

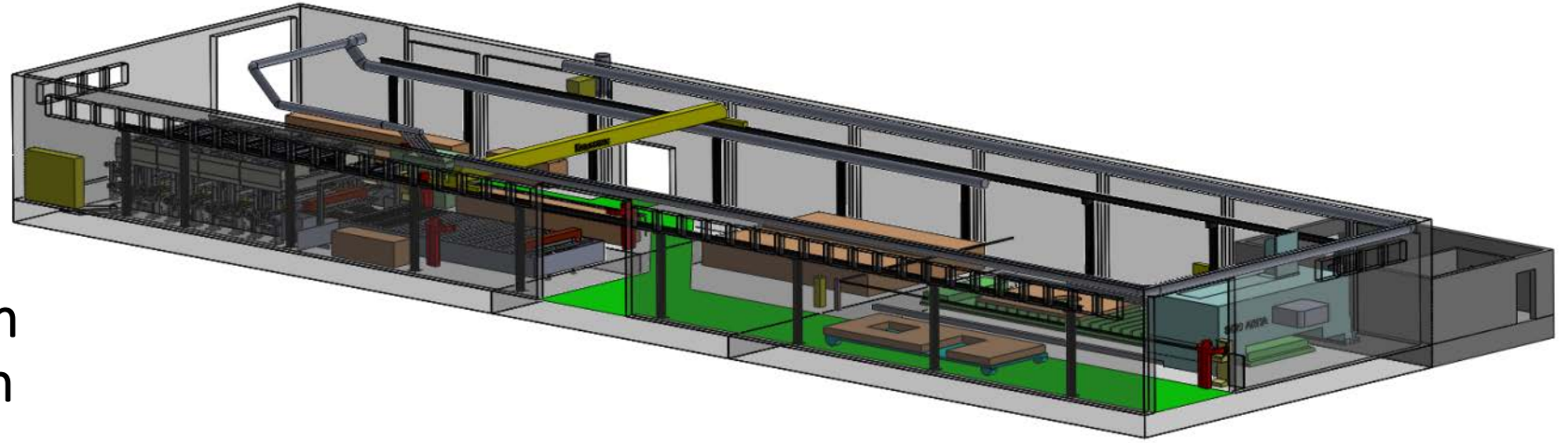


CLT-rakentamisen haasteet ja mahdollisuudet

CLT-oppimisympäristö

Suomen ensimmäinen CLT-valmistuslinja linja rakennettiin Kemiin Ammattiopisto Lappian tiloihin.

Avajaisia vietettiin 25.4.2014.



Sahatavaradimensiot

Esimerkkinä CLT-levy C3-90

Tapaus 1: tällä hetkellä käytössä olevat valmistus- ja sahatavaramitat

Tapaus 2: valmismitat pysyvät samana, sahatavaradimensiot muuttuvat

Tapaus 3: valmismitat muuttuvat, sahatavaramitat pysyvät samana

Esimerkki: CLT-levy C3-90			
	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
Valmismitat	30/30/30	30/30/30	34/22/34
Sahatavaramitat	38/38/38	34/34/34	38/25/38
Sahatav. yhteensä	114 mm	102 mm	101 mm
Höyläyshukka-%	21,1 %	11,8 %	10,9 %

Jotta CLT-levyjen valmistaminen olisi kilpailukykyistä, pitää valmistusmitat ja sahatavaradimensiot saada keskenään sopiviksi.

Tällä hetkellä raaka-ainemenekki on noin 10% suurempaa kuin Keski-Euroopassa.

Sormijatkokset

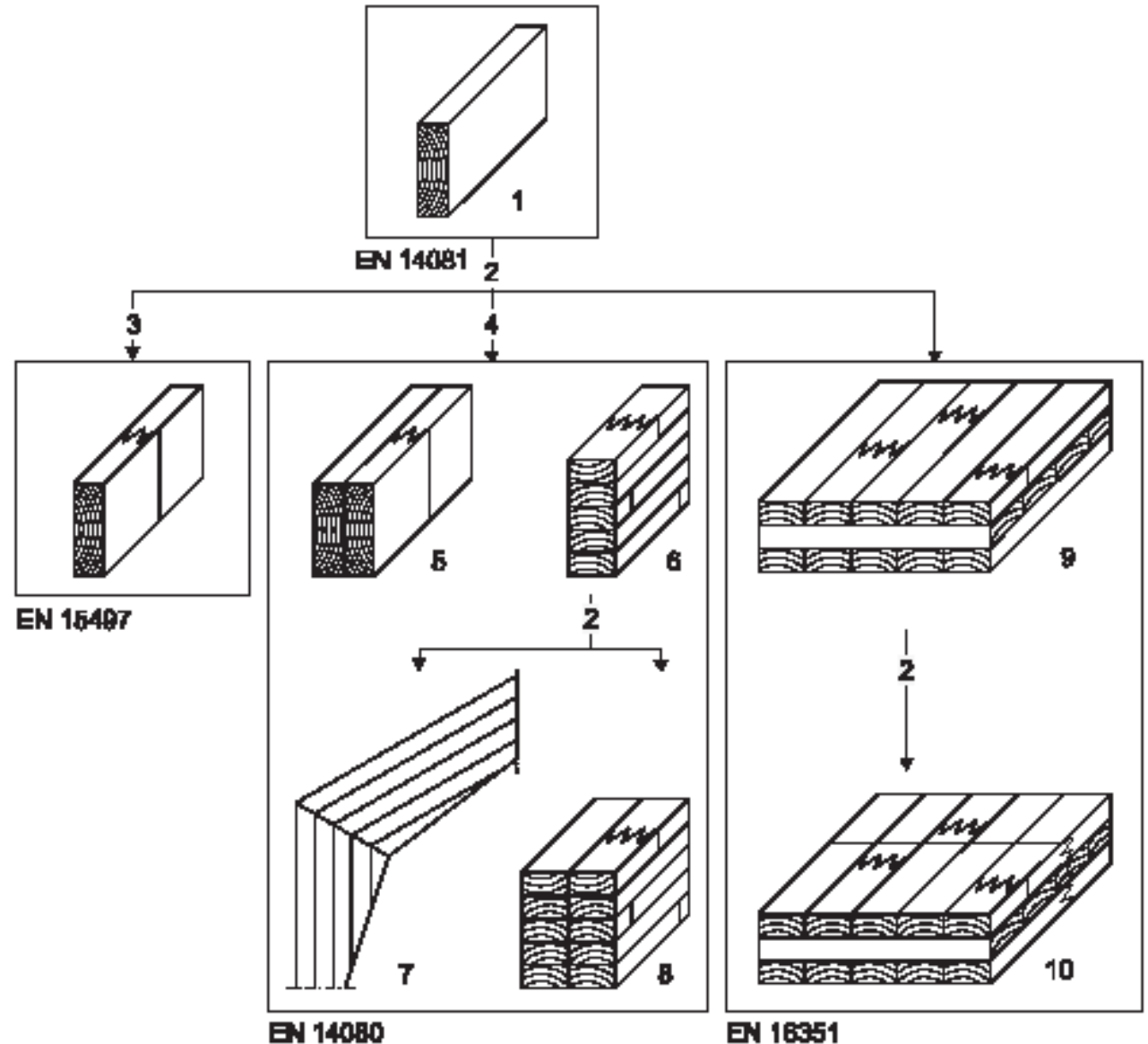
CLT-levyjen sormijatkokset valmistetaan standardin EN 16351 mukaisesti

Vaatii erillisen sertifiointin ja taivutus- tai vetotestit EN 16351 standardin mukaan.

Lisäksi molemmat jatkettavat päät pitää liimoittaa, mikäli ei ole visuaalista laadunvalvontaa.

Introduction

Figure 1 shows the relation of European Standards prepared by CEN/TC 124.



Sormijatkokset

	Liimapuu	CLT
Standardi	EN 14080	EN 16351
Sahatavara	C24	C24
Sormijatkokset	24,0	27,6
Lujuusluokka	GL30	C24

CLT-levyn sormijatkoksiin ei synny rajat ylittäviä taivutusjännityksiä, koska taipumaraja tulee ensin vastaan.

Poikkeuksena seinän aukkopalkki, jonka taivutuskestävyys lasketaan massiivipuupalkkina.

Välipohjalaatta C3-60			
	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
Kuorma	2,0 kN/m ²	2,0 kN/m ²	4,0 kN/m ²
Jänneväli	3200	2250	3200
Taiv. jännitys	8,61	4,35	15,4
Sall. jännitys	18,4	18,4	18,4
Taipuma	19,9 mm	7,2 mm	45,9 mm
Sall. taipuma	10,7 mm	7,5 mm	10,7 mm

Sallittu taivutusjännitys lujuusluokassa C24.
Taivutusjännitys on laskettu murtorajatilan kuormilla.

Leikkauslujuustesti

CLT-levyjen liimasauvojen varmentamiseen voidaan käyttää kahta menetelmää:

- delaminointi
- leikkauslujuustesti

Leikkaustestilaitte on kokonaisuudessaan halvempi (tarvitsee vain sähköt). Lisäksi testaaminen on huomattavasti nopeampaa kuin delaminoinnilla tehtävät testit.

Lappia on ottanut ensimmäisenä Suomessa käyttöön leikkauslujuustestimenetelmän.



CLT-laatan mitoitus

CLT-levy mitoitetaan yhteen suuntaan kantavana laattana

Kantavana suuntana on pitkittäislamellit, jotka lasketaan mukaan teholliseen taivutusjäykkyyteen.

Koska puulla on erilaiset lujuusarvot pitkittäin ja poikittain kuormitettaessa, CLT-laatta pitää mitoittaa ns. monikerroslevynä

Mitoituksessa käytetään ns. gammamenetelmää, jossa huomioidaan heikompi suunta ns. gammakertoimella (< 1)

Gammakertoimen suuruuteen vaikuttaa ensisijaisesti pitkittäislamellien kimmomoduulin ja poikittaislamellien liukumoduulin suhde. Kun kerroin on määritelty, laatta voidaan mitoittaa puurakenteiden ohjeiden mukaisesti normaalin levyrakenteen tapaan.

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 * E_{0\text{mean}} * A_1}{L_x^2} * \frac{t_1}{G_{R\text{mean}} * b} \right)}$$

CLT-laatta ristiin kantavana

Voidaan periaatteessa mitoittaa kuten betonilaatta seuraavasti:

Kantavana rakenteina on edelleen pitkittäislamellit X- ja Y-suunnissa erikseen

Lasketaan laatan taivutusmomentit kentällä ja tuella molemmissa suunnissa

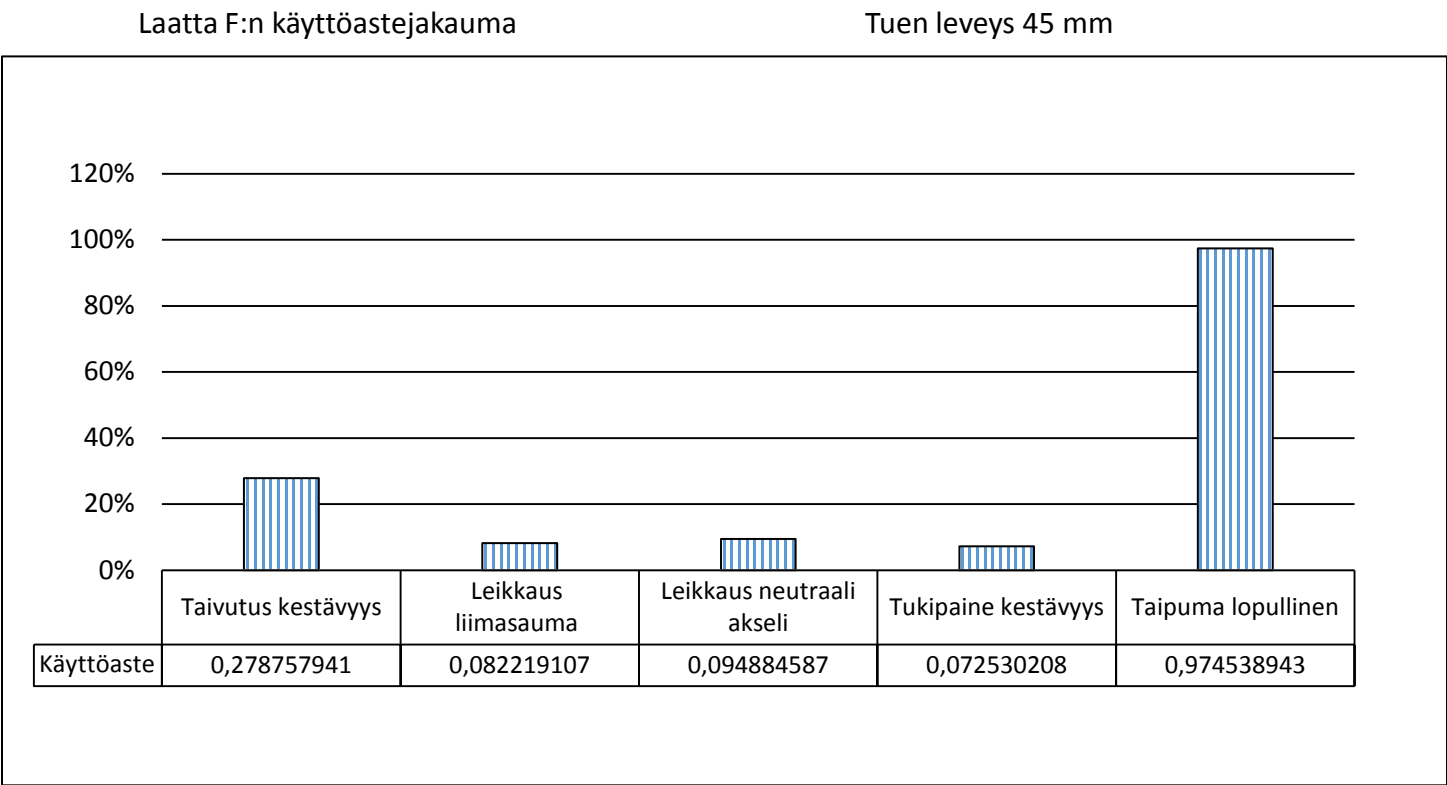
Kokonaiskuormitus murtorajatilassa $6,0 \text{ kN/m}^2$, reunat vapaasti tuella

Mitoitetaan kolmella eri tavalla:

- yhteen suuntaan kantavana C5-150 (lamellit $5 \times 30 \text{ mm}$, kahdella pituudella)
- ristiin kantavana (lamellit 5×30 ja $3 \times 50 \text{ mm}$)
- vertailu yhteen suuntaan kantavana C3-90 (lamellit $3 \times 30 \text{ mm}$)

Tulosten arviointi suoritetaan taivutuskestävyyden käyttöasteita vertailemalla (kuitenkin CLT-laatassa lähes aina mitoittavana tekijänä taipuma tai värähtely)

Neljältä reunalta tuettu CLT-laatta						
kuorma $P_d = 6,0 \text{ kN/m}^2$, keskipitkä aikaluokka						
	A	B	C	D	E	F
Laatta	C5-150	C5-150	C5-150	C5-150	C3-150	C3-90
Suunta	X	X	X,Y	X,Y	X,Y	X
t_1 [mm]	30	30	30	30	50	30
t_2 [mm]	30	30	30	30	50	30
Lx [m]	3,00	4,80	3,00	3,00	3,00	2,90
Ly [m]			4,80	3,00	3,00	
m_x [kNm]	6,75	17,28	4,25	4,25	4,25	6,31
m_y [kNm]			3,83	1,50	1,50	
$w_{ef,X}$ [m ³]	2,87E-03	2,87E-03	2,87E-03	2,87E-03	3,12E-03	1,23E-03
$w_{ef,Y}$ [m ³]			2,01E-03	2,01E-03	4,17E-04	
$s_{m_y,X}$ [N/mm ²]	2,35	6,02	1,48	1,48	1,36	5,13
$s_{m_y,X}$ [N/mm ²]			1,91	0,74	3,59	
KA, X [%]	12,8 %	32,7 %	8,1 %	8,1 %	7,4 %	27,9 %
KA, Y [%]			10,4 %	4,0 %	19,5 %	
Taipuma (mm)						9,4
Taipuma [%]						97 %



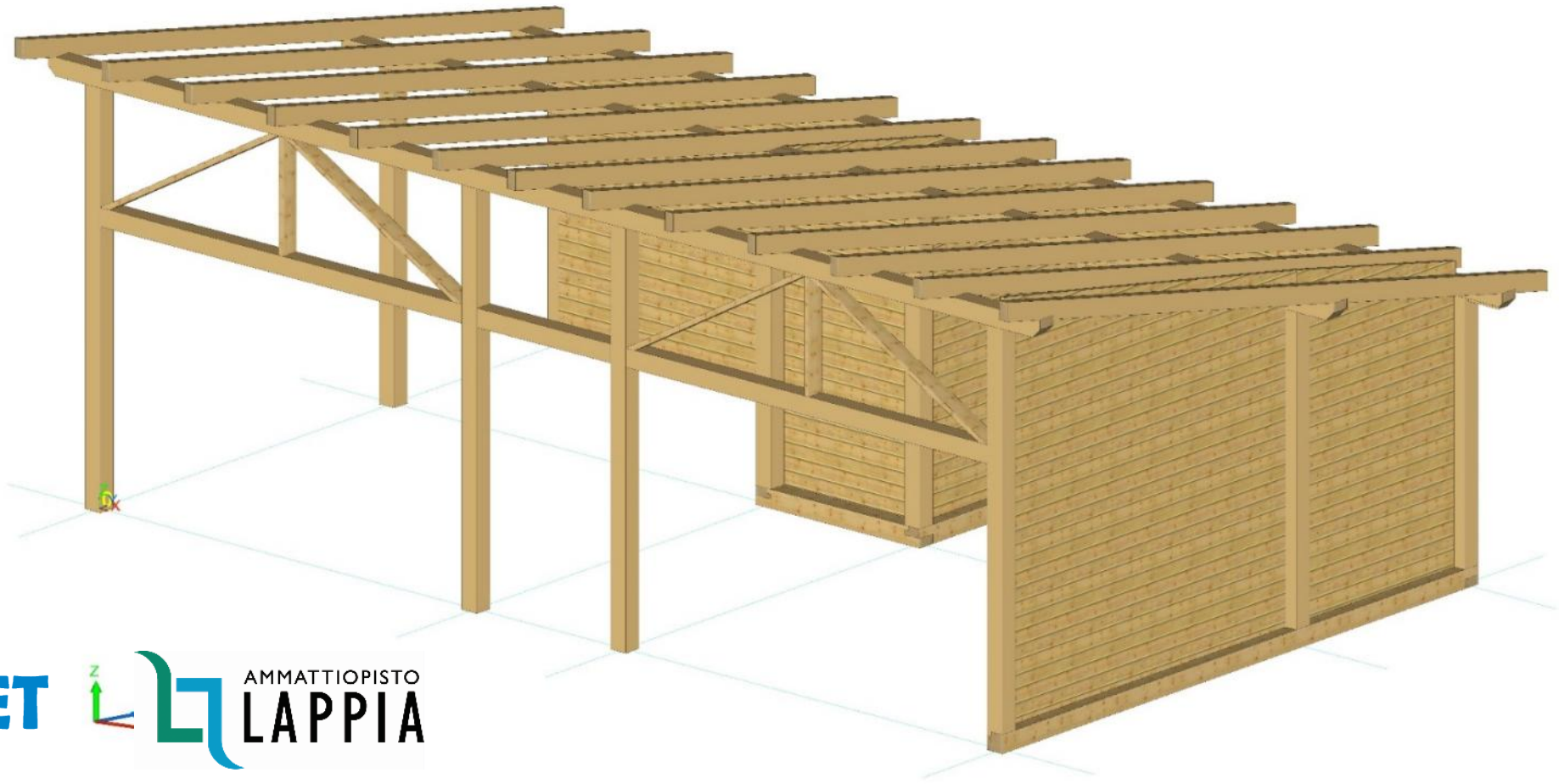
Johtopäätökset:

- periaatteessa CLT-levy on ristiin kantava
- käytännössä tällä ominaisuudella ei ole merkitystä, koska X-suunnan jänneväli on enintään 3,2 metriä.
- 3-kerroslevyä ei voi käyttää ristin kantavana
- 5-kerroslevy toimii aina myös yhteen suuntaan kantavana 3,2 m:n jännevälillä
- mikäli CLT-levy voitaisiin valmistaa yli 4,0 metriä leveänä, ristiin kantavuudella olisi merkitystä (kuljetus???)

Tulevaisuuden hybridirakentamista:

Timber-Frame-rakenteinen autokatos, joka on täydennetty ohuilla CLT-rakenteisilla seinillä

Hybridirakenteella tarkoitetaan rakennusta, joka on koottu kahdesta tai useammasta erilaisesta rakenneosasta tai rakennejärjestelmästä.



CLT-levyistä ja puupalkeista koottu kotelopalkkirakenne



Kotelopalkki koostuu ohuesta CLT-levystä (esim. C3-60) ja massiivipuupalkeista (jako 1200)



Kotelot voidaan myös eristää

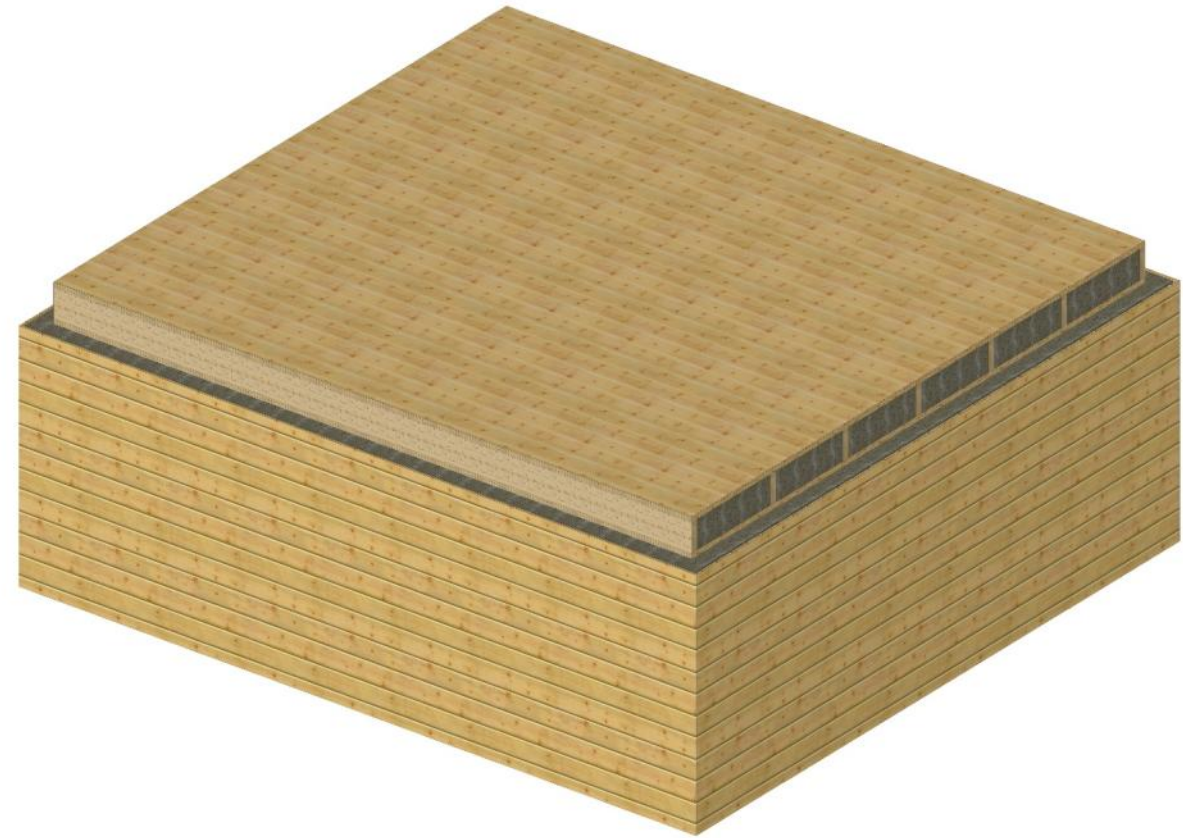
CLT-levyistä ja puupalkeista koottu kotelopalkkirakenne



Kotelopalkki voidaan myös valmistaa elementtinä (maks. leveys 3,2 m)

Elementti voidaan koota liimaamalla se CLT-puristimessa (ei tarvita mekaanisia kiinnittimiä)

Liimatuissa rakenteissa huomattavasti suurempi lujuus kuin mekaanisin kiinnittimin liitetyissä rakenteissa



Kotelopalkkien käyttö välipohjana

CLT-levyistä ja liimapuisista harjapalkeista koottu kattorakenne



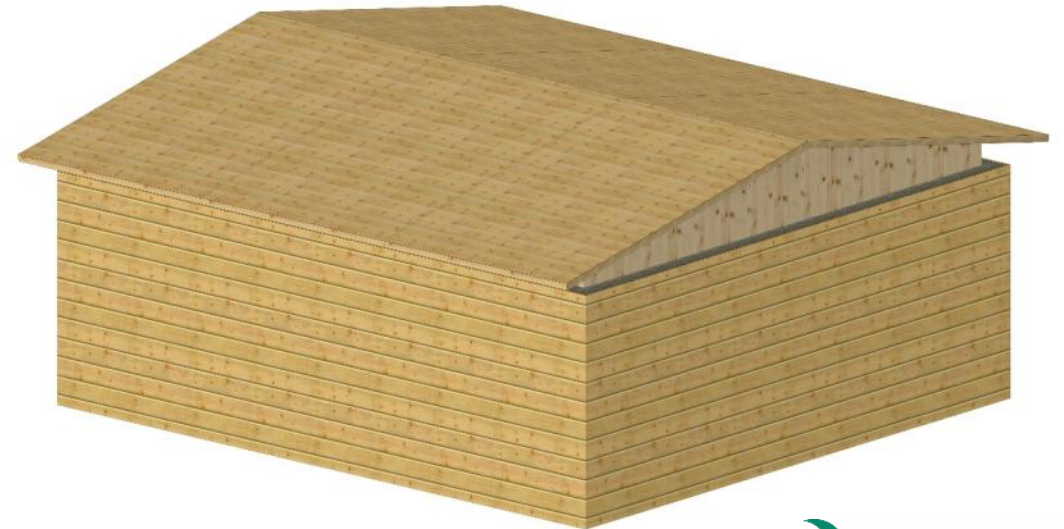
Palkkien päälle kiinnitetään CLT-levyt ruuvaamalla, maks. palkkijako k 3200

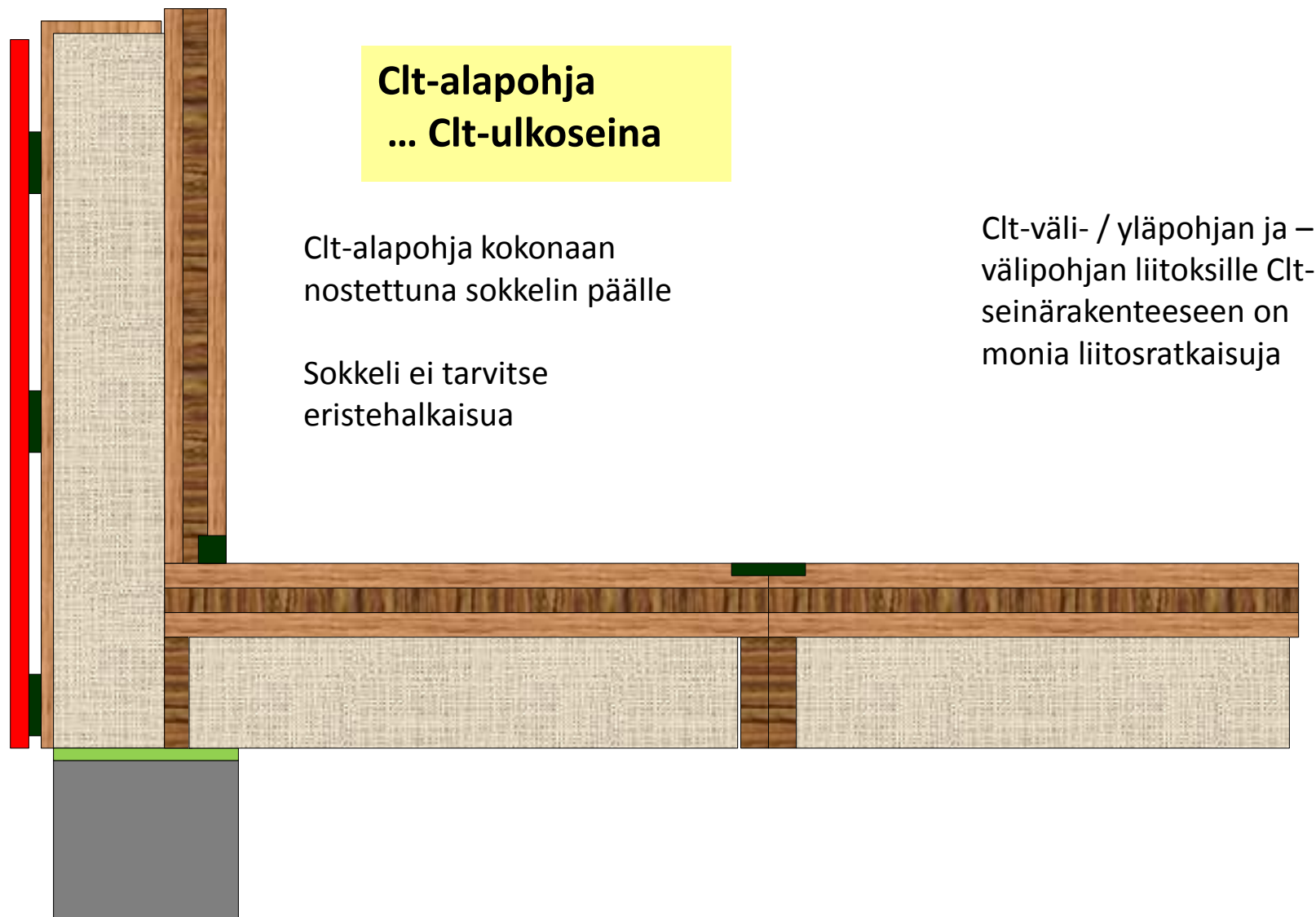


Voidaan toteuttaa myös vinona sisäkattona



Kattorakenne voidaan myös valmistaa tilaelementteinä





CLT-levyistä ja massiivipalkeista koottu arinapalkkilaatta



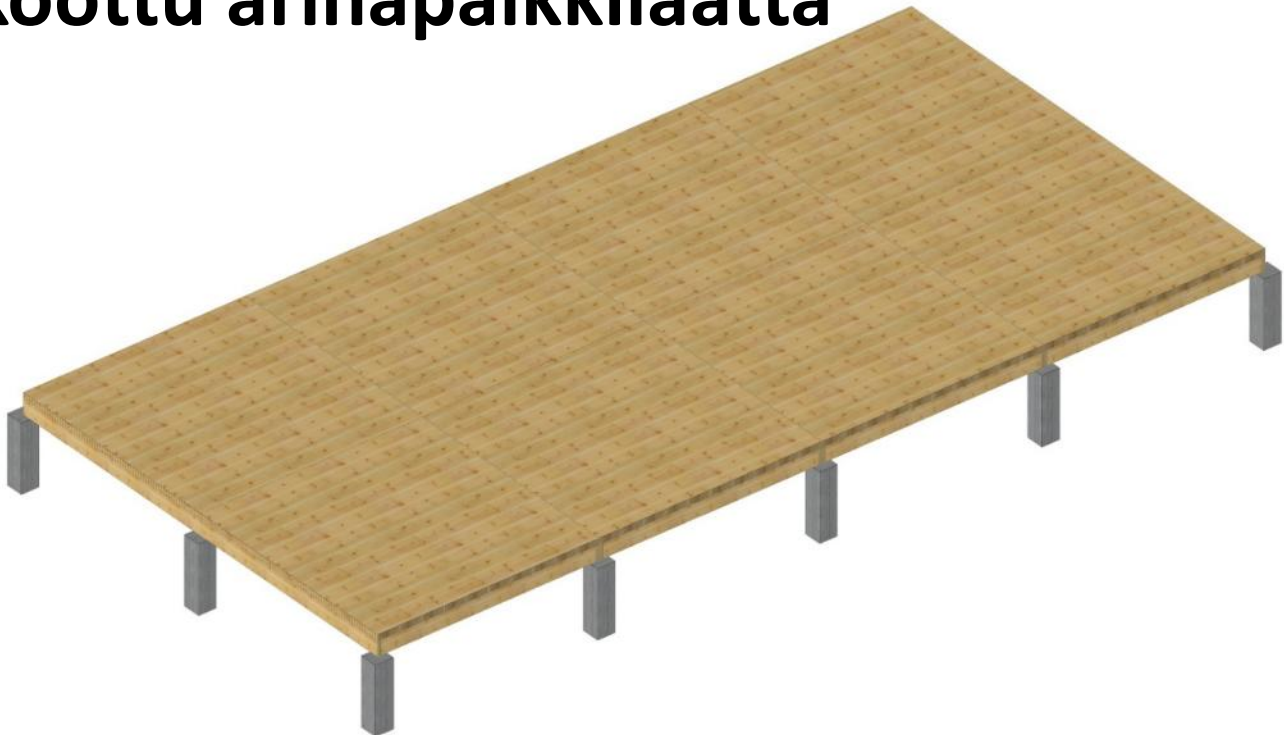
- CLT-levynä nelikerroksinen levy 4x20 mm
- massiivipuupalkit kiinnitetään CLT-levyn reunoille
- levyn maksimikoko 3,2 x 3,2 metriä
- CLT-levy mitoitetaan ristin kantavana 3-kerroslevynä
- neliön muotoisena ristiin kantavana taipumat ovat vain 40% verrattuna yhteen suuntaan kantavaan laattaan

CLT-levyistä ja massiivipalkeista koottu arinapalkkilaatta



Palkkien väli voidaan myös eristää ja levyttää alapohjaelementiksi

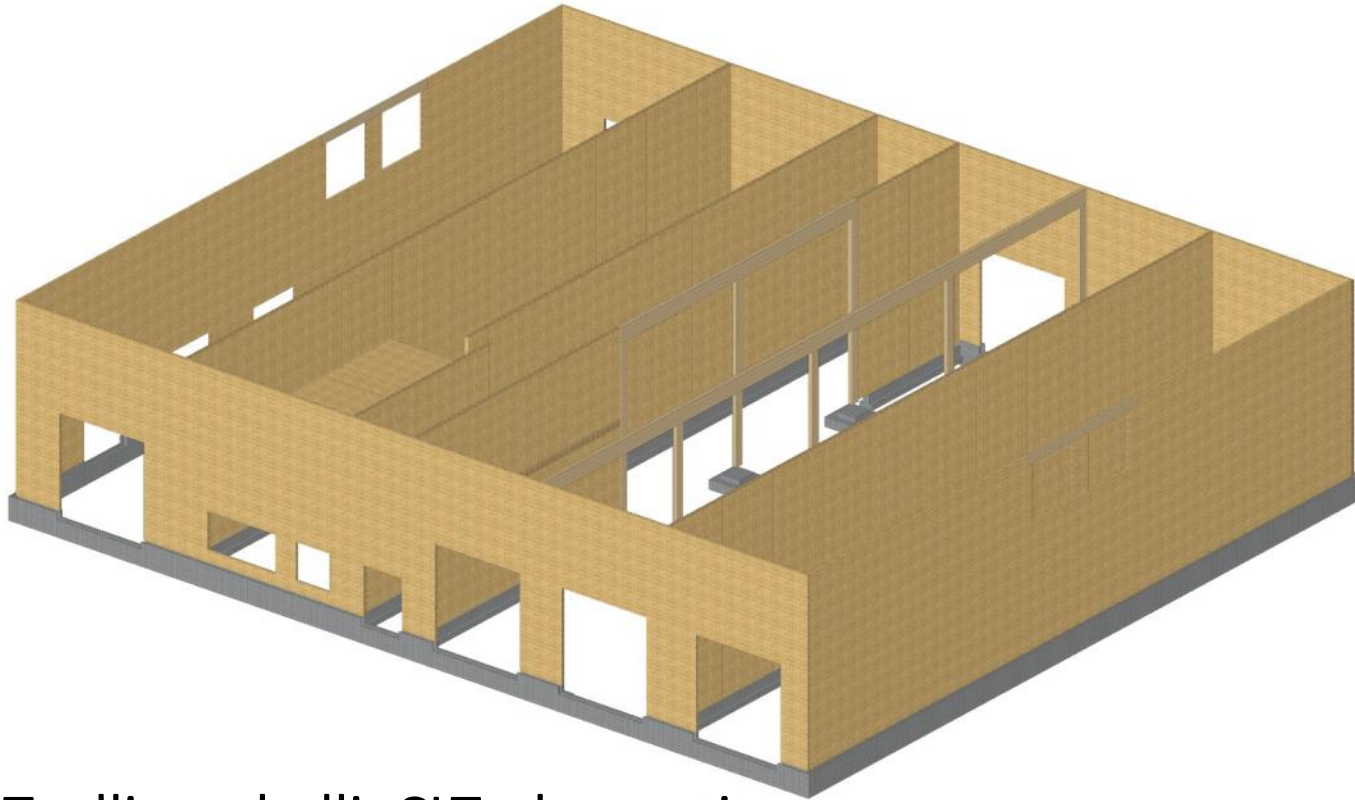
	C4-64	C4-80	C3-60	C3-90
Kuorma	2,0	2,0	2,0	2,0
Jänneväli X	2550	3100	2550	3100
Jänneväli Y	2550	3100	2550	3100
Taivutus	3,36	3,24	5,50	6,78
Taipuma	8,5 mm	9,8 mm	19,3	13,7



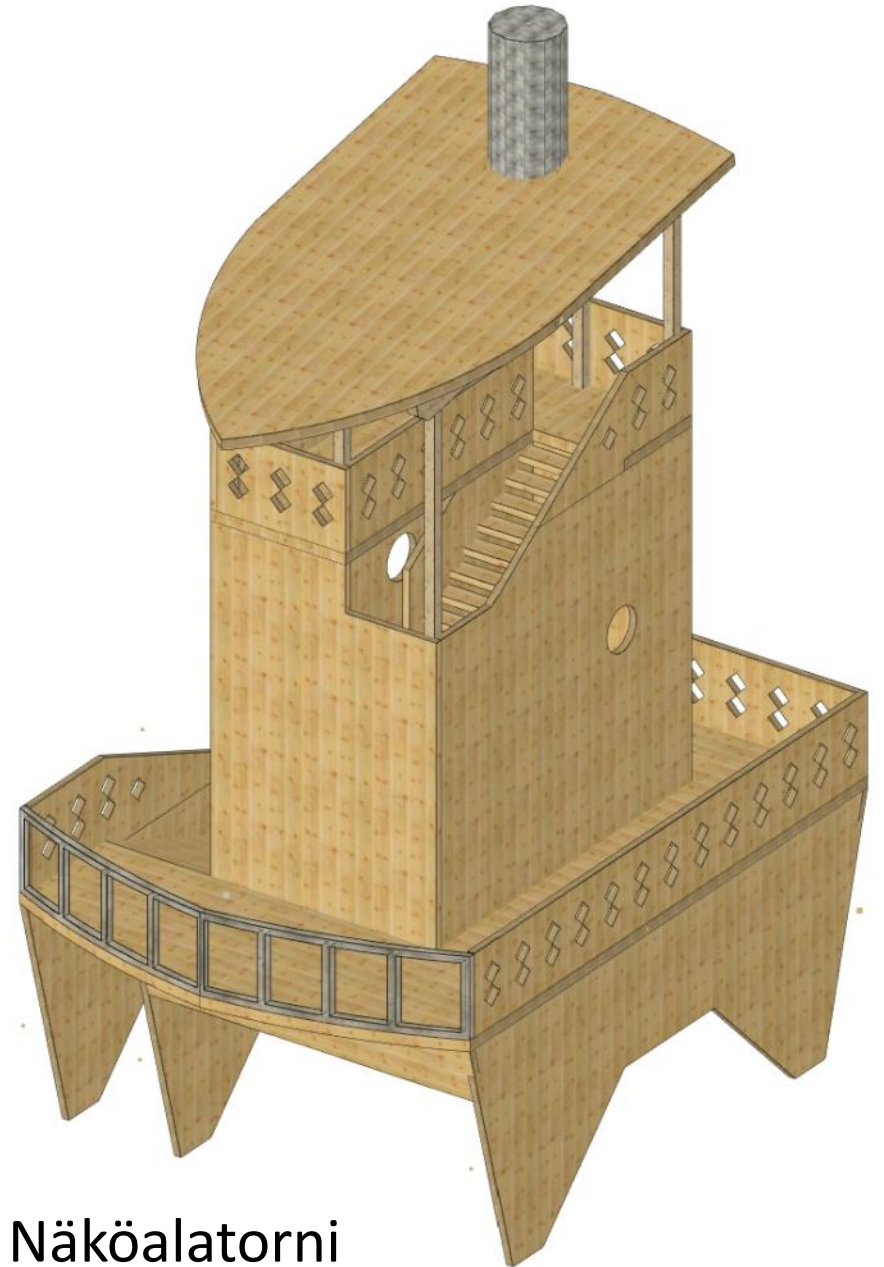
Arinapalkkilaattojen käyttö
alapohjarakenteena pilariperustuksen päällä

Reunapalkkina 48x148 C24, jänneväli 2550
Reunapalkkina 48x198 C24, jänneväli 3100

Esimerkkejä CLT-rakenteista



Teollisuushalli, CLT-elementit
pystyrakenteina, pystysaumojen väli n. 3,0
metriä.



Näköalatorni

CLT-rakenteinen katsomo



Kemiin valmistui puurakenteinen katsomo, jossa on istumapaikat 1100 katsojalle.

Ammattiopisto Lappia suunnitteli ja valmisti katsomon puurakenteiset elementit.

Työ toteutettiin oppilastyönä kevään 2016 aikana.

Kemin kaupunki teki perustustyöt ja asensi katsomorakenteet

CLT-rakenteinen katsomo, lähtötilanne



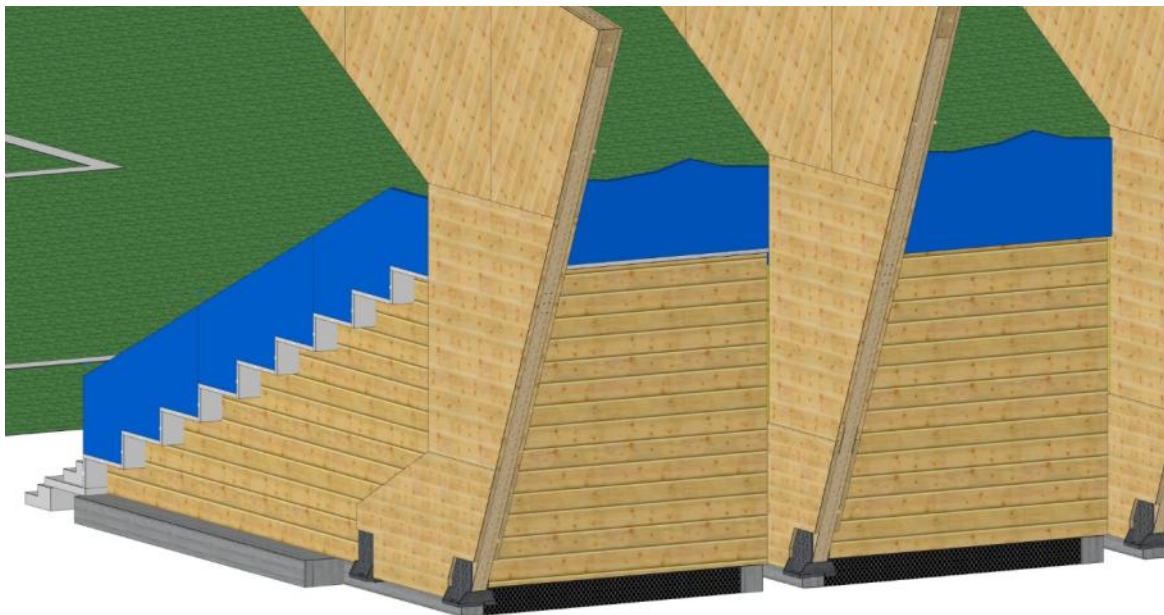
Katsomo koostuu 15 moduulista, joiden välissä pääkannattajat.

Moduulijako on 4480 mm.

Katsomossa on 10 riviä ja yhteen moduuliin mahtuu 80 katsojaa.

Katsomon kokonaispituus 68,6 metriä, syvyys 10,6 metriä ja korkeus 9,6 metriä.

Katsomon alapuolisia rakenteita ei tarvitse ottaa hyötykäyttöön.

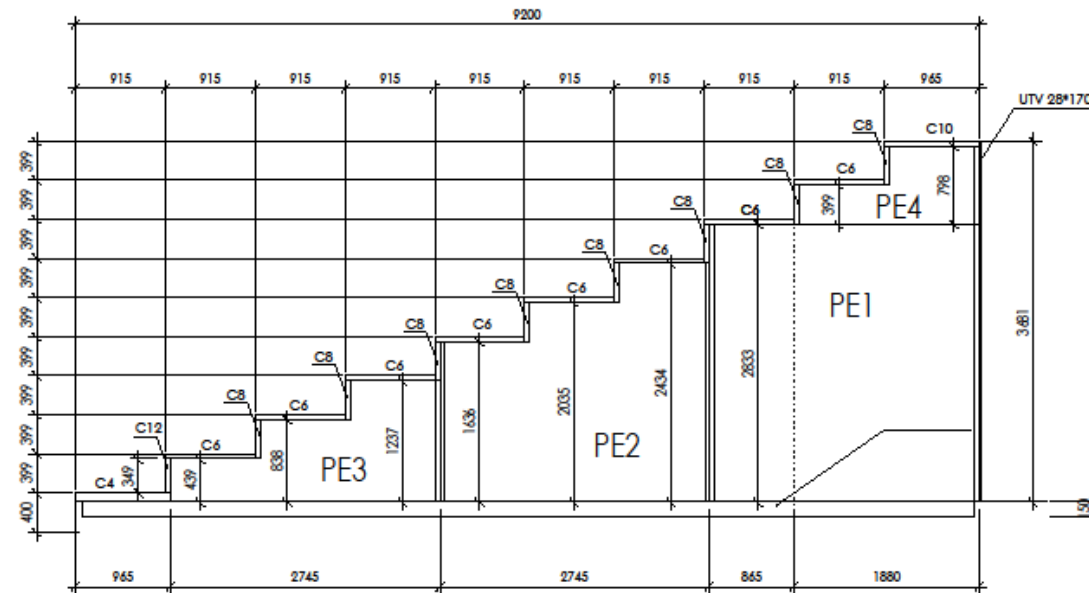


Alkuperäiset havainnekuvat

CLT-levyjen ja naulalevyristikoiden yhteiskäyttö

Katsomon moduulirakenne, MOD 2-14

1:50



CLT-levyjen kiinnitys: ruuvit 5*100 A2 ruostumaton, 5x3 kpl/vaakalevy ja 5x2 kpl/pystylevy (poikittaisiin ristikoihin)

Ruuveille on esiporattava 3 mm:n reiät, syvyys 70 mm

Palkkiperustus 150x150 painekyllästetty, asennetaan ristikoiden päihin

Ristikoiden kiinnitys palkkiperustuksiin kulmarautoilla 90x90, 1+1 kpl / ristikko

Naulalevyrakenteet
ovat edullisia

NR-rakenteilla ja CLT-
levyillä saadaan
rakenteet sekä
kantaviksi että
jäykistäviksi.

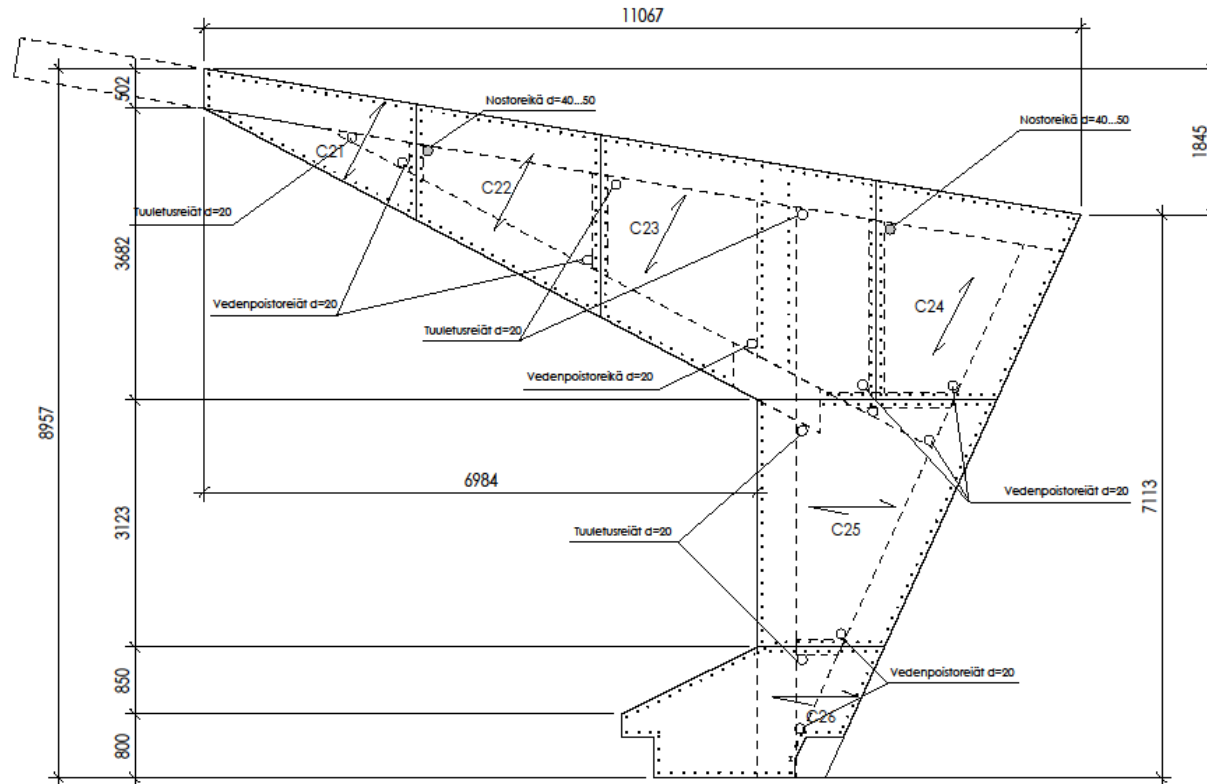
Katsomon poikkileikkaus:

- alapuolinen rakenne toteutettu naulalevyristikoilla.
- pintarakenteet ohuesta CLT-levystä

CLT-levyjen ja liimapuusauvojen yhteiskäyttö

Tukirakenteen CLT-levyjen asennus- ja ruuvauskaavio

Ruuvit 6x120 kuumasinkitty, ruuvit k/k enintään 150 mm 60 mm levyn reunasta



Vedenpoisto- ja tuuletusreiät toiselle puolelle, nostoreiät molemmin puolin tukikehää

Katsomon pääkannattajat on toteutettu kotelokehärakenteena.

Kannattimien ydinosa on liimapuuta ja kotelot CLT-levyjä.

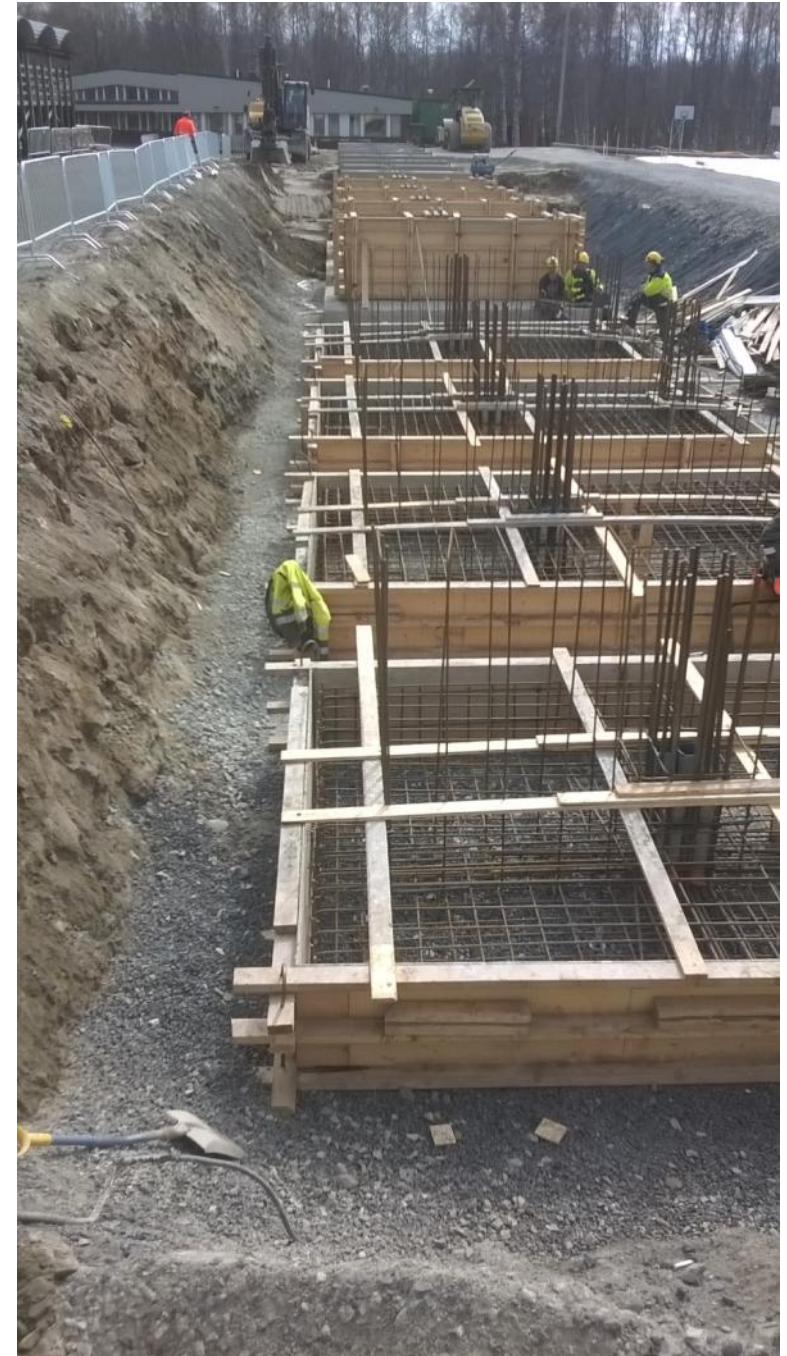
CLT-levyt on kiinnitetty liimapuihin sekä liimaamalla että ruuvaamalla.

CLT-rakenteinen katsomo

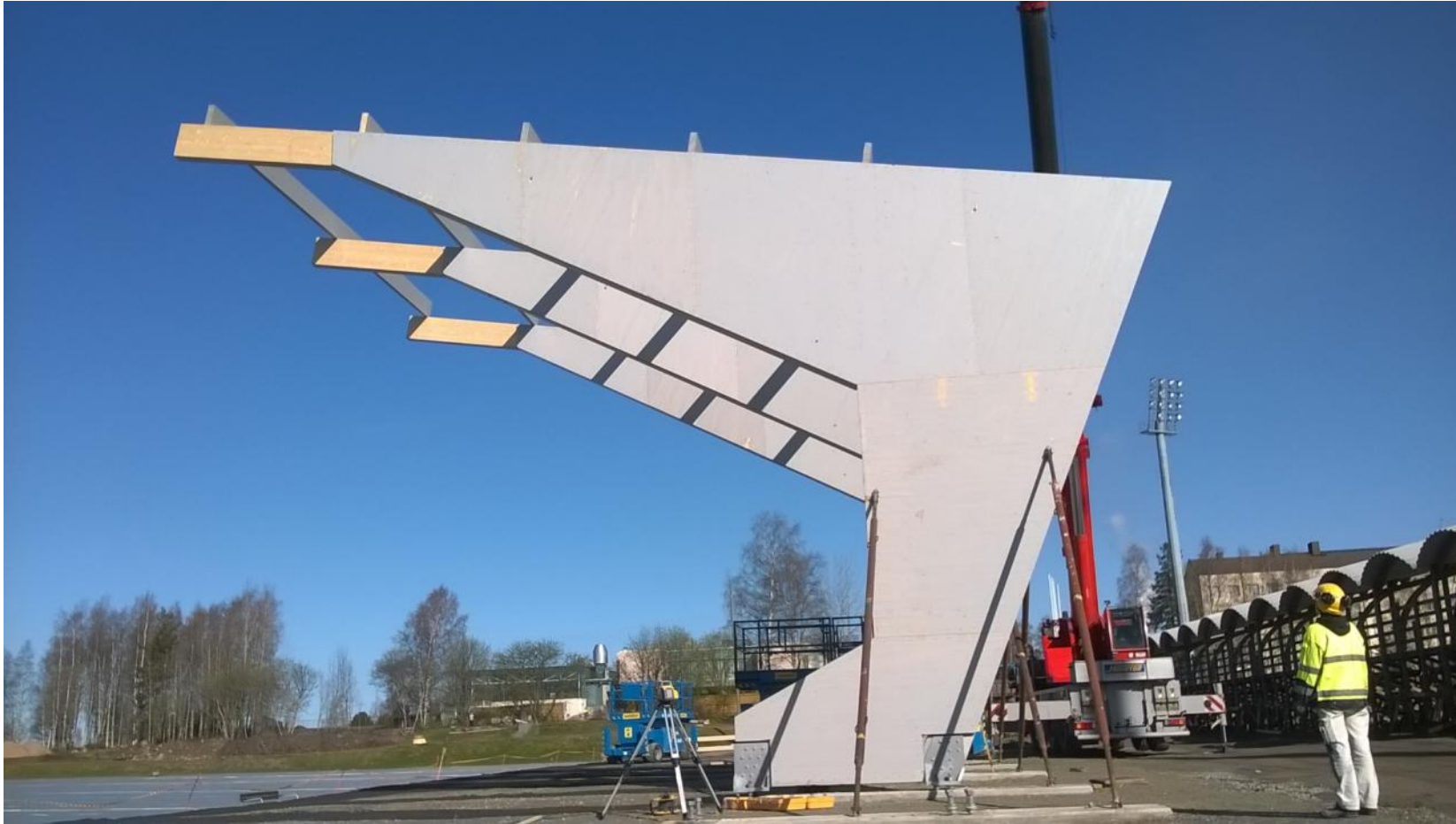
Elementtien valmistusta



CLT-rakenteinen katsomo



CLT-rakenteinen katsomo



CLT-rakenteinen katsomo



Sauvosaaren jalkapallokatsomo, Kemi



CLT-rakenteisen
katsomon avajaiset
12.6.2016:

Veikkausliigaottelu
PS Kemi – FC Lahti

Esimerkki komposiittirakenteesta

CLT-sandwich-elementti

toteutettiin Parocin ja Lappian yhteistyönä

Kemi / Lappia / Jukka Sevón:

17.12.2015

CLT sandwich-elementti

Komposiittirakenne on kahdesta tai useammasta materiaalista koottu rakenneosiosa.

CLT-Sandwich-elementin rakenne:

- CLT-levy C3-60
- Paroc CEL 75 Fg, 400 mm
- CLT-levy C3-60

Elementti on koottu liimaamalla



CLT sandwich-elementti

Elementin työstövaiheita...



CLT sandwich-elementti

CLT Sandwich-elementin taipumatestaus

Kemi / Lappia / Eija Salmela:

18.12.2015

CLT sandwich-elementti

CLT-sandwich kuormitettuna



CLT sandwich-elementti

18.12 elementti tuettuna 6,0 m:n jännevälillä



CLT sandwich-elementti

18.12.2015 asetettu 6000 kg:n kuormitus, vastaa lumikuormaa 300 kg/m²

Alkupainuma 10mm (sallittu 15mm)



CLT sandwich-elementti

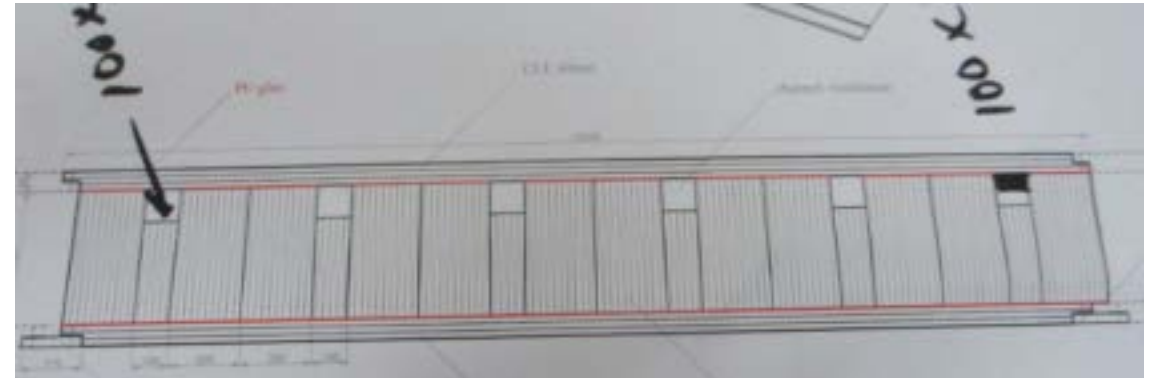
Taipumamittaus käynnissä



- Mittaukset vaa'ituslaserilla merkatuista pisteistä
- Alkutaipuma, kuormituksessa 0, 1, 3, 7, 14, ja 28 vrk
- Alussa taipuma oli vain 10 mm ja nyt kaksi viikkoa myöhemmin noin 12 mm!
- Lopputaipuma 13 mm (sallittu 20 mm)

CLT sandwich-elementti

Ilmakanavien riittävydestä virisi keskustelua – seuraavassa kokeilussa eri formaatilla



CLT sandwich-elementti

CLT Sandwich-elementin
taipumatestaus käyttöluokassa 3 (ulkona
suojaamattomassa tilassa)

Kemi / Lappia / Jukka Sevón:

02.09.2016

CLT Sandwich-elementti

Elementti ”kosteus ja säätestissä” talven sekä kesän 2016 ajan



CLT Sandwich-elementti



Alkutilanne 02.09.2016

- Talven ja kaikkien kesän sateiden jälkeen aloitettiin uudet mittaukset
- Jänneväli sama kuin aiemmin eli 6,0 m

CLT sandwich-elementti



Alkutilanne 02 09 2016

- Kuten näkyy on ollut jonkinlaisen kuormituksen alla myös talven ajan.

CLT Sandwich-elementti



Alkutilanne 02 09 2016

- Kuten edelleen näkyy niin eriste on pinnan alla silmämääräisesti aivan kuivaa.

CLT Sandwich-elementti



- Taipuma aluksi 15 mm joka on L/400 säännöllä OK
- Kosteaa elementti alkoi kuormituksen jälkeen taipua ja taipuman suuruudeksi mitattiin noin 26 mm, joka on jonkin verran yli sallitun (20 mm).

Johtopäätös: elementti toimii hyvin kosteusluokissa 1 ja 2, mutta ei sovellu käyttöluokkaan 3.

Tämä oli odotettua, koska ei puuta yleensäkään voi käyttää suojaamattomana käyttöluokassa 3.