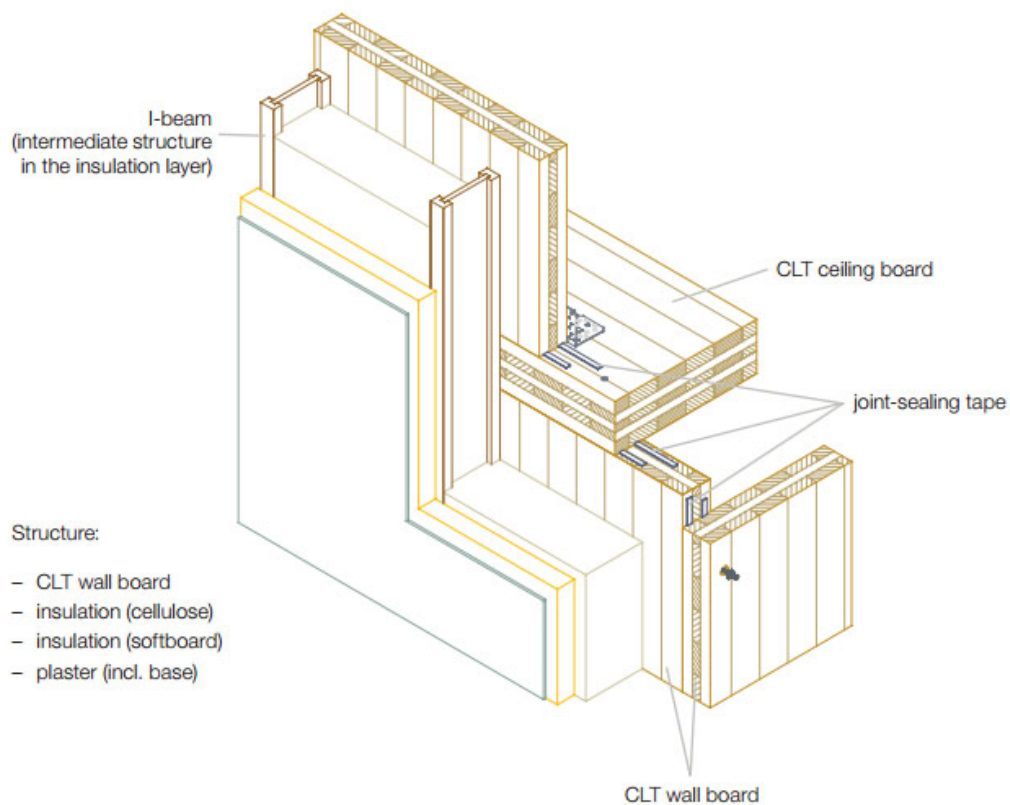


Kuva 51 Vaipparakenne selluloosalla [57]

Rapatulla julkisivupinnalla voidaan myös käyttää selluloosaa tai muuta puhallettavaa eristettä. Käytettävä seinärakenne on perusrakenteeltaan selluloosalla eristetyin lautaverhoillun julkisivun kanssa hyvin samanlainen. Seinärakenteesta löytyvät samat esivalmistetut I-profiilit ja materiaaliltaan jäməkampi kuitulevy profiileihin kiinnitettynä, että saadaan eristeellä täytettävä kenno. [33]

Rakenteen eristäminen tapahtuu puhaltamalla eriste kennorakenteen sisään. Reuna-alueet ja erityisesti rakenteen alaosa tulee varmistaa, ettei se altistu kosteudelle tai roiskevedelle. Tämä varmistetaan XPS –eristeellä tehtävillä reuna-alueilla. [33]

Rapattava julkisivu tulee suoraan kuitulevyyn ilman erillisiä rakennekerroksia tai tuuletusrakojia. Rappauksen tulee soveltua käytettyyn eristelaatuun rakennusfysikaalisilta ominaisuuksiltaan, jotta rakenne toimisi halutulla tavalla. Kuvassa 52 havainnollistetaan rakennetta. [33]



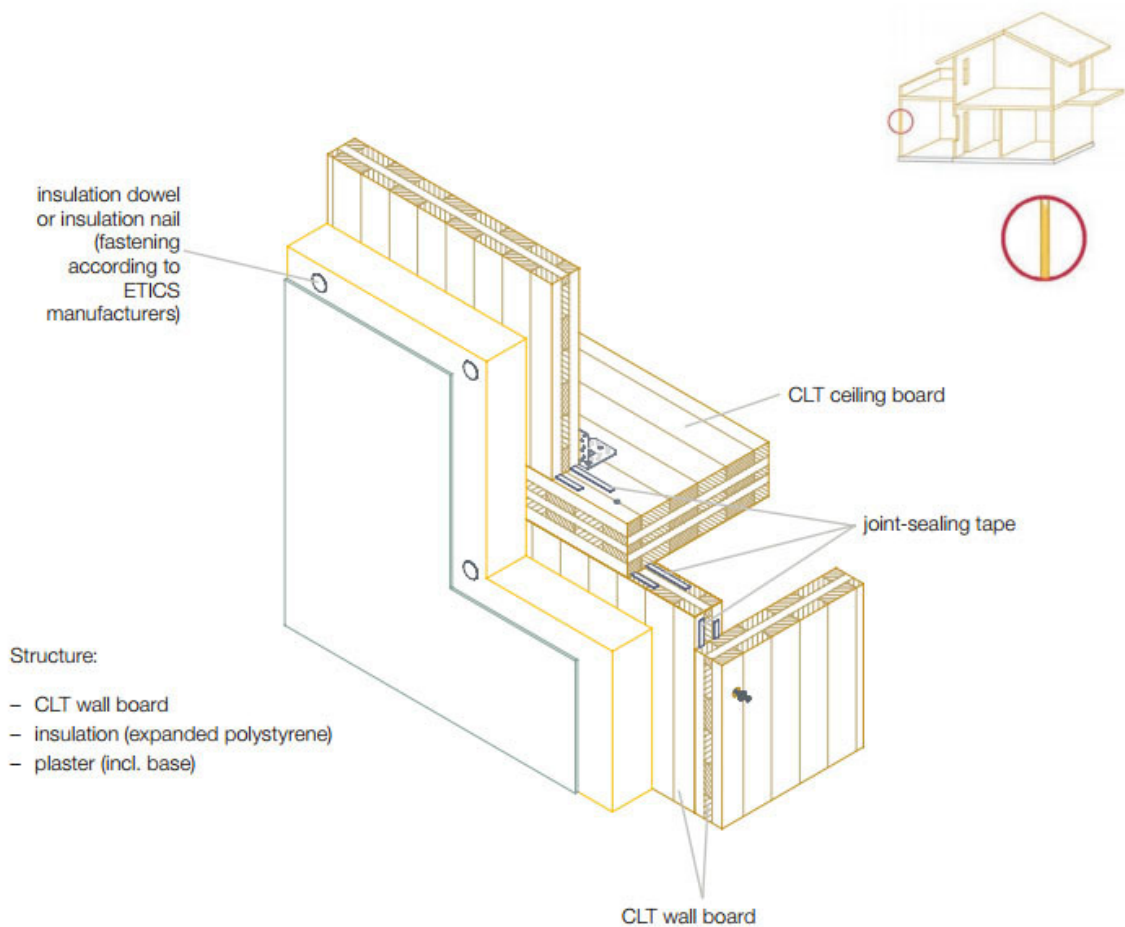
Kuva 52 Vaipparakenne puhalluseristeellä [57]

EPS/XPS –eristystä käytettäessä rakenne on teknisesti yksinkertainen. Sisältä päin tarkasteltaessa kerrokset ovat kantava CLT –elementti, EPS/XPS –eriste ja julkisivurakaus. [33]

Eristeen asennus CLT –elementtiin tapahtuu eristysnauloilla tai eristysruuveilla, joissa on rakenteen sitova hattu kannassa. Rappaus suoritetaan kyseisen eristeen pintaan ilman erillisiä rakennekerroksia tai tuuletusrakojia. [33]

XPS –eristettä käytettäessä tulee ottaa kriittisesti huomioon sen soveltuvuus puurakentamiseen sen ympäristövaikutusten takia. Myös eristeen ääneneristämisen kyvyissä on omat puutteensa, jotka tulisi ottaa huomioon. Kyseinen eriste ei myöskään läpäise ilmaa

tai kosteutta itsensä lävitse ja tämä tulee ottaa huomioon rakenteen rakennusfysikaalisia ominaisuuksia arvioitaessa. Kuvassa 53 havainnollistetaan rakennetta. [33]



Kuva 53 Vaipparakenne EPS-levyllä [57]

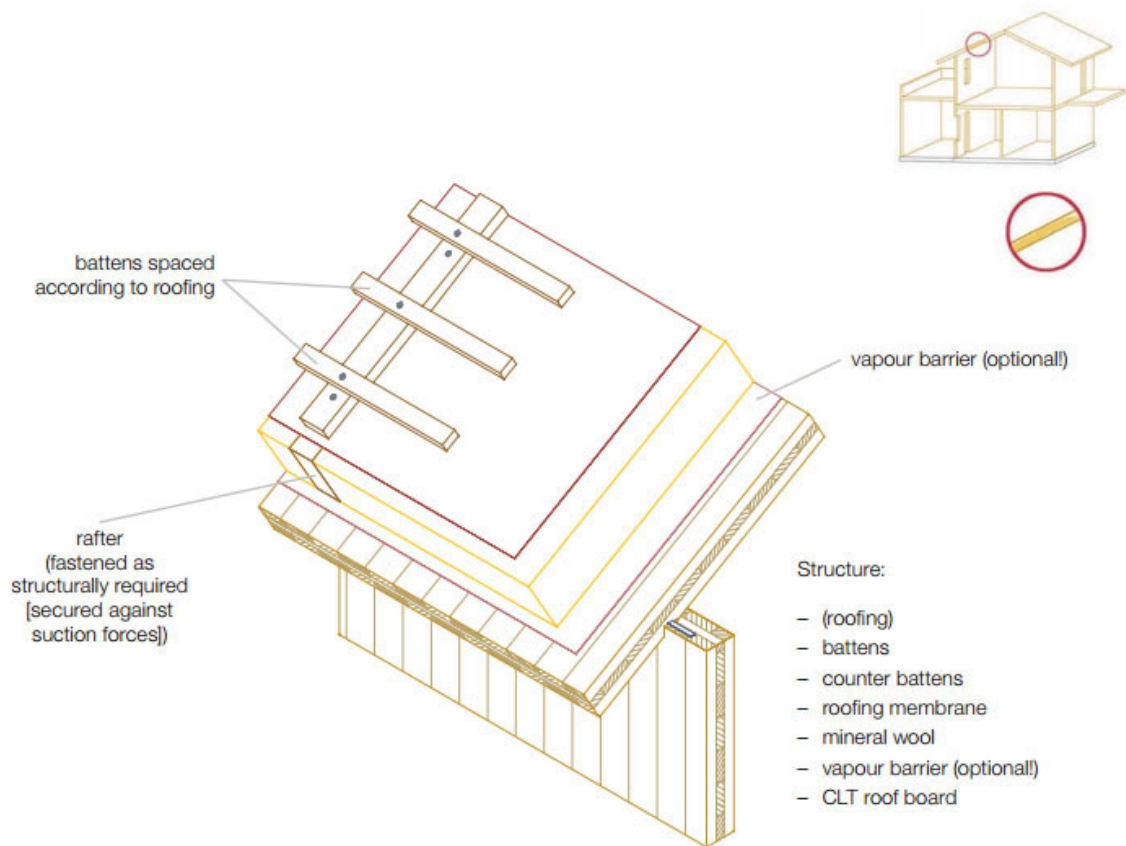
4.4.2 Yläpohjan eristäminen

CLT -elementistä valmistettuihin yläpohjiin Stora Enso tarjoaa rakennemalleja neljä kappaletta lappeellisiin kattoratkaisuihin ja yhden tasakattosovelluksen. Käytettävät eristeet esimerkeissä ovat mineraalivilla, kuitulevy, selluloosa ja PUR/XPS -eriste. [33]

Mineraalivillalla eristettäessä CLT -elementin päälle on mahdollista laittaa höyrynsulku mikäli näin halutaan tehdä. Tämä ei ole Stora Enson ratkaisussa välttämätöntä. Mutta rakenteen toimivuus tulee tarkastella rakennusfysikaalisella tasolla, että tämä on mahdollista. [33]

Käytettävä mineraalivilla tulee katolle asennettavien kannattimien väliin ja kannattimen korkeuden tulee olla yhtä suuri asennettavan villakerroksen kanssa. Seuraavaan kerrokseen asennettava aluskate kattaa allensa kaikki alemmat rakenteet ja se kiinnitetään kattorakenteeseen lämmöneristeen koolauksen kanssa samaan linjaan, jotta rakenne säilyisi

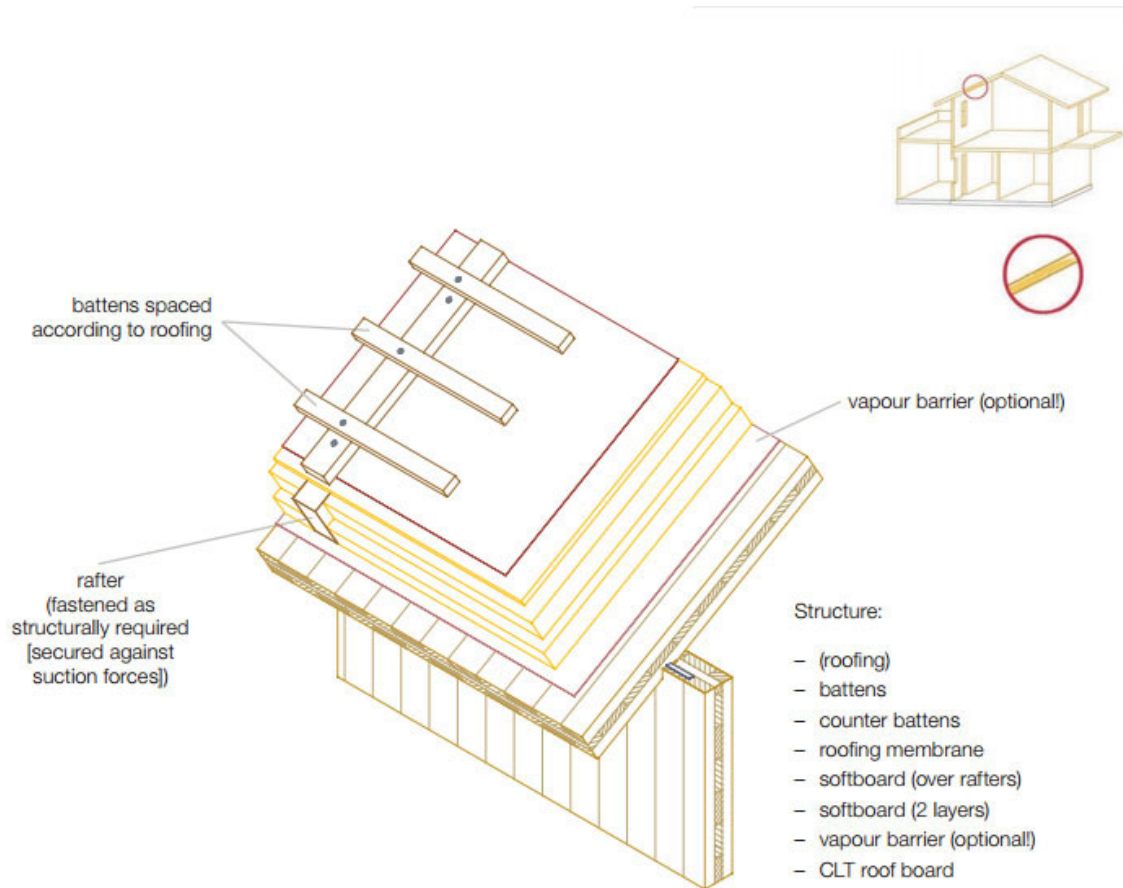
jäykkänä. Katon pintamateriaali ratkaisee kuinka, tuulensuojalevyn yläpuolelle asennetaan lisäkoolauksia. Kuvassa 54 havainnollistetaan rakennetta. [33]



Kuva 54 Yläpohjarakenne mineraalivillalla [57]

Puukuitulevyllä tehtävä katto kattorakenne poikkeaa vain vähäisen mineraalivillalla eristettäessä. CLT -elementin pintaan ei välttämättä tarvitse asentaa höyrynsulkuja. Mutta tämä tulee varmistaa rakenteen rakennusfysikaalisella tarkastelulla, jotta kosteus ei aiheuta ongelmia rakenteissa. [33]

Eristeenä käytettävä kuitulevy asennetaan kahdessa kerroksessa katolle asennettavien kannattimien väliin. Kolmas kerros kuitulevyä asennetaan kahden aikaisemman eriste-kerroksen ja kannatinpalkin päälle. Kolmannen kerroksen kiinnitys tapahtuu koolaamalla alemmassa rakennekerroksessa sijaitsevan koolauksen linjassa rakenteen lujuuden varmistamiseksi. Katon lopullinen pintamateriaali määrittelee tässäkin tapauksessa sen, kuinka monta apukoolausta rakenne tarvitsee. Kuvassa 55 havainnollistetaan rakennetta. [33]

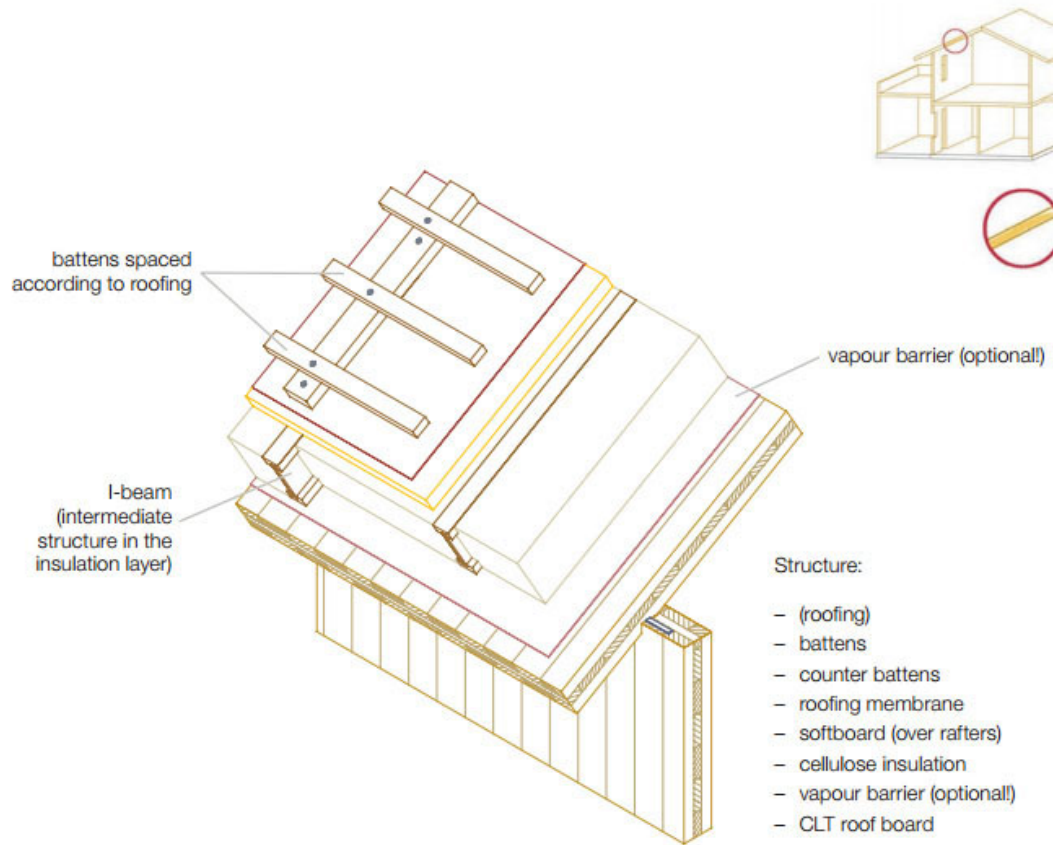


Kuva 55 Yläpohjarakenne puukuitulevyllä [57]

Selluloosaeristetyssä yläpohjassa rakenneratkaisut poikkeavat edellisistä. CLT -elementin yläpuolelle ei tässäkään rakennetyypissä ole välttämätöntä käyttää höyrynsulkuu, mikäli se rakennusfysikaalisen tarkastelun valossa on mahdollista jättää pois. [33]

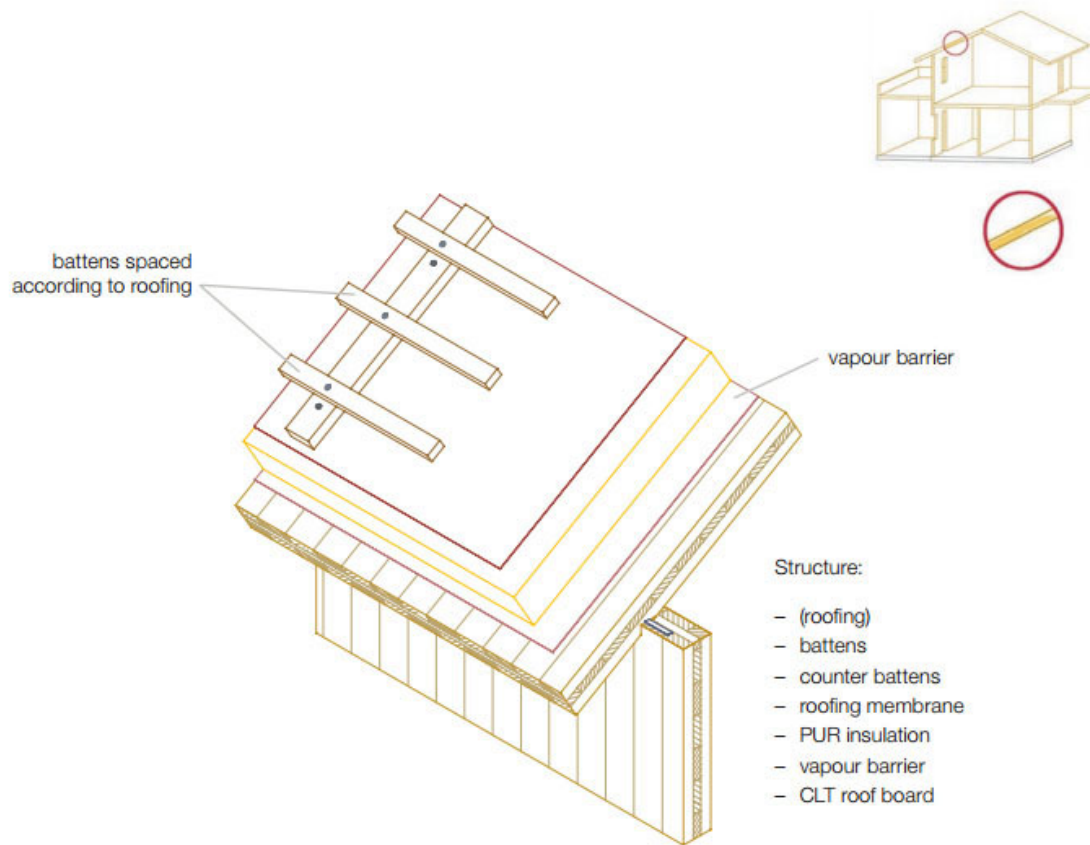
Selluloosaa eristeenä käytettäessä tulee eristeelle rakentaa tila, johon irtonainen eriste voidaan puhaltaa. CLT -elementin päälle asennetaan esivalmistetut I-profiilit, joiden päälle asennetaan tuulensuojalevy, joka kiinnitetään koolauksella I-profiileihin. Kun rakenteen reunat ovat tiiviit, voidaan eriste puhaltaa ylhäältä päin, rakennettuun kennon täytteeksi. Tuulensuojalevyn päälle tulee asentaa aluskate, jonka päälle asennetaan tarvittavat koolaukset riippuen käytettävästä kattopinnoitteesta. [33]

Käytetyssä kattorakenteessa voidaan myös käyttää muitakin puhallettavia eristeitä kuten ekovillaa tai puhallusvillaa. Kuvassa 56 havainnollistetaan rakennetta. [33]



Kuva 56 Yläpohjarakenne selluloosalla [57]

XPS/PUR -eriste on rakenteellisesti yksinkertainen. Ominaisuuksiensa johdosta XPS/PUR -eristettä käytettäessä CLT -elementin pintaan tulee aina asentaa höyrynsulku. Eriste itsessään voidaan asentaa ilman erillisiä apurunkoja eikä eristeen päälle tarvitse asentaa erillistä tuulensuojalevyä tai vastaavaa. Pälle asennetaan vain aluskate ja tarvittavat koolaukset käytettävästä kattomateriaalista riippuen. Kuvassa 57 havainnollistetaan rakennetta. [33]

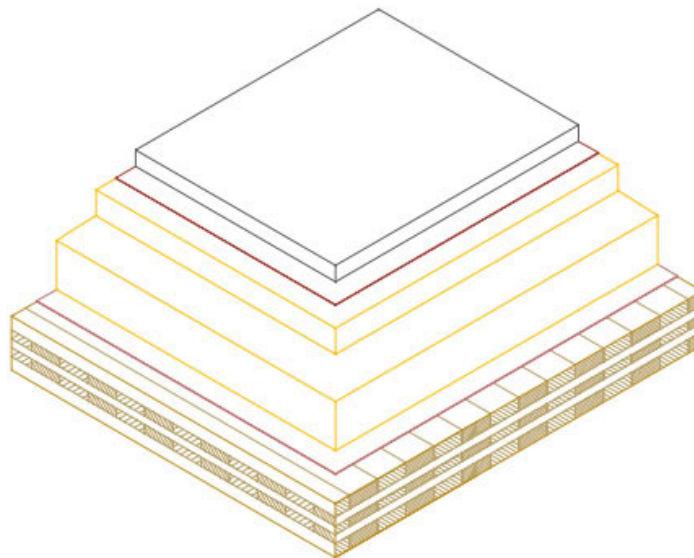
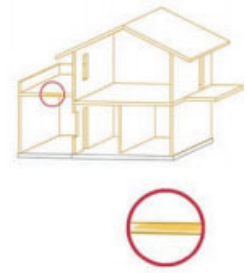


Kuva 57 Yläpohjarakenne PUR-levyllä [57]

Tasakattoratkaisussa voidaan soveltaa edellisiä eristeitä niiden puristuslujuuden sen salliessa. Tasakattoja varten on olemassa omat eristeensä, jotka pitävät muotonsa huomattavasti paremmin puristuksessa. Tasakattoeristeenä käytetään yleisimmin mineraalivillaa. Eristekerrokset voivat vaihdella tuoteperheittäin halutuista ominaisuuksista riippuen. Lämmöneristeen päälle Stora Enso ehdottaa EPS -pohjaista eristettä ja tämän pintaan asennettaisiin aluskate. Halutun kattopinnoitteen mukaan määräytyvät rakennekerrokset tästä ulospäin. Kuvassa 58 havainnollistetaan rakennetta. [35, 33]

Structure:

- fill (gravel)
- roofing membrane
- tapered insulation (EPS)
- mineral wool
- bitumen sheet
- CLT roof board



Kuva 58 Tasakattoinen yläpohja EPS-eristeellä [57]

4.5 Kiinnikkeet

CLT-elementtien kiinnitystekniikka on vapaasti valittavissa markkinoilla olevista vaihtoehdoista. Luvussa 4.3 esitetyt liitokset voidaan toteuttaa tässä luvussa esiteltävillä ratkaisulla.

Saksalainen Sherpa on esitellyt CLT-elementtien kiinnittämiseen universaalien, CLT-Connector, ruuvipohjaisen menetelmän. Tässä menetelmässä toiseen liitettävään CLT-elementtiin on jyrstetty kiinnikkeen kokoinen hahlo, johon kiinnike asetetaan. Elementtien välinen kiinnittyminen tapahtuu 45° kulmaan ruuvattavien kiinnitysruuvien avulla ja kyseinen menetelmä sopii valmistajan mukaan kaikkiin eniten käytettyihin liitospauksiin. Kiinnike esitetty kuvassa 59. [58]



Kuva 59 *Sherpa [58]*

Turkkilainen TeknoWood on kehittänyt Fix CLT Fitting kiinnitysjärjestelmän, jossa kiinnitys perustuu vastakappaleeseen ankkuroitumalla kierretangolla. Kiinnikkeen vastakappaleen sijoittelussa tulee ottaa huomioon asettelu elementin rakenteeseen nähden, jotta kiinnikkeen puristuslujuuskestävyys on riittävä. Tässä pyritään rakenteen keskeisyyteen, joka takaa voimien jakautumisen symmetrisesti puristusta saaviin lamelleihin. Kyseinen kiinnitysmekanismi ei ole kokonaan uusi mutta ensimmäinen sovellus sellaisenaan CLT-elementtejä varten. Kiinnike soveltuu tiiviiden kulmaliitosten sekä väliseinäliitosten tekemiseen. Kiinnike esitetty kuvassa 60. [59]



Kuva 60 *TeknoWood [59]*

Italialainen X-RAD on kehittänyt kiinnitysjärjestelmän, jossa on lukuisia erilaisia kiinnitys komponentteja riippuen halutusta liitoksesta. Tuoteperheestä löytyy liitostarvikkeet alapohjaliitoksista aina yläpohjaan asti. Tuotteen idea on vakioida CLT-elementtiin tehtaalla asennettavan osan vakioiminen ja erikseen olevat liitospappaleet sitten määri-

tellään halutun liitostyyppin perusteella. Kyseisen kiinniketyypin etu on se, että työmaalla suoritettu liian suuri kiristäminen ei vahingoita asennettavaa elementtiä, eikä näin ollen vaaranna asennustyön etenemistä työmaalla tehdyn virheen johdosta. Kiinnike esitetty kuvassa 61. [60]



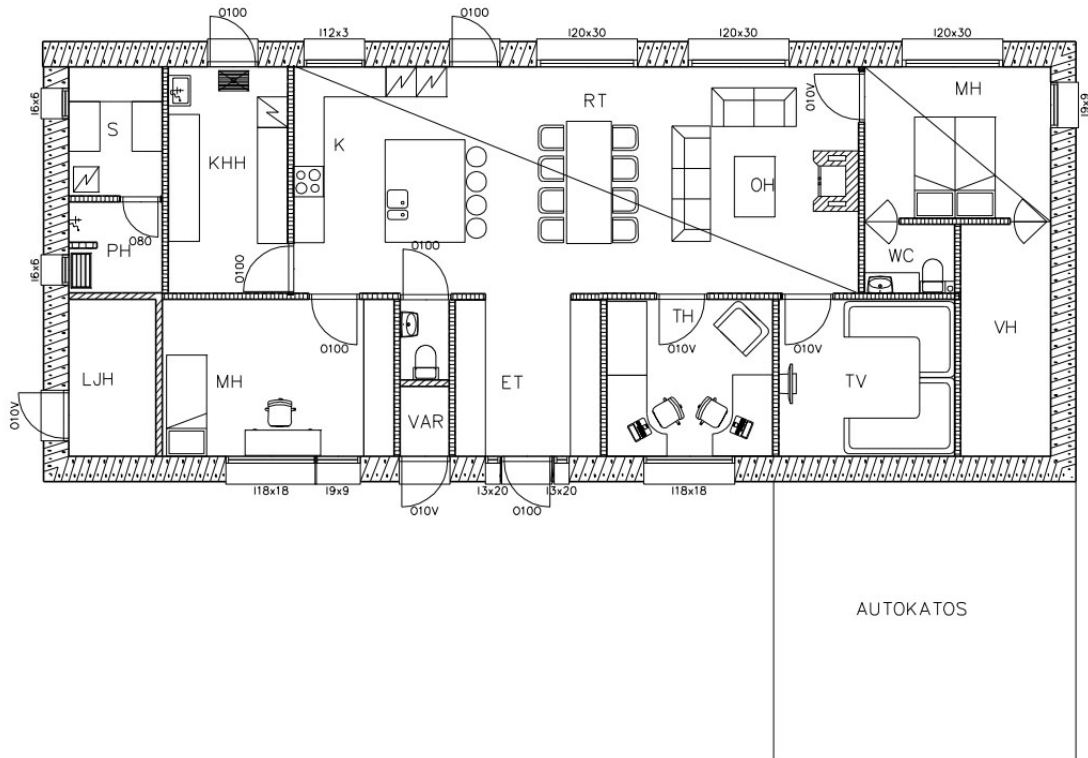
Kuva 61 X-RAD [60]

5 ESIMERKKITARKASTELU

Tässä luvussa esimerkkitarkasteluna mitoitetaan talohanke Villa Salvanska, jossa rakennusalaltaan 189m² mitoitetaan CLT-elementeistä rakennettavaksi ja tarkastellaan, kuinka tämä toteutetaan. Tarkastelussa jätetään huomioimatta askeläänien osalta tapahtuva siirtymä, koska CLT elementti tarvitsisi välipohjana toimiakseen merkittävän valun massan kasvattamiseksi, jotta akustiikka paranisi yleisesti käytettyihin alapohjiin tai välipohjiin verrattaessa.

Tapaustarkastelussa mitoitetaan rakennuksen poikkileikkauksen kantavat pystyrakenteet ja yläpohja rakennusteknisten lujuuksien ja lämpöteknisten ominaisuuksien osalta vaadittavat arvot. Ensin tarkastellaan rakenteen vaatima vahvuus kantavissa osissa ja tämän jälkeen mitoitetaan jäljellä olevan lisäeristämisen tarve, jotta U-arvo saavuttaa vaaditun minimin. Tehtävät tarkastelut suoritetaan tässä työssä esitellyillä mitoitustyökaluilla ja käytännön sovelluksissa hyödynnetään esitettyjä ratkaisumalleja.

Esimerkki tarkastelussa käytettävä kohde, Villa Salvanska, on kantavien linjojen osalta 21 m pitkä, 9m leveä, matalammalta lappeelta 3m korkea sekä korkeammalta lappeelta 4,5 m korkea. Korkeammalla sivulla on kolme kappaletta ikkunoita, joiden moduuliko on 20x30, ja ikkunapalkin korkeus on 1,4m ja leveys 2m. Rakennuksen pohjapiirustus on esitetty kuvassa 62.



Kuva 62 Suunnitellun esimerkkikohteen ”Villa Salvanska” pohjapiirustus

5.1 Kantavien rakenteiden mitoitus

Kantavien rakenteiden mitoitus aloitetaan yläpohjan mitoittamisesta, jotta saadaan tarvittavat kuorma seinän mitoittamiseen. Työkaluna mitoittamisessa käytetään työssä esiteltyä ja kaikille avointa suunnitteluohjelmistoa, CLT Calculatista. Mitoittamisesta saadut laskelmat löytyvät diplomityön osiosta; Liitteet.

Yläpohjan mitoituksessa käytettiin yksiaukkoista palkkia, jossa oli 600 mm pituudelta kantavaa vesikattoa. Rakenteen tukien etäisyys oli 9 m. Rakenteeseen kohdistuu pysyvänä kuormana rakenteen omapaino sekä hyötykuorma mitoittavasta lumikuormasta. Lumikuorma tarkasteltiin tampereen sijainnilla eli $2,5 \text{ kN/m}^2$ Kuormitusyhdistelmistä tehtävät tarkastelut suoritettiin Calculatiksella ja se antoi yleisesti tunnetuista CLT taulukoista kolme parasta tulosta mitoitukselle. Materiaalina CLT mitoituksessa käytettiin C24 luokiteltua puuta.

Villa Salvanskalle kolme parasta mitoitettua profiilia olivat: CLT 260 L7s - 2 jonka mitoittava käyttöaste oli 91%, CLT 280 L7s-2 jonka mitoittava käyttöaste oli 78% ja CLT 300 L8s jonka mitoittava käyttöaste oli 64%. Koska kyseessä on teoreettinen tarkastelu, valittiin jatkotarkasteluun CLT 260 L7s - 2.

Yläpohjan mitoituksessa kriittinen muuttuja oli alustava taipuma keskiaukossa, joka oli 91% sallitusta. Lopullinen nettotaipuma oli 58% sallitusta. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Vaippaa mitoittaessa huomioitiin siihen kohdistuva jatkuva kuorma yläpohjasta, joka oli 23,66 kN/m ja tuulikuormana vaippaa vasten karakteristisesti 0,45 kN/m², kun kyyseessä on alle 8,7 m korkea rakennus. Seinärakenteen omapainoa ei mitoituksessa otettu huomioon sen pienestä vaikutuksesta johtuen. Calculatis ei anna seinää mitoittaessa vaihtoehtoisia kokoja vaan tiedon siitä, että rakenne joko läpäisee tarkastelun tai ei.

Yleisesti tunnetuista CLT-elementeistä hoikin, joka täytti vaatimukset, oli CLT 120 C5s ja mitoittavana tekijänä oli mitoitus lommahdukselle, jonka se läpäisi 56% käyttöasteella. Pykälän hoikempi, CLT 100 C5s, ylitti käyttöasteen 102%:n arvolla.

5.2 Lämpötekkinen mitoitus

Lämpötekkinisiä ominaisuuksia mitoittaessa tehtiin vain rakenteen U-arvon tarkastelu. Rakennuslupa vaadittavaa energiataarkastelua ei tämän opinnäytteen tiedoilla kyetä määrittämään. Kansalliset raja-arvot rakenteen U-arvoille on annettu työssä aikaisemmin ja ne olivat yläpohjalle 0,09 W/m²K ja vaipalle 0,17 W/m²K.

Rakenteen lämpötekkinisten ominaisuuksien tarkastelu tehtiin CLT Calculatis mitoitusohjelmalla, josta löytyy vakiokirjasto yleisimmistä käytetyistä rakennusmateriaaleista sekä eristeistä.

Yläpohjan tarkastelussa CLT:n vahvuus oli vakio, eli 260mm ja eristeen vahvuutta kasvattamalla tunnetuilla vakio eristevahvuuksilla kasvoi rakennevahvuus. Eristeenä tarkastelussa käytettiin puupohjaista Hunton puukuitulevyä, jonka lämmönjohtavuus on 0,038W/mK. CLT:n lämmönjohtavuusarvo tarkastelussa on 0,13 W/m²K.

Yläpohjan rakenne täytti lainsäädännön asettaman rajan, 0,09 W/m²K, kun 260 mm vahvan CLT-elementin päällä oli 350 mm puukuitulevyä eristeenä. Tällöin rakenteen U-arvo oli 0,088 W/m²K, joka alittaa raja-arvon 0,002 W/m²K. Tällä rakenteen kokoonpanolla vahvuudeksi saatiin 610 mm.

Vaipparakenteen tarkastelussa CLT:n vahvuus, 120 mm, oli myös vakioitu kantavuudesta johtuen ja muuttujana toimi eristeenä toimivan rakenteen, puukuitulevyn, vahvuus. Lämmöneristeen vahvuutta tuli kasvattaa vakiovahvuuksien avulla 200 m vahvuuteen, jotta U-arvon raja täytettiin arvolla 0,159, joka alittaa rajan 0,011 W/m²K:llä. Tällä rakenteen kokoonpanolla vahvuudeksi saatiin 320 mm.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET SEKÄ POHDINTA

Työstä saatujen tietojen ja havaintojen perusteella voidaan todeta, että CLT-elementeillä on mahdollista toteuttaa toimivia rakenteita kilpailemaan perinteisille tolpparunkoisille ja kivirunkoisille pientaloille. CLT mahdollistaa huomattavasti monipuolisemman arkkitehtuurisen muokattavuuden elementtirakenteensa johdosta. Pintojen aukottaminen ja haastavammat ulokkeelliset muodot on mahdollista toteuttaa yksinkertaisin keinoin.

Yleistä soveltuvuutta erilaisiin rakenneratkaisuihin täytyy tarkastella tapauskohtaisesti. CLT-elementeissä on heikkoutena niiden askelääniominaisuudet, jotka rajoittavat käyttöä välipohjarakenteissa. CLT on tiheydeltään harvaa verrattaessa betoniin ja näin ollen se on kopinalle altistuvaksi kantavaksi rakenteeksi heikompi vaihtoehto. Asiaa on yritetty parantaa tekemällä liittorakenteita, joissa elementin päälle valetaan laatta tuomaan massaa rakenteeseen ja näin parantamaan sen akustisia ominaisuuksia.

Suomeen avattiin pohjoismaiden ensimmäinen CLT-elementtitehdas Kuhmoon tammi-kuussa 2015. Sen avasi yritys nimeltä Oy CrossLam Kuhmo Ltd ja sen tavoitteena on pyrkiä kasvattamaan tuotantoaan Suomessa lähivuosina ja tarjota kotimaan markkinoille paikallisesti tuotettua CLT-elementtiä Itävallasta tuotetun sijasta. Raaka-ainetta Suomesta löytyy runsaasti ja tämän rakennusmateriaalin yleistymisen tulisi myös luomaan uusia työpaikkoja Suomeen. Mahdollisuudet olisivat, vaikka kuinka kattavat vieniäkin ajatellen.

Rakennusmateriaalina CLT ei ole kovinkaan vanha, joten tulevaisuudessa siitä tullaan näkemään varmasti runsaammin tarjontaa kuluttajasektorissa talopakettien muodossa, sekä normaalina asuntotuotantona. Yksi suurista laajentumisen hidasteista on rakennusmateriaalin tuntemattomuus kuluttajien ja suunnittelijoiden keskuudessa.

Rakennuskustannuksien arviointi on tärkeä osa kokonaisuutta, kun CLT:tä verrataan muihin perinteisiin rakennusmateriaaleihin. Tällä hetkellä, kun tarkoituksena on saada uutta konseptia markkinoille, tapahtuu houkuttelu myös hinnan avulla ja tämä saattaa vääristää toistaiseksi hintakilpailua tolpparunkoiseen tai kivirunkoiseen taloon verrattuna.

Eriyistä mielenkiintoa CLT saa osakseen sen rakennusfysikaalisista ominaisuuksista johtuen. CLT-rakennetta ei tarvitse erikseen varustaa muovisella höyrynsululla samalla tavalla kuin perinteistä tolpparunkoa. Tämä poistaa yhden mahdollisen vauriomekanis-

min, mikä tällä hetkellä vaivaa tolpparunkoisia taloja, joissa vaipparakenteessa saattaa olla virheellisesti asennettuja höyrynsulkuja. Puurunko yhdessä puupohjaisen eristeen, esimerkiksi Hunton, kanssa muodostavat ympäristöystävällisen ja ekologisesti kestävä rakenteen.

7 YHTEENVETO

Tässä diplomityötutkimuksessa selvitettiin CLT-rakenteiden ja -rakennusten teknisiä ominaisuuksia sekä käytiin läpi erilaisia tuotteita, joita CLT:stä valmistetaan. Työssä esiteltiin CLT-paneelien ja -elementtien valmistukseen liittyvää tuotantotekniikkaa sekä käytiin läpi tuotantoprosessia yleisellä tasolla ilman tehdaskohtaista erikoistumista. Työssä myös selvitettiin CLT-elementin nykyisiä käyttökohteita.

Työssä esiteltiin CLT-elementin lyhyttä historiaa ja sitä, kuinka se rantautui Pohjoismaihin, sekä tuotteen syntyä ja varhaista leviämistä Keski-Eurooppaan sekä Pohjois-Amerikkaan.

CLT-elementin ominaisuuksista käytiin lävitse rakenne-, lujuus-, palotekniset-, lämpötekniset-, kosteustekniset-, akustiset- sekä ekologiset ominaisuudet. Kustakin ominaisuudesta tuotiin esiin hyviä sekä huonoja puolia objektiivisen tarkastelun aikaan saamiseksi.

Rakennusteknisten sovellusten osalta työssä perehdyttiin mitoittamiseen, muokattavuuteen, liitoksiin, eristämiseen sekä kiinnikkeisiin. Mitoittamisessa käytiin lävitse yleiset mitoittamisen periaatteet sekä tarkemmin vaaka- ja pystyrakenteet sekä alapohjan liitospinnat. Muokattavuudessa esiteltiin CrossLam:n tuotannon käyttämät työstömahdollisuudet. Liitoksissa esiteltiin yleisimmät liitosperiaatteet alapohjan ja vaipan liitoksesta aina harjaan asti tehtävistä liitoksista. Eristämisessä esitettiin vaipan ja yläpohjan yleisesti tunnettujen eristeiden rakennemallit ja toteutusmuodot. Kiinnikkeet ovat CLT:n osalta todella tuoreita sovelluksia ja sen johdosta esiteltiin kolme keskenään hyvin erilaista kiinnitysratkaisua. Lisää sovelluksia on oletettavasti tulossa tulevaisuudessa.

Esimerkkitarkastelussa suoritettiin Villa Salvanska nimiselle rakennushankkeelle yläpohjan ja seinän lujuuslaskennat sekä U-arvojen tarkastelu nykyisin voimassa olevien määräysten mukaisesti. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että CLT-elementit ovat potentiaalinen runkoratkaisu pientaloille.

Työssä lopuksi pohdittiin CLT:n tulevaisuutta Suomalaisessa rakentamiskulttuurissa. CLT:n käyttö on kasvamassa ja markkinoiden laajentaminen helpottuu käyttökokemuksen kasvaessa.

LÄHDELUETTELO

- 1) <http://www.puurakentajat.fi/suunnittelijoille/> 6.3.2016
- 2) Puuinfo. 2011. CLT Ristiinliimattu massiivipuu [Online]. Saatavissa (Viitattu 17.4.2016): <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>
- 3) greenspec. 2017. Crosslam timber / CLT – A brief history [Online]. Available at: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-history-and-production/> [accessed 19.10.2016]
- 4) NC State University. 2017. History of CLT [Online]. Available at: <https://research.cnr.ncsu.edu/blogs/clt-panels/history-of-cross-laminated-timber/> [accessed 19.10.2016]
- 5) Smartlam. 2016. The history of cross laminated timber [Online]. Available at: <http://smartlam.com/about-clt/history/> [accessed 20.10.2016]
- 6) greenspec. 2017. Crosslam timber / CLT: Manufacturing process [Online]. Available at: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/cross-laminated-timber-manufacturing-process/> [accessed 20.10.2016]
- 7) Kemin Digipolis Oy. 2014. CLT-Raakalevyn valmistus [Online]. Saatavissa (Viitattu 20.10.2016): <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raakalevy-info-4.4.14-pak.pdf>
- 8) Puuinfo. 2011. CLT Ristiinliimattu massiivipuu [Online]. Saatavissa (Viitattu 17.4.2016): <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>
- 9) Stora Enso. 2012. Tekniset sovellukset [Online]. Saatavissa (Viitattu 20.4.2016): <http://www.clt.info/fi/media-ladattavat/hyvaksynnat-ja-dokumentit/tekniset-sovellukset/>

- 10) Puuinfo. 2011. Yleisimmät rakennejärjestelmät [Online]. Saatavissa (Viitattu 21.10.2016): <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>
- 11) Puuinfo. 2016. Suomen luontokeskus Haltia ensimmäinen CLT-puuelementtitekniikalla toteutettu julkisrakennus Suomessa [Online]. Saatavissa (Viitattu 21.10.2016): <http://www.puuinfo.fi/tiedote/suomen-luontokeskus-haltia-ensimm%C3%A4inen-clt-puuelementtitekniikalla-toteutettu-julkisrakennus>
- 12) Stora Enso. 2016. Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali [Online]. Saatavissa (Viitattu 21.10.2016): [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)
- 13) Brandner. R. 2013. Production an Thechnology of Cross Laminated Timber: A state-of-the-art Report [Online]. Available at: www.iom3.org/fileproxy/457425 [accessed 21.10.2016]
- 14) Kemin Digipolis Oy. 2016. CLT-koetalon pystytyksen kuvasarjat [Online]. Saatavissa (Viitattu 19.11.2016) <http://www.kiintopuu.fi/fi/tilannekatsaus/clt-koetalon-kuvasarjat.html>
- 15) Timberfirst. 2012. Where does cross-laminated timber come from and where is it going? [Online]. Available at: <https://timberfirst.wordpress.com/2012/08/08/where-does-cross-laminated-timber-come-from-and-where-is-it-going/> [accessed 19.11.2016]
- 16) Puurauhala Oy. 2016. Ensimmäiset clt-rakennukset toimitettu [Online]. Saatavissa (Viitattu 20.11.2016): <http://saunapihalle.fi/ajankohtaista/ensimmais-et-clt-rakennukset-toimitettu/>
- 17) Woodproducts. 2016. Yleisimmät rakennejärjestelmät [Online]. Saatavissa (Viitattu 20.11.2016): <http://www.woodproducts.fi/fi/content/yleisimmat-rakennejarjestelmat>
- 18) Midroc. 2016. Swede’s largest newly constructed building made of wood! [Online]. Available at: <http://mpd.midroc.se/en/about-mpd/references/limnologen> [accessed 20.11.2016]

- 19) Stora Enso. 2012. Building physics [Online]. Available at:
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Thermal-protection-EN.pdf>
[accessed 25.11.2016]
- 20) Ympäristöministeriö. 2010. RakMk C3 [Online]. Saatavissa:
https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/c3_2010.pdf
- 21) Digipolis Oy. 2012. CLT-rakenteiden rakennusfysikaalinen toimivuus [Online]. Saatavissa (Viitattu 3.12.2016):
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-roadshow-2012/Martti%20Mylly_CLT-rakenteiden%20rakennusfysikaalinen%20toimivuus.pdf
- 22) Autioniemi, Juha. 2014. Lapin ammattikorkeakoulu. CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraportti Q2/2014
- 23) Woodfocus Oy. 2016. Ääneneristys puutalossa [Online]. Saatavissa (Viitattu 4.12.2016):
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/ääneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>
- 24) OregonCLT. Natalie Sept. 2016. The Hidden Carbon Benefits of Cross Laminated Timber [Online]. Available at: <http://oregonclt.com/hidden-carbon-benefits-cross-laminated-timber/> [accessed 4.12.2016]
- 25) Puuinfo. 2016. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys [Online]. Saatavissa (Viitattu 4.12.2016): <http://www.puuinfo.fi/node/1505>
- 26) Puuinfo. 2016. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys [Online]. Saatavissa (Viitattu 4.12.2016): <http://www.puuinfo.fi/node/1505>
- 27) TriplePundit. 2016. The Hidden Carbon Benefits of Cross Laminated Timber [Online]. Available at: <http://www.triplepundit.com/2016/03/hidden-carbon-benefits-cross-laminated-timber/> [accessed 6.12.2016]
- 28) Puuinfo. 2009. RIL 205-1-009 Puurakenteiden suunnitteluohje.
- 29) Crosslam. 2016. CNC-työstöt [Online]. Saatavissa (Viitattu 6.12.2016):
http://www.crosslam.fi/media/pdf/osa-2_cnc-tyostot-korjattu.pdf
- 30) Weinig AG. 2016. An example of cross laminated timber – using WEINIG Concept system solutions [Online]. Available at:

<https://www.weinig.com/en/system-solutions/examples-of-applications-uses/cross-laminated-timber-clt.html> [accessed 8.12.2016]

- 31) Stora Enso. 2012. A Shell construction [Online]. Available at:
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Shell-construction-EN.pdf> [accessed 10.12.2016]
- 32) Stora Enso. 2012. Details [Online]. Available at: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Details-EN.pdf> [accessed 11.12.2016]
- 33) Stora Enso. 2012. Layer Structure [Online]. Available at:
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Layer-structure-EN.pdf> [accessed 11.12.2016]
- 34) RedBuilt. 2016. RED-I Joists [Online]. Available at:
<http://www.redbuilt.com/commercial-systems/i-joists> [accessed 13.12.2016]
- 35) Paroc. 2016. Loivat kattoratkaisut [Online]. Saatavissa (Viitattu 16.12.2016):
<http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/ratkaisut/rakennusten-eristaminen/uudisrakentaminen/katot-ja-ylapohjat/loivat-katot>
- 36) Hybrid Build Solutions. 2017. CLT: Cross Laminated Timber [Online]. Available at: <http://hybrid-build.co/solutions/clt/> [accessed 22.1.2017]
- 37) Puuinfo. 2012. Perustietoa CLT-levyistä [Online]. Available at:
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/clt_facts_fi.pdf [accessed 23.1.2017]
- 38) Stora Enso. 2012. Product information – surface quality [Online]. Available at:
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Surface-quality-EN.pdf> [Accessed 10.3.2016]
- 39) Weinig. 2017. Kuva Saatavissa (Viitattu 23.1.2017):
https://www.weinig.com/uploads/pics/Layout_Holzbau_04.jpg
- 40) Kallesoemachinery. 2017. Kuva. Saatavissa (Viitattu 24.1.2017):
http://kallesoemachinery.com/media/94545/combi_still_1.png
- 41) woodproducts. 2017. Kuva. Saatavissa (Viitattu 24.1.2017):
http://www.woodproducts.fi/sites/default/files/clt_jarjestelma_web.png

- 42) saunapihalle. 2017. Kuva. Saatavissa (Viitattu 24.1.2017):
<http://saunapihalle.fi/wp-content/uploads/2014/06/Louna-pihasauna-clt-lauteet2.jpg>
- 43) woodproducts. 2017. Kuva. Saatavissa (Viitattu 24.1.2017):
http://www.woodproducts.fi/sites/default/files/tilaelementti_web.png
- 44) YLE. 16.9.2011. Luontokeskus Haltia nousee Nuuksiin [Online]. Saatavissa (Viitattu 24.1.2017): <http://yle.fi/uutiset/3-5424330>
- 45) <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=57670a3dcbd5c29dc24c5bd9&assetKey=AS%3A374799705624576%401466370621243> (Viitattu 24.1.2017)
- 46) Smartlam. 2016. Kuva. Saatavissa (Viitattu 24.1.2017):
http://cdn2.hubspot.net/hubfs/299583/Blog/CLT_3.jpg
- 47) CrossLam. 2009. Kuhmo CLT lisäykset RIL205-1-2009
- 48) greenspec. 2016. Crosslam timber / CLT – Intermediate floor construction [Online]. Available at: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-intermediate-floors/> [accessed 26.1.2017]
- 49) Ympäristöministeriö. 1998. RakMk C1. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/data/normit/1917/c1.pdf>
- 50) Ympäristöministeriö. 1998. RakMk C2. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/data/normit/1918/c2.pdf>
- 51) Ympäristöministeriö. 1998. RakMk C5. Saatavissa:
- 52) Stora Enso. 2017. Calculatis by Stora Enso [Online]. Saatavissa (Viitattu 30.1.2016): <https://engineer.clt.info/>
- 53) Crosslam. 2015. Seinän nurjahduskestävyys [Online]. Saatavissa (Viitattu 29.1.2017): http://www.crosslam.fi/media/pdf/esimerkki_1_seina-cc-88n-nurjahduskesta-cc-88vyys.pdf
- 54) Crosslam. 2015. Jäykistävän seinän kestävyys [Online]. Saatavissa (Viitattu 30.1.2017): http://www.crosslam.fi/media/pdf/esimerkki_2_ja-cc-88ykista-cc-88va-cc-88n-seina-cc-88n-kesta-cc-88vyys.pdf

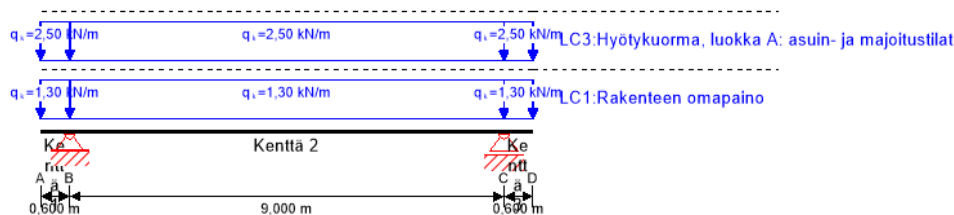
- 55) Crosslam. 2015. Aukkopalkin kestävyys [Online]. Saatavissa (Viitattu 30.1.2017): http://www.crosslam.fi/media/pdf/esimerkki_3_aukkopalkin-kesta-cc-88vyys.pdf
- 56) Crosslam. 2015. Tukipainekestävyys [Online]. Saatavissa (Viitattu 30.1.2017): http://www.crosslam.fi/media/pdf/esimerkki_5_tukipainekesta-cc-88vyys.pdf
- 57) Kauppinen Sirpa. 2017. Kuva. Saatavissa (Viitattu 30.1.2017): <http://www.sirpakauppinen.fi/sites/default/files/kuvat/CLT-hifistelya.jpg>
- 58) SHERPA. 2017. SHERPA Connection Systems [Online]. Available at: http://en.sherpa-connector.com/clt_connector [accessed 6.2.2017]
- 59) TeknoWood. 2017. TeknoWood Fix CLT [Online]. Available at: <http://www.teknowood.com.tr/en/pages/construction-techniques.html> [accessed 6.2.2017]
- 60) rothoblaas. 2017. X-RAD [Online]. Available at: <http://alt.rothoblaas.com/en/ro/news/x-rad.html> [accessed 6.2.2017]

LIITELUETTELO

LIITE 1, YP

LIITE 2, VAIPPA

Järjestelmä

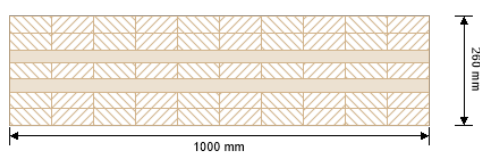


Maailmanlaajuinen käyttöaste

91 %

ULS	29 %	ULS Tulipalo	0 %	SLS	91 %	SLS Värähtely	0 %	Kannatus	-1 %
-----	------	--------------	-----	-----	------	---------------	-----	----------	------

Jakso: CLT 260 L7s - 2



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	40,0 mm	0°	C24 kuusi
2	40,0 mm	0°	C24 kuusi
3	30,0 mm	90°	C24 kuusi
4	40,0 mm	0°	C24 kuusi
5	30,0 mm	90°	C24 kuusi
6	40,0 mm	0°	C24 kuusi
7	40,0 mm	0°	C24 kuusi
t _{CLT}	260,0 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	460,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät

	Kuormaryhmä	Typ	Kesto aika	Kmod	γ _{inf}	γ _{sup}	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
LC1	Rakenteen omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC2	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC3	Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskkipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3

LC1:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuorimitus aluksi
	[kN/m]
1	1,30
2	1,30
3	1,30

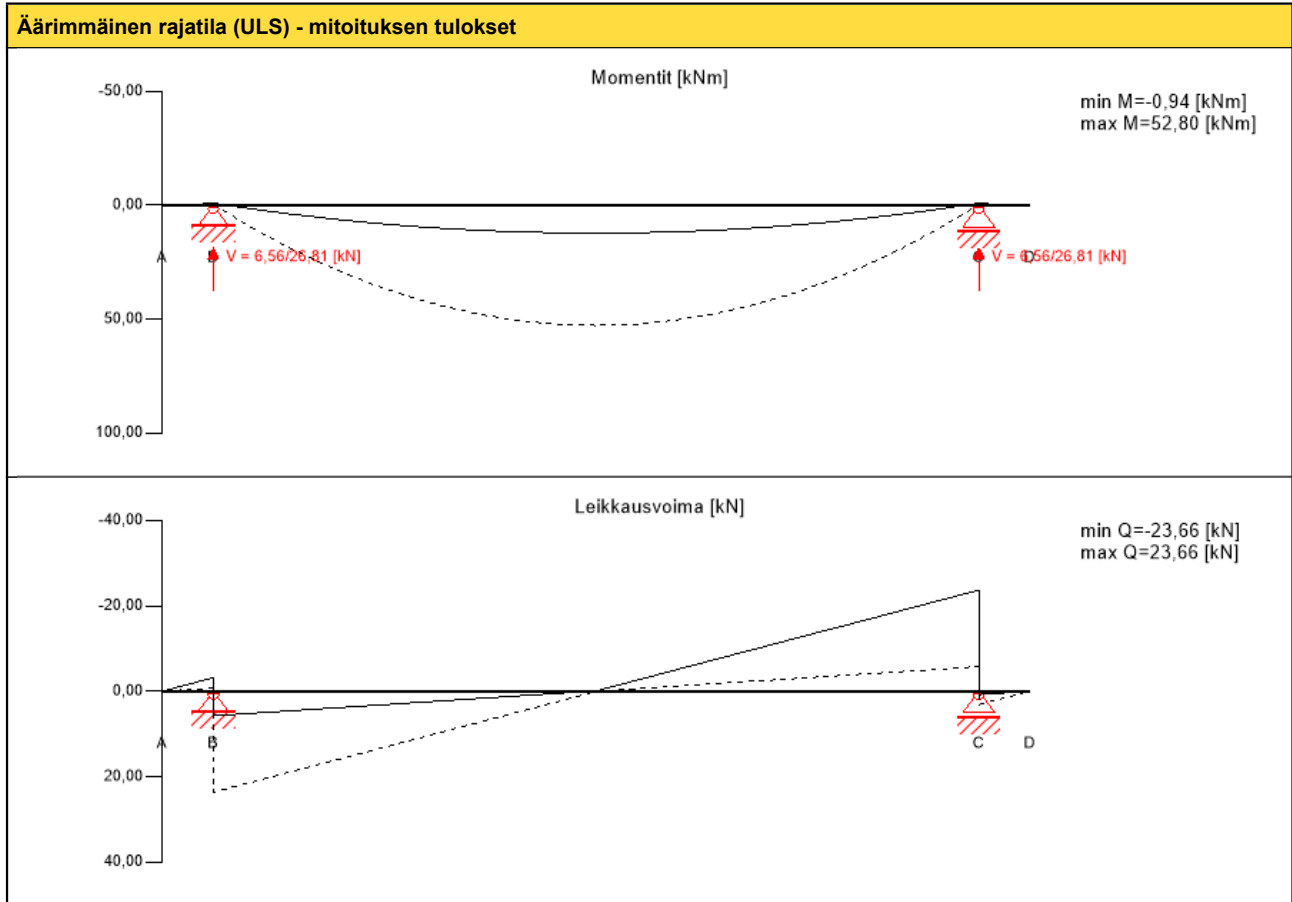
LC3:Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuorimitus aluksi
	[kN/m]
1	2,50
2	2,50
3	2,50

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

SLS Ominainen Yhdistelmä	
	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC2
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC2 + 1,00/0,00 * LC3

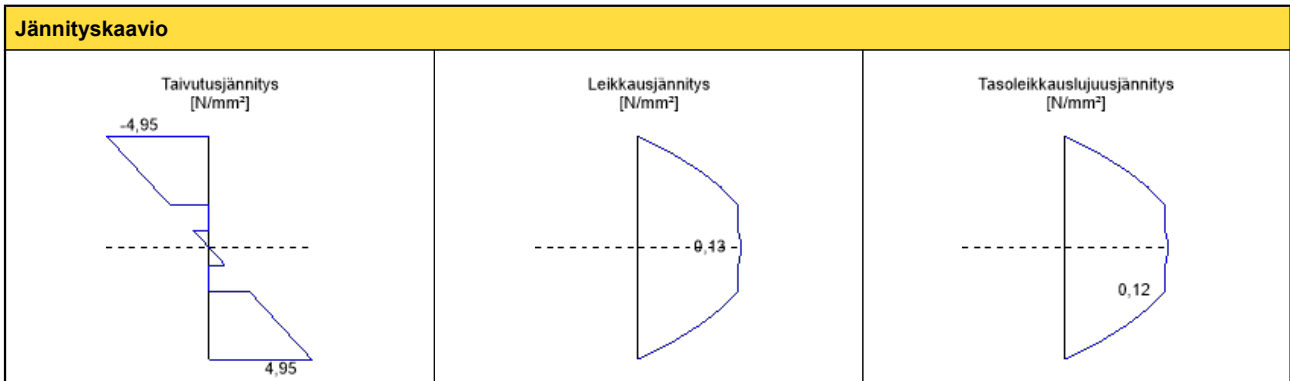
SLS Lähes pysyvä Yhdistelmä	
	Yhdistämissääntö
LCO3	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC2
LCO4	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/1,00 * LC2 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC3



ULS Taivutuksen mitoitus										
Kenttä	Etäisyys	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	$f_{m,d}$	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	[N/mm ²]		
1	0,6	24,00	1,25	0,80	1,10	16,90	-0,94	0,09	1 %	LCO2
2	4,5	24,00	1,25	0,80	1,10	16,90	52,80	4,95	29 %	LCO2
3	0,0	24,00	1,25	0,80	1,10	16,90	-0,94	0,09	1 %	LCO2

ULS Leikkausanalyysi										
Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{v,d}$	V_d	$T_{v,d}$	Suhde		
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]			
1	0,6	4,00	1,25	0,80	2,56	3,15	0,02	1 %	LCO2	
2	9,0	4,00	1,25	0,80	2,56	23,66	0,13	5 %	LCO2	
3	0,0	4,00	1,25	0,80	2,56	3,15	0,02	1 %	LCO2	

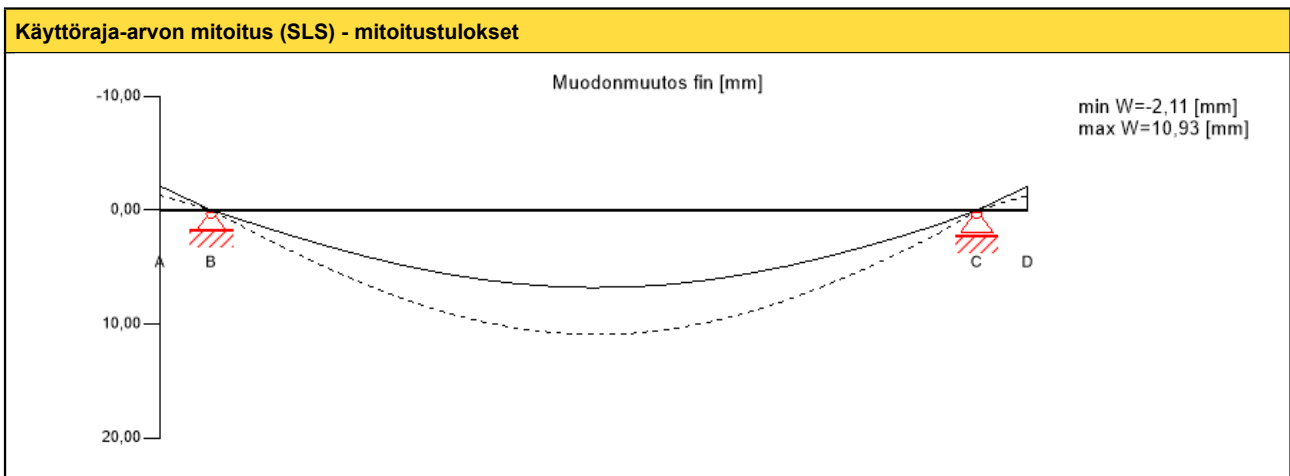
ULS Tasoleikkauslujuus									
Kenttä	Etäisyys [m]	$f_{r,k}$ [N/mm ²]	γ_m [-]	k_{mod} [-]	$f_{r,d}$ [N/mm ²]	V_d [kN]	$T_{r,d}$ [N/mm ²]	Suhde	
1	0,6	1,15	1,25	0,80	0,74	3,15	0,02	2 %	LCO2
2	9,0	1,15	1,25	0,80	0,74	23,66	0,12	17 %	LCO2
3	0,0	1,15	1,25	0,80	0,74	3,15	0,02	2 %	LCO2

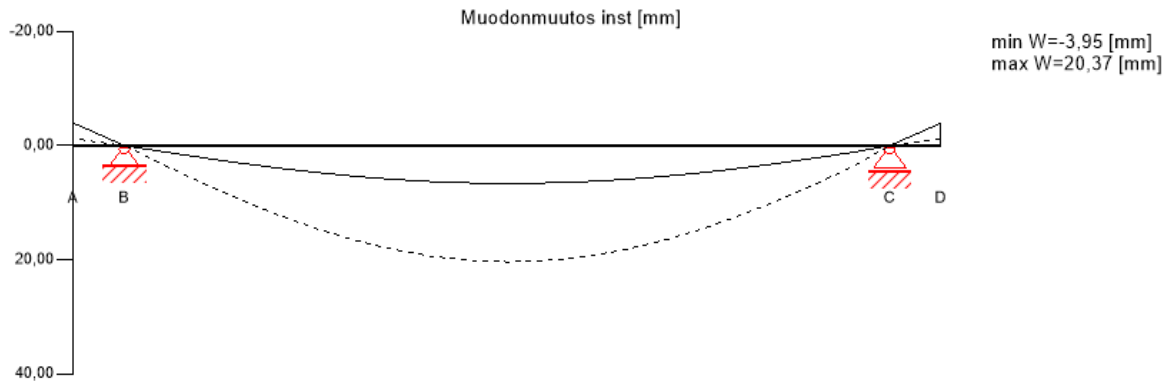


Taivutusjännitysanalyysi	
$M_d = 52,80$ kNm	$f_{m,k} = 24,00$ N/mm ²
	$\gamma_m = 1,25$
	$k_{mod} = 0,80$
	$k_{sys} = 1,10$
$\sigma_{m,d} = 4,95$ N/mm ² <	$f_{m,d} = 16,90$ N/mm ² ✓
Käyttöaste	29 %

Leikkausjännitysanalyysi	
$V_d = 23,66$ kN	$f_{v,k} = 4,00$ N/mm ²
	$\gamma_m = 1,25$
	$k_{mod} = 0,80$
$T_{v,d} = 0,13$ N/mm ² <	$f_{v,d} = 2,56$ N/mm ² ✓
Käyttöaste	5 %

Leikkauslujuusanalyysi	
$V_d = 23,66$ kN	$f_{r,k} = 1,15$ N/mm ²
	$\gamma_m = 1,25$
	$k_{mod} = 0,80$
$T_{r,d} = 0,12$ N/mm ² <	$f_{r,d} = 0,74$ N/mm ² ✓
Käyttöaste	17 %



Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset**Alustava poikkeama [$w_{omin.}$]**

Kenttä	Etäisyys [m]	Raja [-]	w_{limit} [mm]	$w_{calc.}$ [mm]	Suhde	
1	0,6	1/400	3,0	0,0	0 %	LCO1
2	4,5	1/400	22,5	20,4	91 %	LCO2
3	0,0	1/400	3,0	0,0	0 %	LCO1

Lopullinen taipuma [$w_{omin.} + w_{i.p.} * k_{def}$]

Kenttä	Etäisyys [m]	Raja [-]	w_{limit} [mm]	$w_{calc.}$ [mm]	Suhde	
1	0,6	1/200	6,0	0,0	0 %	LCO3
2	4,5	1/200	45,0	26,9	60 %	LCO4
3	0,0	1/200	6,0	0,0	0 %	LCO3

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

Kenttä	Etäisyys [m]	Raja [-]	w_{limit} [mm]	$w_{calc.}$ [mm]	Suhde	
1	0,6	1/300	4,0	0,0	0 %	LCO3
2	4,5	1/300	30,0	17,5	58 %	LCO4
3	0,0	1/300	4,0	0,0	0 %	LCO3

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	B_V	C_V
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	6,63	6,63
Omapaino	0,6	0,00	0,00
Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	0,8	12,80	12,80
		-0,05	-0,05

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
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Stora Enso CLT:n CLT-rakenteiden kantokyvyn ja eristemateriaalien kriteerien vahvistaminen
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus palokipsilevyjen murtuma-ajassa t_f ON B3410 mukaisesti ja kipsilevyjen DF-tyyppin EN 520 mukaisesti
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu – Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Paloturvallisuus puurakennuksissa - tekninen ohje Eurooppaan; julkaisija SP Ruotsin tekninen tutkimuslaitos
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - Kansalliset määritelmät liittyen ÖNORM EN 1995-1-2, kansalliset huomautukset ja kansalliset täydennykset luvussa 12
SFS EN 1995-1-2_NA	SFS EN 1995-1-2 - Suomi - Kansallinen liite - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu - Osa 1-2: Yleistä - Puurakenteiden palomitoitus - Kansalliset määritelmät liittyen SFS EN 1995-1-2, kansalliset kommentit ja kansalliset täydennykset
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Asiantuntemus tasoleikkauslujuudelle ja tasoleikkausmoduulille CLT-paneeleissa
ÖNORM EN 1995-1-1_NA, chapter 7.3	ÖNORM EN 1995-1-1- Itävalta - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu – Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, luku 7.3

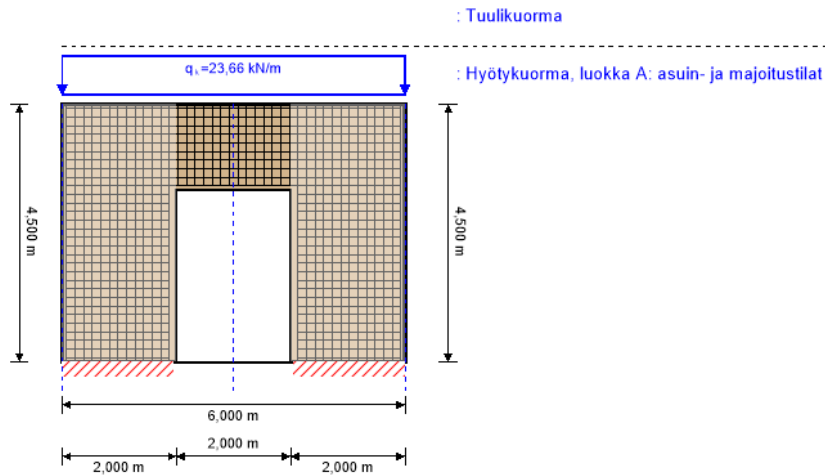
Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajajymmärrys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnittelun ja rakennusfysiikkaan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttäjä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulosten virheettömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon valmiiksi syötettyjä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta näitä otteita ei saa muokata.

Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa. Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksellisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin lueteltujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä.

Sovellettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Itävallan lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).

Järjestelmä

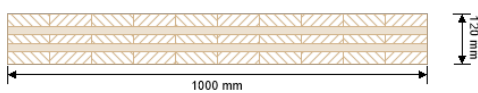


Maailmanlaajuinen käyttöaste

56 %

ULS	56 %	ULS Tulipalo	!	SLS	4 %
-----	------	--------------	---	-----	-----

Jakso: CLT 120 C5s



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	30,0 mm	90°	C24 kuusi
2	20,0 mm	0°	C24 kuusi
3	20,0 mm	90°	C24 kuusi
4	20,0 mm	0°	C24 kuusi
5	30,0 mm	90°	C24 kuusi
t_{CLT}	120,0 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	460,00	50,00

Kuorma

Kuormitusryhmät

Kuormaryhmä	Typ	Kesto aika	K_{mod}	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3
Tuulikuorma	Q	Lyhytaikainen	0,9	0	1,5	0,6	0,2	0

:Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat

Jatkuva kuormitus

q_k
[kN/m]
23,66

:Tuulikuorma

Last aus Ebene

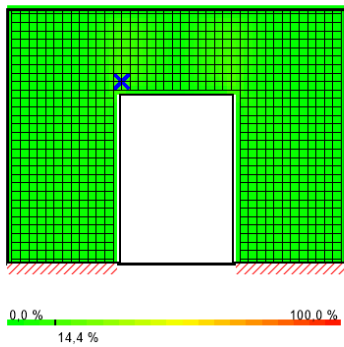
Kuorimitus aluksi	Suunta	Kuorimitus kattaa aukot
0,45	lokaali	ja

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,50/0,00 *
LCO2	1,50/0,00 * + 1,50/0,00 * 0,60 *
LCO3	1,50/0,00 *
LCO4	1,50/0,00 * + 1,50/0,00 * 0,70 *

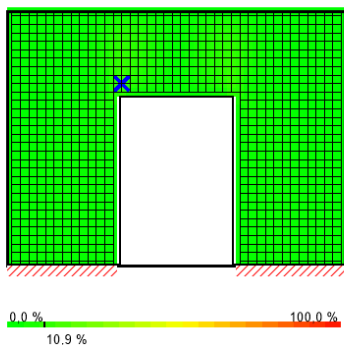
Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset

Nettoleikkauksen tasossa olevan leikkaujännityksen käyttöaste



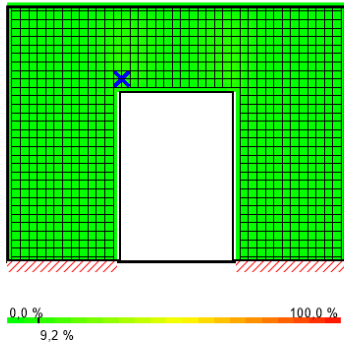
LCO1							
Id	X	Z	k _{mod}	f _{IP,Netto,k}	Q	T _{IP,Net,d}	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
894	2,025	3,225	0,8	8,0	4,41	0,74	14 %

Bruttoleikkauksen tasossa olevan leikkaujännityksen käyttöaste



LCO1							
Id	X	Z	k _{mod}	f _{v,IP,Brutto,k}	Q	τ _{IP,Gross,d}	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
894	2,025	3,225	0,8	3,5	4,41	0,25	11 %

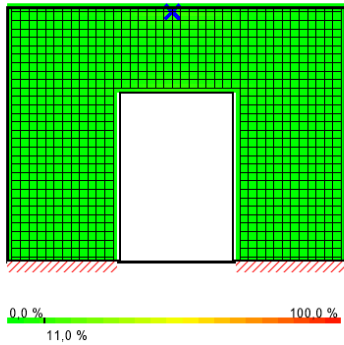
Reunaliimattujen pintojen vääntöleikkausjännityksen käyttöaste



LCO1

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]	[%]
894	2,025	3,225	0,8	2,5	4,41	0,15	9 %

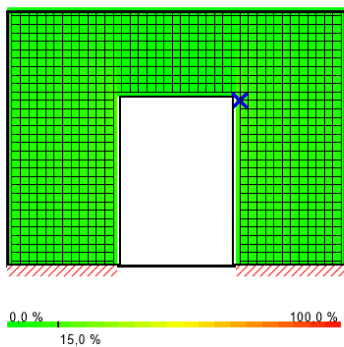
Käyttöaste aksiaaliselle vaakavoimalle



LCO1

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{h,max}$	M_y	$\sigma_{h,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
1220	2,925	4,425	0,8	24,0	10,1210	0,0000	1,69	11 %

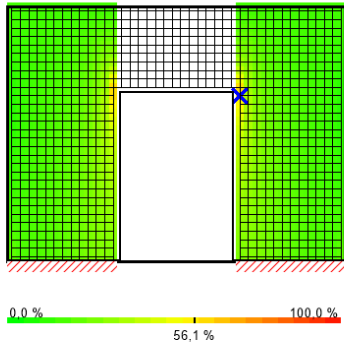
Käyttöaste aksiaaliselle pystyvoimalle



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]	[%]
828	4,125	2,925	0,9	24,0	23,2218	1,3993	2,60	15 %

Käyttöaste lommahdukselle

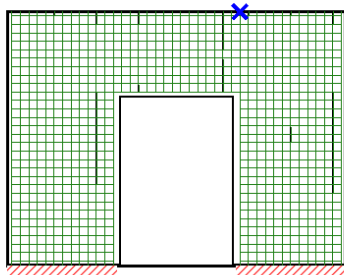


LCO1

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]	[%]
828	4,125	2,925	4,5	113	0,1	0,257	13,44	1,94	0,00	56 %

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset

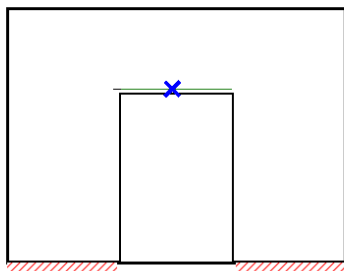
Vaakasuuntainen muodonmuutos



LCO1

Id	X	Z	w_{limit}	Raja	$v_{h,max}$	Suhde
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
1268	4,125	4,5	15,0	$L/300 = 15,0$	0,0844	0,6 %

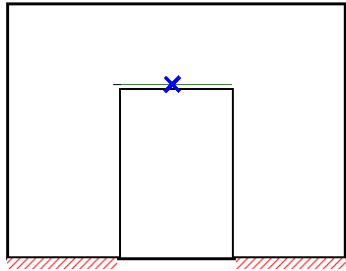
Alustava poikkeama [w_{omin} .]



LCO1

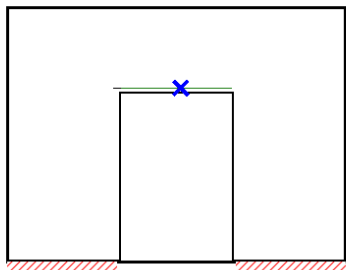
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]	
860	2,925	3,075	0,6	2,0	1/400	5,0	0,2	4 %

Lopullinen taipuma $[w_{\text{omin.}} + w_{\text{i.p.}} \cdot k_{\text{def}}]$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{\text{calc.}}$	Suhde
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]	
860	2,925	3,075	0,6	2,0	1/200	10,0	0,2	2 %

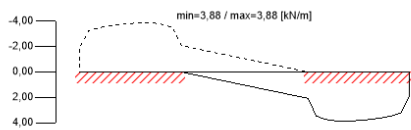
Lopullinen taipuma netto $[w_{\text{i.p.}} \cdot (1 + k_{\text{def}})]$



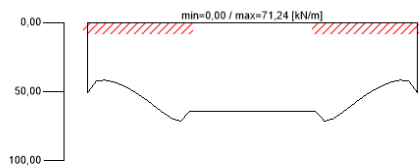
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	Raja	w_{limit}	$w_{\text{calc.}}$	Suhde
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[m]	[mm]	
861	3,075	3,075	0,6	2,0	1/300	6,7	0,1	1 %

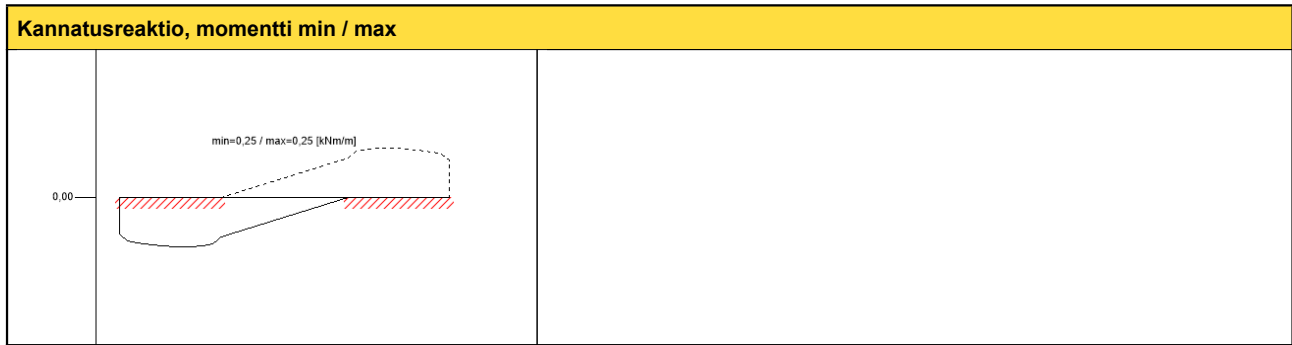
Tukireaktio

Kannatusreaktio, vaakataso min / max



Kannatusreaktio, pystysuora min / max





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
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Stora Enso CLT:n CLT-rakenteiden kantokyvyn ja eristemateriaalien kriteerien vahvistaminen
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus palokipsilevyjen murtuma-ajassa t_f ON B3410 mukaisesti ja kipsilevyjen DF-tyypin EN 520 mukaisesti
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu – Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT lisäykset RIL 205-1-2009 ohjeeseen
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Paloturvallisuus puurakennuksissa - tekninen ohje Eurooppaan; julkaisija SP Ruotsin tekninen tutkimuslaitos
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - Kansalliset määritelmät liittyen ÖNORM EN 1995-1-2, kansalliset huomautukset ja kansalliset täydennykset luvussa 12
Analysis of CLT wall elements, using a beam grid model - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12	Jäykistävien CLT-seinien tarkastelu palkeista muodostuvissa ruudukoissa - TU-Graz - focus sts 113_1_SF_12
SFS EN 1995-1-2_NA	SFS EN 1995-1-2 - Suomi - Kansallinen liite - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu - Osa 1-2: Yleistä - Puurakenteiden palomitoitus - Kansalliset määritelmät liittyen SFS EN 1995-1-2, kansalliset kommentit ja kansalliset täydennykset
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Asiantuntemus tasoleikkauslujuudelle ja tasoleikkausmoduulille CLT-paneelissa
Expertise shear in plane of CLT, H.J. Blass	Asiantuntemus - Uudistettu versio DIBt tekniselle hyväksynnälle Z-9.1/599 - CLT:n leikkausvoima tasossa

Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajajymmärrys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnittelun ja rakennusfysiikkaan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttäjä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulosten virheettömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon valmiiksi syötettyjä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennussuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa teitteja ohjelmistosta, mutta näitä teittejä ei saa muokata.

Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa.

Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksellisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin luettujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä.

Sovellettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Itävallan lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).