LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

CLT-BETONILIITTORAKENTEINEN VÄLIPOHJA

Miika Poikajärvi

Opinnäytetyö
Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2017

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Miika Poikajärvi	Vuosi	2017
Ohjaaja(t)	Juha Vesa		
Toimeksiantaja	Arctic Civil Engineering -tutkimusryhmä		
Työn nimi	CLT-betoniliittorakenteinen välipohja		
Sivu- ja liitesivumäärä	46 + 29		

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä puu-betoniliittorakenteen ja tarkemmin CLT-betoniliittorakenteen toimintaan. Tutkimusongelmiksi määrittyivät, mitä CLT-betoniliittorakenteella tarkoitetaan ja mitä vaikutuksia sillä on välipohjarakenteen toimintaan. Lopullisena tuotoksena oli tarkoitus saada vertailuarvoja CLT-levyn ja liittorakenteen ominaisuuksista.

Työ aloitettiin laadullisella kirjallisuuskatsauksella. Aiheeseen liittyvästä materiaalin määrästä ei ollut tietoa ja eniten aikaa työn tekemissä meni eri tutkimusten ja julkaisuiden läpi käymiseen. Lopulliset laskelmat vertailuja varten tehtiin käyttötarkoitukseen soveltuvalla suunnitteluohjelmalla.

Teoriatietoa koskien juuri CLT-betoniliittorakenteita oli hyvin vähän saatavilla. Tutkimustietoa puu-betoniliittorakenteiden toiminnasta kuitenkin löytyi ja niihin liittyvistä ilmiöistä on pyritty koostamaan teoriaa, joka voi palvella niitä, jotka käsittelevät aihetta työssään. Työn loppuun saatiin vertailukohteet, joiden avulla voidaan todeta, että CLT-betoniliittorakenne osoittautui hyvin varteenotettavaksi vaihtoehdoksi välipohjissa pidemmillä jänneväleillä, joissa värinän hallinta tulee ongelmaksi.

Avainsanat CLT, betoni, liittorakenne, puu, rakentaminen

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Abstract of Thesis

School of Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Miika Poikajärvi	Year	2017
Supervisor	Juha Vesa		
Commissioned by	Arctic Civil Engineering research group		
Subject of thesis	CLT Concrete Composite		
Number of pages	46 + 29		

This thesis studied the mechanics of timber concrete composites, specifically the CLT concrete composites. The objective of this thesis was to acquire basic knowledge about the CLT concrete composites, however very little information was available.

First an extensive literature review was done, including several scientific journals and doctoral theses from various authors. Only one scientific report that presented theoretical calculation formulas specifically for the CLT concrete composite, was found at the time.

The final product of this thesis are comparisons between a bare CLT floor structure and the two different types of the CLT concrete composite floors with rigid and flexural connections. Although the calculation models for the structural analyses of the composite structure were presented, the final calculations were done with design software, specifically for designing the CLT concrete composite structures. Results from the calculations are presented at the end of this thesis.

Key words CLT, concrete, construction, composites

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5

2 TOIMEKSIANTAJA 6

3 CROSS LAMINATED TIMBER 7

3.1 Levyn rakenne 7
3.2 Ominaisuudet 8
3.3 Käyttökohteet 9
3.4 Valmistus 10
3.5 Suunnittelu ja laskenta 11
3.6 Mekaanisesti liitetyt palkit 13
3.7 Vierintäleikkauslujuus 16

4 PUU-BETONILIITTORAKENNE 18

4.1 Teräsbetonivälipohja 18
4.2 Liittorakenne 19
4.3 Viruman vaikutus 21
4.4 Leikkausliitos 22
4.5 Liitostapoja 25
4.6 Märkä- ja kuivaliitos 28

5 CLT-BETONILIITTORAKENNE 31

6 LIITTORAKENTEEN VERTAILU CLT-VÄLIPOHJAAN 35

6.1 CLT-välipohja ilman liiittorakennetta 35
6.2 Liittorakenteen vaikutus CLT-levyn paksuuteen 36
6.3 Liittorakenteinen välipohja, jäykkäliitos 38
6.4 Liittorakenteinen välipohja, joustavaliitos 39

7 JOHTOPÄÄTÖKSET 40

LÄHTEET 44

LIITTEET 46

1 JOHDANTO

Puurakentaminen herättää ihmisissä aivan uudenlaista kiinnostusta ja monenlaisia suuria puurakennuskohteita on aloitettu ja jo valmistuneita kohteita on mm. Pudasjärven hirsikoulu (Mainio 2016). Nykyaikaiset insinööripuutuotteet, kuten CLT (Cross laminated timber), mahdollistavat puun hyödyntämisen rakentamisessa uudella tavalla. Odotukset puurakentamisen kysynnän lisääntymiselle tulevaisuudessa herättivät mielenkiinnon tämän työn toteuttamiseen.

CLT-välipohjissa käytetään yleisesti betoni- tai kipsivalua parantamaan sen akustisia ominaisuuksia mutta tässä työssä käsitellään ainoastaan betonivalun käyttöä. Betonivalu toteutetaan yleisesti kelluvana laattana, jolloin CLT-levy ja betonilaatta toimivat kahtena erillisenä rakenteena CLT-levyn toimiessa yksin kantavana rakenneosana. Kun kaikessa tekemisessä pyritään mahdollisimman tehokkaaseen toimintaan ja optimaaliseen materiaalien käyttöön, tuntuu oudolta, että betonin lujuusominaisuudet jätettäisiin hyödyntämättä, varsinkin tilanteessa, jossa molempia materiaaleja käytetään joka tapauksessa. Työn tavoitteena on selvittää, minkälainen vaikutus välipohjarakenteen toimintaan on sillä, kun CLT-levyn ja betonilaatan ominaisuudet yhdistetään liittorakenteen avulla. Rakenteen hyödyntämisen mahdollisuuksia pystyrakenteissa ei käsitellä tässä työssä.

Opinnäytetyön toisessa luvussa esitellään hanke, jonka puitteissa opinnäytetyö tehdään. Kolmannessa, neljännessä ja viidennessä luvussa esitellään CLT-levyn ominaisuudet sekä teoriaa liittyen puu-betoni liittorakenteisiin ja niiden suunnitteluun. Kuudennessa luvussa suoritetaan laskelmat CLT-välipohjarakenteelle, jonka tulokset toimivat vertailukohtana liittorakenteelle. Viimeisessä luvussa pohditaan tulosten luotettavuutta ja mahdollisia jatkotutkimuksien aiheita. Työn lopussa on esitetty liitteinä Calculatis-laskentaohjelmasta saadut tulokset, joiden pohjalta vertailut on suoritettu.

2 TOIMEKSIANTAJA

Työn toimeksiantajana toimii Lapin ammattikorkeakoulun Arctic Civil Engineerin tutkimusryhmä, joka tekee kehittämistyötä Future possibilities for CLT -projektissa. CLT-rakentamisen osaamista on kehitetty Lapissa mm. kahden eri projektin avulla; CLT-koetalo v.2013–2015 ja CLT-valmistuksen oppimisympäristö v.2012–2015. (Vatanen 2015, 232.)

Lapin alueen toimijoina, koetaloprojektissakin yhteistyötä tehneet, Lapin AMK ja Kemin Digipolis Oy pyrkivät julkisina toimijoina lisäämään tietoa CLT-rakentamisen mahdollisuuksista ja poistamaan mahdollisia esteitä CLT-rakentamisen osaamiseen liittyen alueen liike-elämän kanssa. Projekti toteutetaan Interreg Nord -ohjelman puitteissa monikansallisessa yhteistyössä Centria ammattikorkeakoulun, Luulajan teknisen yliopiston sekä Ruotsin tutkimusinstituutin (SP) kanssa. (Vatanen 2015, 232.) Projekti on jaettu viiteen työpakettiin, joista WP5-Building Process, on Lapin AMKin vastuulla. Projekti on käynnistynyt syyskuussa 2015 ja se päättyy toukokuussa 2018. (Vatanen 2015, 232.)

Lapin AMK vastaa työpaketti 5:n koordinoinnista ja toimii sen päätoteuttajana. Työpaketin lähtökohtana on pyrkiä tuottamaan tietoa CLT-rakentamisen suunnittelu- ja työmaaprosesseista hankkeelle ja sen sidosryhmille. Hankkeessa on tarkoitus löytää yhteistyökumppaneita alueen rakennussektorin toimijoista. Näiden pilottiyritysten nykyisiä käytäntöjä analysoidaan ja luodaan tietoperustan sekä nykytilan pohjalta esimerkinomaisia ehdotuksia, joilla yrityksen voisivat integroida CLT:tä omaan liiketoimintaansa. Näiden lisäksi pyritään arvioimaan CLT -rakentamisen tehokkuutta käyttäen hyväksi ympäristövaikutusten arviointiin kehitettyjä menetelmiä. (Vatanen 2015, 232–233.)

Projektin keskeisimpänä tavoitteena on välittää tietoa alueen rakennussektorin yrityselämän toimijoille CLT-rakentamisen kilpailukyvystä nyt ja lähitulevaisuudessa. Tiedon tuottamisen teemoina ovat mm.

- CLT-rakenteiden suunnittelu ja laskenta
- CLT:n käyttö ulkorakenteissa (käyttöluokka 3)
- CLT-rakentamisen rakentamisprosessi
- CLT huipputehokkaassa rakentamisessa
- CLT:n valmistustekniikka ja yhdistelmärakenteet. (Vatanen 2015, 233.)

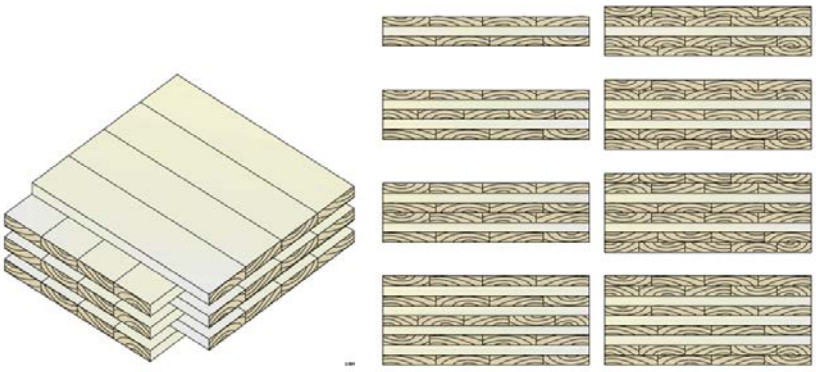
3 CROSS LAMINATED TIMBER

3.1 Levyn rakenne

CLT-levy on vähintään kolmesta lamellikerroksesta koostuvaa massiivipuulevyä. Levyihin käytetään käyttötarkoituksen mukaan lujuusluokiteltua puutavaraa, yleisimmin C24 havupuuta. Ominaispainollaan 470 kg/m3 se on melkein viisi kertaa kevyempää verrattuna teräsbetoniin omaten kuitenkin hyvät lujuusominaisuudet. (Tekninen kansio 2015, 4–5.)

Levyn kerrokset koostuvat vierekkäin ladotuista lamelleista, jotka sormijatketaan haluttuun pituuteen. Lamellien ja sormijatkosten liimaukseen käytetään formaldehydivapaata liimaa, joka on ympäristöystävällistä. Levyltä vaadittavien ominaisuuksien mukaan eripaksuisia kerroksia on 3–8 kpl (Kuvio 1). Kerrosten paksuus vaihtelee 19-75 mm välillä ja lamellien leveys 60–240 mm välillä. Levyn kokonaisleveys on yleisimmin 0,6–3,0 m ja kokonaispituus 8,0–16,0 m. Valmistajasta riippuen maksimipaksuus voi olla tilauksesta 0,6 m, leveys 4,8 m ja pituus 30,0 m (Wallner-Novak, Koppelhuber& Pock 2014,10). Käytännössä logistiset järjestelyt aiheuttavat rajoituksia levyn mittoihin (CLT Handbook 2011, Chapter 1, 17).

Useimmiten käytetään levyä, jossa kerrokset on liimattu 90° kulmaan toisiinsa nähden. Joissain levytyypeissä kaksi kerrosta on liimattu samansuuntaisesti (Kuvio 1) ylä- ja alareunassa sekä mahdollisesti myös keskellä. Näin saadaan lisää kantavuutta etenkin pidemmillä jänneväleillä. (Tekninen kansio 2015, 4–5.)



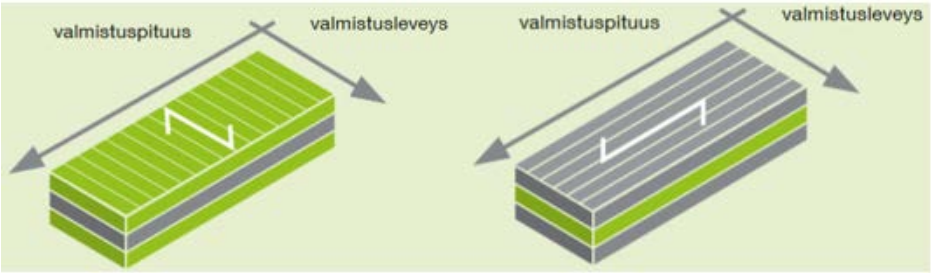
Kuvio 1. Erilaisia levyrakenteita (CLT Handbook 2011, Chapter 1, 15–16)

3.2 Ominaisuudet

Kuormien jakautuminen

Ominaisuus, joka mahdollistaa kuormien jakautumisen kahteen suuntaan, on aiemmin ollut ainoastaan teräsbetonirakenteilla. Ristiinlaminoinnin myötä se on myös mahdollista CLT-levyllä. Tämä mahdollistaa tilojen vapaamman suunnittelun, kun välituennan tarve vähenee. Erilaiset ulokkeet ilman pilarituentaa sekä pistetuetut rakenteet on myös mahdollista toteuttaa CLT:llä. Levyn massiivisuuden ja jäykkyyden ansiosta rakennuksen kokonaisjäykistyksen tarve vähenee. (Stora Enso Oy 2017.)

Eri suuntiin ladotuilla kerroksilla (Kuvio 2) on vaikutuksia levyn kantavuuteen erisuunnissa. Levyjä, joissa ulommaisten kerrosten lamellit on ladottu lyhyemmän jänteen mukaisesti, käytetään yleensä seinärakenteissa. Katto- ja välipohjarakenteissa sekä kaikissa rakenteissa, joissa suurien jännevälien saavuttaminen on tärkeää, on lamellit ladottu pisimmän jänteen mukaisesti. (CLT Handbook 2011, Chapter 1, 17.)



Kuvio 2. Lamellien asettelu (CLT:n vakiorakenteet 2017)

Kosteuskäyttäytyminen

Massiivipuun kyky tasata sisäilman kosteusvaihteluita – täten parantaen sisäilman laatua – on hyvin tunnettu ominaisuus hirsirakennuksista ja se on myös CLT-levyllä. CLT-levy on ilmatiivis ristiinlaminoinnin ansiosta, ja se omaa korkean diffuusiovastuksen, joten sitä käytettäessä ei ole tarvetta erilliselle höyryn- eikä ilmansululle. (Tekninen kansio 2015, 192–193.)

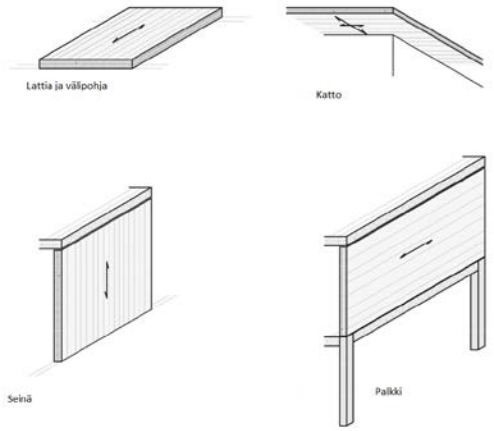
Ristiinlaminoinnin ansiosta puun eläminen on hyvin vähäistä. Pituussuuntainen eläminen on ainoastaan 0,02 % ja leveyssuuntainen 0,24 % jokaista puun kosteusprosentin (+-1 %) muutosta kohden. (Tekninen kansio 2015, 4–5.)

Paloturvallisuus

Vastoin yleistä käsitystä, massiivipuurakenteet ovat hyvin palonkestäviä. CLT-levyn kosteuspitoisuus on n.12 % normaalissa huoneilmassa ja kosteuden tulee haihtua puusta ennen kuin se voi syttyä palamaan. Puun käyttäytyminen palotilanteessa tiedetään ja näin pystytään ennakoimaan CLT-levyn palonkestävyys. CLT-levy palaa hiiltymällä noin 0,65 mm/min (Puuinfo 2017) ja hiiltynyt kerros toimii suojana levyn sisemmille kerroksille. Hiiltymiskerroksen ansiosta äkillistä romahdusvaaraa ei ole. (Tekninen kansio 2015, 193.)

3.3 Käyttökohteet

Levyä voidaan käyttää seinä-, katto- ja lattiarakenteissa, sekä palkkina (Kuvio 3). Maailmanlaajuisesti siitä on rakennuttu useita pienasuintaloja, kerrostaloja, toimistotiloja sekä kouluja. Tällä hetkellä CLT:n käyttö rajoitetaan käyttöluokkiin 1 ja 2 (Wallner ym. 2014, 11). Käyttöluokka 1 tarkoittaa käytännössä kuivia sisätiloja ja käyttöluokassa 2 levy voi olla ulkona mutta on suojattu säänvaikutukselta, esimerkiksi katoksen alla.



Kuvio 3. CLT-levyn käyttökohteita (Wallner ym. 2014, 11)

3.4 Valmistus

Levyt valmistetaan käyttötarkoitukseen sopivalla puristimella. Yleisimmin valmistetaan ainoastaan suoria levyjä, mutta on olemassa puristimia, jotka mahdollistavat kaarevien CLT-elementtien valmistuksen. Kaarevuutta rajoittavat sormiliitoksien taivutuslujuus ja käytettyjen lamellien paksuus. (Wallner ym. 2014, 7.)

Liimanlevitin levittää ensin liiman lamellien päälle ja tämän jälkeen lamellit ladotaan päällekkäin joko koneellisesti tai käsin. Puristimella puristetaan levyä liiman kovettumiseen vaaditun ajan, joka vaihtelee levyn paksuuden mukaan. Tämän jälkeen levy siirretään jatkokäsittelyyn. Riippuen siitä, mihin käyttötarkoitukseen levy tulee, tehdään sille erilaisia viimeistely toimenpiteitä. Levyt mm. hiotaan, jonka jälkeen mahdolliset ovi- ja ikkuna-aukot sekä talotekniset ja rakenteelliset varaukset leikataan CNC (Computerized Numerical Control) jyrsimellä. (CLT Handbook 2011, Chapter 2, 4.)

Puristin voi olla joko hydraulitoiminen tai tyhjiöpuristin. Hydraulitoimisessa puristimessa hydraulivaste puristaa levyä kohtisuoraan ja myös sivuilta. Liiman ollessa yleisesti käytettyä formaldehydivapaata PUR (yksikomponenttinen polyuretaani) liimaa, tulisi pystysuuntaisen puristuksen olla 0,8–1,3 MPa ja sivupuristuksen 0,20–0,5 MPa. Puristuksen voimakkuus ja kesto vaihtelevat levyssä käytettyjen kerrosten määrän mukaan. Sivupuristuksella pyritään välttämään liian leveiden rakojen muodostumista lamellien väliin. Valmistajilla on määriteltynä omat toleranssit rakojen leveyksiin. Jos lamellit on syrjäliimattu ennakkoon, ei sivupuristusta vaadita. (CLT Handbook 2011, Chapter 2, 68–69).

Tyhjiöpuristimen teoreettinen maksimipuristusvoima jää ainoastaan 0,1 MPa, joka ei välttämättä riitä luomaan kunnollista kontaktipintaa liimauksessa, johtuen puun epätasaisuuksista. Tämä johtaa siihen, että lamelleihin joudutaan sahaamaan paineentasausuria, jotka tasaavat epätasaisesta kutistumisesta ja turpoamisesta johtuvia rasituksia. Uria ei voi kuitenkaan sahata liian syväksi, koska se vaikuttaa osaltaan liimausalaan ja täten levyn kuormankantokykyyn. Urat voivat myös ehkäistä lamelleihin syntyviä halkeamia. (CLT Handbook 2011, Chapter 2, 68.)

3.5 Suunnittelu ja laskenta

CLT-levyn mekaanisten ominaisuuksien määrittelyyn on kehitelty erilaisia menetelmiä, mutta yhtään oikeaa tapaa ei ole yksimielisesti määritelty suunnittelijoiden ja valmistajien kesken. Menetelmät keskittyvät yleensä määrittelemään levyn taivutusjäykkyyttä, joka on yleensä määräävänä tekijänä käyttörajatilassa, eikä niinkään taivutuslujuutta. (CLT Handbook, Chapter 3, 4.)

Menetelmät voidaan luokitella kokeellisiin ja analyyttisiin menetelmiin. Kokeellisissa menetelmissä levyn taivutusominaisuuksia määritellään suorittamalla puristuskokeita todellisilla dimensioilla valmistetulle levylle tai levylle, jolla on tietty suhdeluku levyn pituuden ja paksuuden välillä. Kokeellisten menetelmien ongelmana on se, että joka kerta kun testattava materiaali, levyn rakenne tai valmistusprosessin osa muuttuu, joudutaan kokeet suorittamaan uudelleen. Analyyttiset menetelmät perustuvat testattuihin laskumenetelmiin, joten ne ovat kustannustehokkaampia ja toimivat paremmin yleisellä tasolla. (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 4.)

CLT-levyn mitoitukseen voidaan käyttää kolmea erilaista analyyttista laskentamenetelmää:

1) Mekaanisesti liitetyt palkit – Gamma-menetelmä

   Menetelmä on yleisesti käytössä etenkin Euroopassa. Laskennassa huomioidaan ainoastaan kuormituksen suuntaiset kerrokset. Levyillä, joiden pituuden suhde levyn paksuuteen (L/d) on ≥30, pituussuuntainen leikkausmuodonmuutos jätetään huomioimatta. Suositellaan käytettäväksi 3 tai 5 kerroksisilla CLT-levyillä mutta voidaan suorittaa laskelmia myös 7-kerroksisille levyille tietyin muutoksin. (Gagnon & Mohammad 2011, 20.)

2) Komposiittiteoria – K-menetelmä

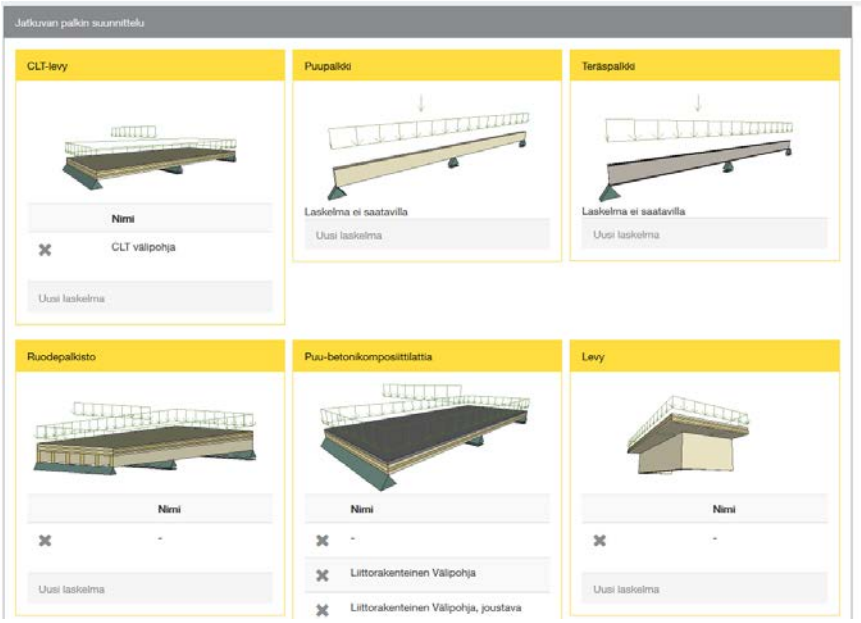
   Alun perin käytetty vaneriteollisuudessa mutta muokattuna voidaan myös käyttää CLT-laskentaan. Laskennassa huomioidaan kaikkien kerrosten jäykkyys.

Komposiittikerroin k_i*, määritellään, jonka avulla kestävyys ja jäykkyys mitoitukset suoritetaan.* Levyillä, joiden pituuden suhde levyn paksuuteen (L/d) on ≥30, leikkausmuodonmuutokset jätetään huomioimatta. (Gagnon & Mohammad 2011, 24.)

3) Leikkausanalogia (Kreuzinger)

Kaikista tarkin laskentamenetelmistä. Ei aseta rajoituksia kerrosten määrälle ja ottaa huomioon jokaisen kerroksen kimmomoduulin ja leikkauslujuuden molempiin suuntiin. Leikkausmuodonmuutoksia ei jätetä huomioimatta. (Gagnon & Mohammad 2011, 25.)

Näiden lisäksi on myös joitain yksinkertaistettuja menetelmiä. Myös Stora Enso tarjoaa ilmaisen Calculatis-suunnitteluohjelman, jolla pystytään suorittamaan alustavia laskelmia, liittyen CLT rakenteiden suunnitteluun. Ohjelman käyttö edellyttää tietämystä rakennetekniikasta, CLT-levyn ominaisuuksista, CLT-rakenteiden suunnitteluun liittyvistä käsitteistä sekä ohjelmaan syötettävistä tiedoista. Ohjelmalla voidaan suorittaa alustavat mitoitukset (Kuvio 4) CLT-levylle, puu- ja teräspalkeille, CLT-ruodepalkistolle, CLT-betoni liittolaatalle sekä ulokelaatalle. Muita mahdollisia mitoituskohteita ovat pilarianalyysit, seinäelementtien suunnittelu, liittymien suunnittelu, rakennusfysikaaliset analyysit sekä palomitoitus. Ohjelma suorittaa laskelmat perustuen Gamma-menetelmään mitoitettaessa CLT-levyä ja liittorakennetta.



Kuvio 4. Calculatis -suunnitteluohjelma (Stora Enso 2017)

3.6 Mekaanisesti liitetyt palkit

Yleisesti käytetty laskentamenetelmä on puurakenteiden suunnittelua käsittelevän Eurokoodi 5:n B-osasta löytyvä mekaanisesti liitettyjen palkkien-menetelmä, tunnetaan myös ”Gamma” menetelmänä. Gamma menetelmän (Kaava 1) mukainen tehollinen jäykkyys (EI_{eff}) määritellään liitoksen hyötysuhdekertoimen mukaan. Hyötysuhteen teho on riippuvainen kiinnikkeiden liukumisominaisuudesta (s/K), jossa s on liitinväli ja K siirtymäkerroin. Liitoksen ollessa täydellinen, gamma (ɣ) on 1 ja ilman liitosta 0. (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 4.)

Kuvio 5. 5-kerroksisen CLT-levyn poikkileikkaus (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 28)

Kuviossa 5:

h_{tot}	poikkileikkauksen korkeus
b	poikkileikkauksen leveys
h	levyn pituussuuntaisen lamellin korkeus
$\bar{h}$	levyn poikittaissuuntaisen lamellin korkeus

Kuvion viisi CLT-levyn tehollinen jäykkyys määritellään kaavan 1 mukaan joka löytyy muun muassa FPInnovationin CLT-Handbookista (2011, Chapter 3, 28). Huomautettavaa on, että kyseinen laskentatapa toimii ainoastaan 5-kerroksisella CLT-levyllä.

$$EI_{eff//} = \sum_{i=1}^{3} (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

$$EI_{eff//} = (E_1 I_1 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2) + (E_2 I_2) + (E_3 I_3 + \gamma_3 E_3 A_3 a_3^2) \quad [1]$$

jossa

EI_{eff}	tehollinen taivutusjäykkyys
E_i	kimmomoduuli
I_i	neliömomentti
γ_i	liitoksen hyötysuhdekerroin
A_i	poikkileikkauksen pinta-ala
a_i	ulommaisten lamellien keskikohdan etäisyys levyn poikkileikkauksen keskikohtaan

ja

$$A_i = b_i \cdot h_i \quad [2]$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad [3]$$

$$\gamma_2 = 1 \qquad [4]$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\pi^2 \cdot \frac{E_1 \cdot A_1}{l^2} \cdot \frac{\overline{h_1}}{G_R \cdot b} \right)} \qquad [5]$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \left(\pi^2 \cdot \frac{E_3 \cdot A_3}{l^2} \cdot \frac{\overline{h_2}}{G_R \cdot b} \right)} \qquad [6]$$

Jotta menetelmää voidaan soveltaa CLT-levyjen mitoitukseen, tulee siihen tehdä joitain muutoksia, johtuen levyssä käytetystä liimasta mekaanisten kiinnikkeiden sijaan. Menetelmässä oletetaan, että ainoastaan pidemmän säteen, eli jännevälin mukaiset kerrokset kantavat kuormaa, poikittaisten kerrosten toimiessa kuvitteellisina mekaanisina liittiminä, joilla pitkittäiset kerrokset on koottu palkeiksi. Näiden kuviteltujen ”liittimien” jäykkyydeksi oletetaan poikittaisten kerrosten vierintäleikkauskerroin kaavan 7 mukaan. (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 7.)

$$\frac{s}{K_i} = \frac{\overline{h}_i}{G_R \cdot b} \qquad [7]$$

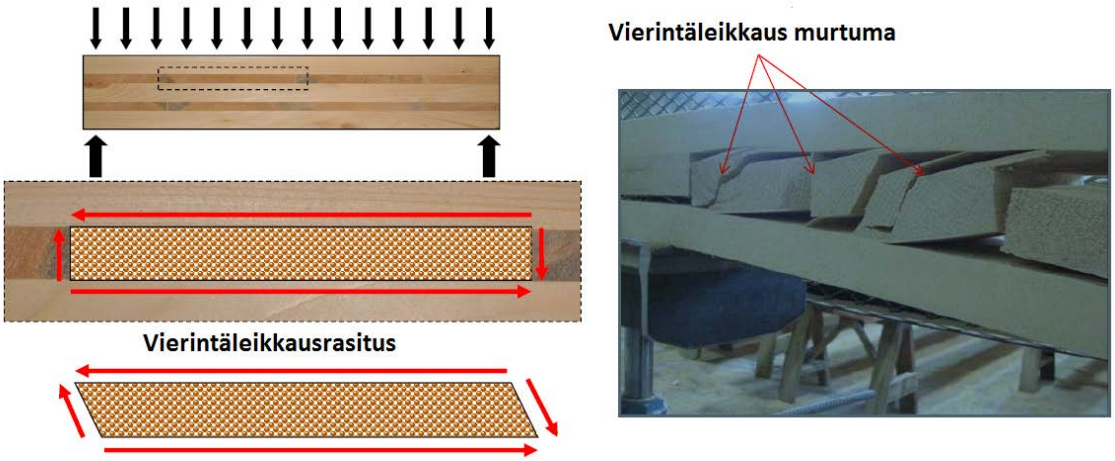
jossa

s	mekaanisten liittimien väli (Ei käytetä CLT:ssä)
K_i	liittimien siirtymäkerroin (Ei käytetä CLT:ssä)
$\dot{h}_i$	kerrosten paksuus poikittaissuunnassa
G_r	poikittainen vierintäleikkauskerroin
b	CLT-levyn leveys (laskennassa yleensä 1m)

Tällä menetelmällä saadut tulokset ovat täsmälleen paikkansa pitäviä ainoastaan yksinkertaisesti tuetuilla palkeilla ja laatoilla, joilla on sinimuotoinen kuormitus. Menetelmää voidaan kuitenkin käyttää myös tasaisesti-, sekä pistekuormitetuille rakenteille, koska saatujen tulosten ero on hyvin minimaalinen, ainoastaan 3% luokkaa joka on hyväksyttävää insinöörin suorittamissa laskelmissa. (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 4;8.)

3.7 Vierintäleikkauslujuus

Poikittaisten kerrosten vierintäleikkauslujuus tulee määrääväksi mitoituksessa, johtuen puun *anisotrooppisista* ominaisuuksista, joka tarkoittaa sitä, että puulla on erilaiset lujuusominaisuudet tangentin-, säteen- ja pituussuunnassa. Puun taivutuslujuuden ollessa suurin syysuunnassa ja heikoimmillaan se on, kun kuormitus tulee poikittain syysuuntaan nähden (Kuvio 6) – eli juuri jänneväliin nähden poikittaisissa lamellikerroksissa. (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 6.)



Kuvio 6. Vierintäleikkausmurtuma vuosirenkaissa (Gagnon & Mohammad 2011, 14)

Vierintäleikkauslujuuden suuruus riippuu monesta tekijästä – mm. puulajista, syykerrosten tiheydestä, puun kosteuspitoisuudesta ja vuosirenkaiden suunnasta. Vierintäleikkauskertoimen määrittämiseen ei ole vielä yksimielisesti valittu sopivaa metodia. Yleisesti voidaan olettaa syysuuntaan pitkittäisen vierintäleikkauskertoimen olevan 1/12–1/20 todellisesta kimmokertoimesta ($G_0=E_{true}/G_0$) ja poikittaissuuntaisen ainoastaan 1/10 tästä ($G_r=G_0/10$). CLT-levyssä yleisesti käyte-

tyn kuusen vierintäleikkauskerroin G_r vaihtelee 40–80 MPa välillä. Yleisesti käytetään arvoa 50 MPa, joka on laskennan kannalta varmalla puolella. (CLT Handbook 2011, Chapter 3, 4–8.)

4 PUU-BETONILIITTORAKENNE

4.1 Teräsbetonivälipohja

Betonin keksimisellä on ollut merkittävä vaikutus rakennustekniikkaan suuren puristuslujuutensa ansiosta. Sen alhaisen vetolujuuden tuomiin ongelmiin on pyritty vastaamaan lisäämällä vetoteräksiä rakenteen vetorasitetulle puolelle. Näin toimitaan myös teräsbetonivälipohjissa. Jotta rakenne kestäisi riittävästi momenttirasitusta, tulee puristus- ja vetoresultanttien sijaita tarpeeksi etäällä toisistaan.

Manaridis (2010, 1), Lukazewska (2009, 2), sekä Yeoh (2010,12) mainitsevat, että taivutetun betonirakenteen vetorasitetun osan betoni toimii tehottomasti halkeilun myötä ja tavanomaisissa välipohjarakenteissa tämä tarkoittaa sitä, että noin puolet välipohjan betonista tarvitaan ainoastaan pitämään vetoteräkset sopivalla etäisyydellä puristusvyöhykkeestä. Asia ei kuitenkaan ole näin yksiselitteinen ja se, että halkeileeko betoni alimitoitetun rakenteen vuoksi, nousee myös kysymykseksi. Betonin tehtävänä on kuitenkin myös emäksisyydellään suojata teräksiä korroosiolta riittävän suojakerroksen avulla. Kuitenkin, jos rakenne pääsee halkeilemaan vetopuolelta, antaa se kosteudelle mahdollisuuden tunkeutua rakenteeseen ja reagoimaan terästen kanssa. Toisaalta, jos vetoteräksiä ei tarvittaisi, myös vältyttäisiin alapuolisen betonin käytöltä rakenteen vetorasitetulla puolella. Tämän ajatuksen myötä on päädytty kokeilemaan puuta teräsbetonirakenteen vetorasitetulla puolella.

Välipohjarakenteiden muodostaessa noin 65–75 % rakennuksen materiaaleista ja painosta (Benton 2016) on selvää, että pyrkimykset näiden rakenteiden keventämiseen, on keino vastata kasvaneeseen korkeiden rakennusten kysyntään. Tähän asti siihen on pyritty käyttämällä ontelo- ja TT-laattoja, sekä muilla vastaavilla rakenteilla, joista rakenteen toiminnan kannalta tarpeeton betoni on pyritty karsimaan pois. Näin ollaan saatu teräsbetonirakenteiden omapainoa pienennettyä. Kestävän kehityksen ajattelumallin yleistyminen ja pyrkimykset rakentamisesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen ovat ohjanneet osaltaan kehittelemään ja kokeilemaan vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja. Tämä onkin herättänyt suurta kiinnostusta puun käyttöön yhdessä betonin kanssa.

Korvaamalla teräsbetonirakenteen vetorasitetun osan vetoteräkset ja niitä paikallaan pitävä betoni puulla, rakenteen paino kevenee huomattavasti, ilman taivutusjäykkyyden heikkenemistä. Paikallavalukohteissa puu toimii myös valumuottina, jolloin erillisille holvimuoteille ei ole tarvetta. Puupinta voidaan myös jättää näkyville palomääräysten niin salliessa. Puupinnalla on suuri vaikutus tilojen estetiikkaan ja arkkitehtuuriseen suunnitteluun. Puubetoni-liittorakennetta verrattaessa teräsbetonirakenteeseen, puun etuina ovat keveys, hinta, matalat hiilidioksipäästöt ja vähäinen energian kulutus (Manaridis 2010, 1).

4.2 Liittorakenne

Jokaisella materiaalilla on sille tyypillisiä hyviä ja huonoja ominaisuuksia, jotain missä se toimii paremmin kuin muut materiaalit. Kun näitä heikkoja kohtia pyritään vahvistamaan – oli kyse sitten taivutus- tai puristuslujuudesta, jäykkyydestä, palonkestävyydestä, termisen massan lisäämisestä tai akustisista ominaisuuksista – on liittorakenteen käyttö järkevä ratkaisu. (Benton 2016.)

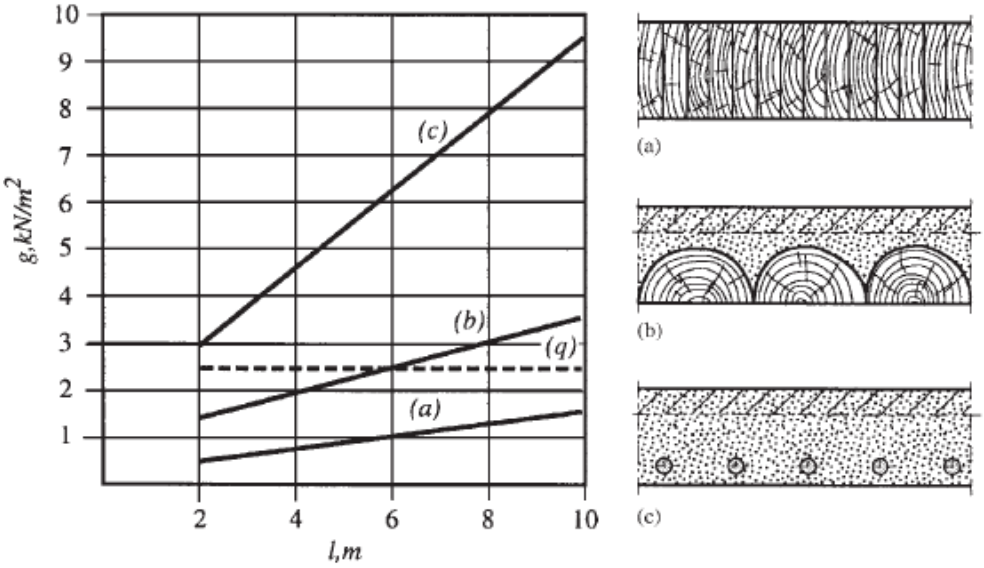
Liittorakenteen käyttöön ohjaa sama asia joka viimekädessä ohjaa kaikkea rakentamista – raha. Pyrkimyksissä pienentää rakentamisen kustannuksia ja päästöjä, ei mikään yksittäinen materiaali ole ratkaisu, vaan tulisikin pyrkiä hyödyntämään eri materiaaleja optimaalisesti. Yhdistämällä materiaalien hyvät ominaisuudet liittorakenteen avulla, pystytään rakennukseen käytettävien materiaalien määrä optimoimaan, kun huonoja ominaisuuksia ei pyritä kompensoimaan rakenteita kasvattamalla tai lisäämällä. (Benton 2016.)

Liittorakenteen ajatusta voidaan soveltaa kokonaisten rakennusten osalta, jolloin voitaisiin puhua jo hybridirakennuksista. Mikään ei esimerkiksi estä käyttämästä CLT-levyä välipohjarakenteissa, vaikka seinät olisikin tehty teräsbetonista. Tällä tavoin pystytään rakennuksen kokonaispainoa pienentämään huomattavasti, joka vähentää perustusten kuormitusta ja vähentää esimerkiksi paalutuksen tarvetta huonoissa perustamisolosuhteissa.

Ensimmäisen ja toisen maailmansodan aikainen pula teräksestä edesauttoi puubetoni liittorakenteiden syntymistä, kun oli kehitettävä vaihtoehtoisia ratkaisuja teräsbetonille. Yksinkertaisia liitoksia nauloilla ja teräsliittimillä kokeiltiin ja ne

osoittautuivat toimiviksi ratkaisuiksi. Liitosta hyödynnettiin siltarakenteissa ja vanhojen puurakenteisten lattioiden vahvistamisessa. Puu-betoniliittorakenteiden käyttö on lisääntynyt tasaisesti viimeisten 50 vuoden aikana ja runsaasti tutkimustyötä on tehty liittorakenteen parissa viimeisten 30 vuoden aikana. (Dias 2005, 15; Yeoh 2010, 11.)

Puu-betoniliittorakenteella voidaan saavuttaa kolminkertainen kantavuus ja kuusinkertainen taivutusjäykkyys verrattuna perinteisiin puulattiarakenteisiin, jos materiaalien välinen liitos on tarpeeksi tehokas ja yhteistoiminta materiaalien välillä on riittävän hyvä. Kuviosta 7 voi nähdä, että 6,0 m jännevälillä teräsbetoni lattian ominaispaino on n. 2,5 kertainen puu-betoniliittorakenteeseen verrattuna. Puulattian ollessa liittorakennetta tehokkaampi tulee liittorakenne kuitenkin halvemmaksi toteuttaa (Ceccotti 2002, 1.)



Kuvio 7. Lattiarakenteen omanpainon *g* suhde jännevälillä *l,* hyötykuormalla *q=2,5 kN/m2*: a) syrjälankkulattia b) puu-betoni liittorakenne c) teräsbetonilaatta. (Ceccotti 2002, 3)

Mahdollisuuksien mukaan tulisi pyrkiä käyttämään pihkatonta ja kuivaa puuta, jossa ei ole kiinnityksiä haittaavia koloja eikä halkeamia. Puulajien käyttöä joilla on korkea sokeripitoisuus, tulisi välttää niiden mahdollisen epäsuotuisan reagoinnin sementin kanssa. On suositeltavaa jättää muotit ja alapuoliset tuennat paikalleen pidemmäksi aikaa, kuin teräsbetonirakenteilla, johtuen betonin suuresta vi-

rumasta kovettumisvaiheessa. Jos paksuja betonikerroksia suunnitellaan, ne tulisi raudoittaa mahdollisia halkeamia vastaan. Puuta tulee myös suojella betonivalun aikaiselta kosteudelta esimerkiksi muovikalvolla puun ja betonin välissä. Suositeltavaa on myös käyttää betonia, jossa on pieni vesi/sementti suhde, jotta betonin kutistuminen olisi mahdollisimman pientä. Lisäaineiden käyttöä voi myös harkita kutistumisen hillitsemiseen liittyen. (Ceccotti 2002, 11.)

4.3 Viruman vaikutus

Viruma on ajasta riippuvainen muodon muutos materiaalissa. Tarpeeksi kauan ja riittävän suurella rasituksella kuormitettuna, materiaali alkaa muuttaa muotoaan, joka voi liian suureksi muodostuessaan aiheuttaa ongelmia rakenteen kestävyydessä. Johtuen puun ja betonin, sekä yleisesti näiden kahden yhdistämisessä käytetyn teräksen, hyvin erilaisista mekaanisista ja hygrothermisistä (kosteus ja lämpö) ominaisuuksista, on vaikea saavuttaa täydellistä harmoniaa näiden materiaalien välillä. Tästä huolimatta, ei yhtään vakavaa ongelmaa käyttörajatilassa eikä romahdusta, ole raportoitu yli 30 vuoden käytön aikana. (Ceccotti 2002, 4.)

Epälineaaristen materiaaliominaisuuksien vuoksi on kehitelty FEM (Finite element method=elementtimenetelmä) menetelmiä, joilla pystytään ottamaan huomioon materiaalien hyvin erilaiset käyttäytymismallit. Nämä menetelmät eivät kuitenkaan ole kaupallisesti saatavilla, eivätkä ole hyvin käyttäjäystävällisiä. Joitain kaupallisia sovelluksia on olemassa mutta niitä rajoittaa kuormituksen epämääräisyys, liitostavat, sekä jos rakenne on hyperstaattinen, eli staattisesti määräämätön, riippuen rakenteen tuennasta. (Ceccotti 2002, 6.)

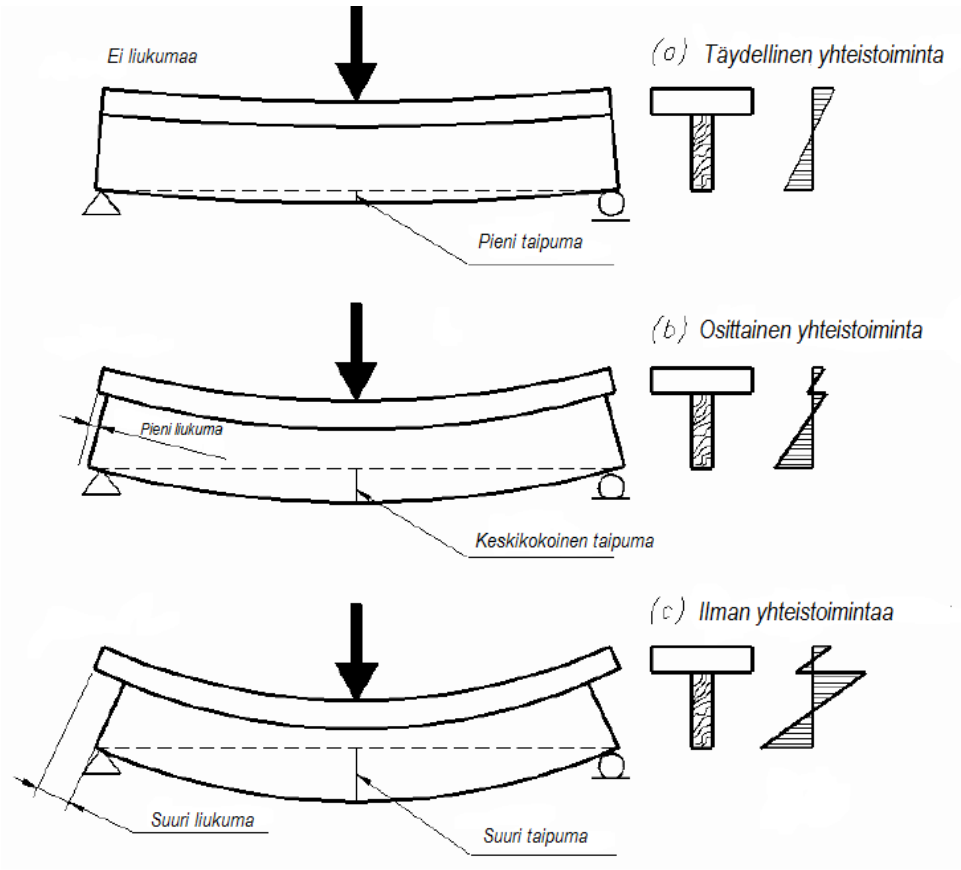
Viruman vaikutuksia voi olla vaikea arvioida, kun ajan kanssa materiaalien käyttäytymiseen vaikuttavat prosessit eivät ole johdonmukaisia. Betoniin tulee ajan kanssa virumaa ja se kutistuu, kun taas puu voi turvota ja kutistua viruman lisäksi. Virumaa ilmenee enemmän kiinnikkeissä kuin puussa. Materiaalien toiminta erilaisissa kuormitustapauksissa ja ilmasto-oloissa aiheuttaa sisäisiä rasituksia materiaalien välillä. Jos betonissa ilmenee enemmän virumaa kuin puussa ja kiinnikkeissä, aiheuttaa se suurempaa rasitusta puussa kuin betonissa. Ilmaston

muuttuessa kylmästä ja kosteasta ilmasta kuumaan ja kuivaan, betoni laajenee ja puu kutistuu, jolloin rakenteessa ilmenee sisäisiä rasituksia. (Ceccotti 2002, 7.)

Edellä mainitut elementtimetodit pystyvät ottamaan huomioon eri materiaaleihin kohdistuvat vaikutukset ilmasto-olojen muutoksista. Vaikutuksiin liittyvät ilmiöt ovat hyvin monimutkaisia ja niiden toimintaan liittyvät olettamukset tulee tarkistaa konkreettisilla testeillä. (Ceccotti 2002, 7.)

4.4 Leikkausliitos

Liittorakenteen toiminnan kannalta olennaisin osa on liittorakenteen muodostavien materiaalien välillä oleva *leikkausliitos* ja sen jäykkyys. Kuviossa 8 kuvataan betonilaatan ja sen alapuolisen puupalkin liittorakenteen yhteistoimintaa. Jäykällä liitoksella on mahdollista saavuttaa täydellinen yhteistoiminta (Kuvio 8a) jossa liukumaa ei esiinny materiaalien välillä. Joustavassa leikkausliitoksessa esiintyy aina liukumaa, joka heikentää rakenteen taivutuslujuutta. Tällöin yhteistoiminta on vain osittainen (Kuvio 8b). Yhteistoiminnan voidaan myös olettaa olevan täydellistä, jos liukuma on niin pientä, että sen aiheuttamia muodonmuutoksia ei tarvitse ottaa huomioon. (Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2012, 13–14, 57-58.) Kuvio 8c kuvaa tavanomaista tilannetta, jossa betonilaatta on CLT-levyn päällä kelluvana laattana, jolloin ne toimivat erillisinä rakenteina ja kumpikin pyrkii vastustamaan taivutusta ilman yhteistoimintaa.

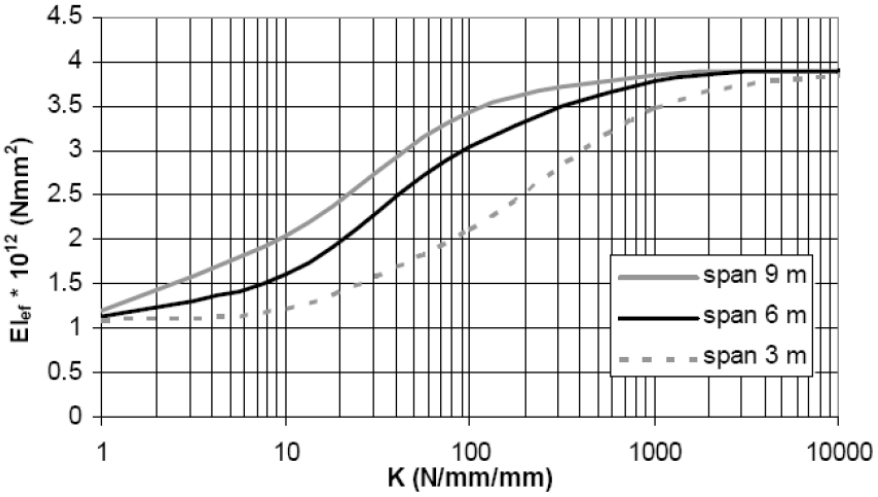


Kuvio 8. Liittorakenteen toiminta a) jäykkä liitos b) joustava c) ilman liitosta (Lukaszewska 2009, 38)

Optimaalisin tilanne puu-betoniliittorakenteen toiminnan kannalta on, että betoni ottaa vastaan ainoastaan puristusrasitusta ja puu on vetorasitettuna. Neutraaliakselin tulisikin sijaita lähellä materiaalien liitoskohtaa, ei kuitenkaan sen yläpuolella. Leikkausliitos pitää yllä rakenteen sisäistä voimatasapainoa puristetun yläosan ja vedetyn alaosan välillä. Riittävän yhteistoiminnan saavuttamiseksi, tulee leikkausliitoksen olla tarpeeksi jäykkä. Jäykkyyden kasvaessa, kasvaa myös liitokseen kohdistuva rasitus, joka liitoksen tulee kestää murtumatta. Leikkausliitoksen murtuessa voi koko rakenne romahtaa, kun rakenteen osia ei ole suunniteltu kestämään siltä vaadittuja rasituksia ilman liittorakenteen yhteistoimintaa (Manaridis 2010, 4).

Leikkausliitoksen toiminta voi olla täydellistä tai epätäydellistä. Voidaan myös puhua *osittaisesta leikkausliitoksesta*. *Täydellisen* leikkausliitoksen kestävyyden parantamisella ei ole vaikutusta rakenteen taivutuskestävyyteen, kun taas osit-

taisessa leikkausliitoksessa kestävyyttä lisäämällä, voidaan rakenteen taivutuslujuutta kasvattaa. Dias (2005, 29) esitti (Van der Linden 1999) taulukon avulla, ettei rakenteen taivutuslujuuden ja leikkausliitoksen kestävyyden suhde ole lineaarinen. Kuviosta 9 voidaan päätellä, ettei liitoksen kestävyyden parantaminen tietyn rajan yli mentäessä ole enää kannattavaa, koska sillä ei ole enää suurta merkitystä saavutettavaan taivutusjäykkyyteen. Toisaalta taas liitoksen ollessa liian heikko, ei liittorakenteen käyttö ole perusteltua taivutusjäykkyyden jäädessä alhaiseksi. (Dias 2005, 29.)



Kuvio 9. Rakenteen tehollisen taivutusjäykkyyden EI_{eff} ja leikkausliitoksen siirtymäkertoimen K suhde eri jänneväleillä (Dias 2005, 29)

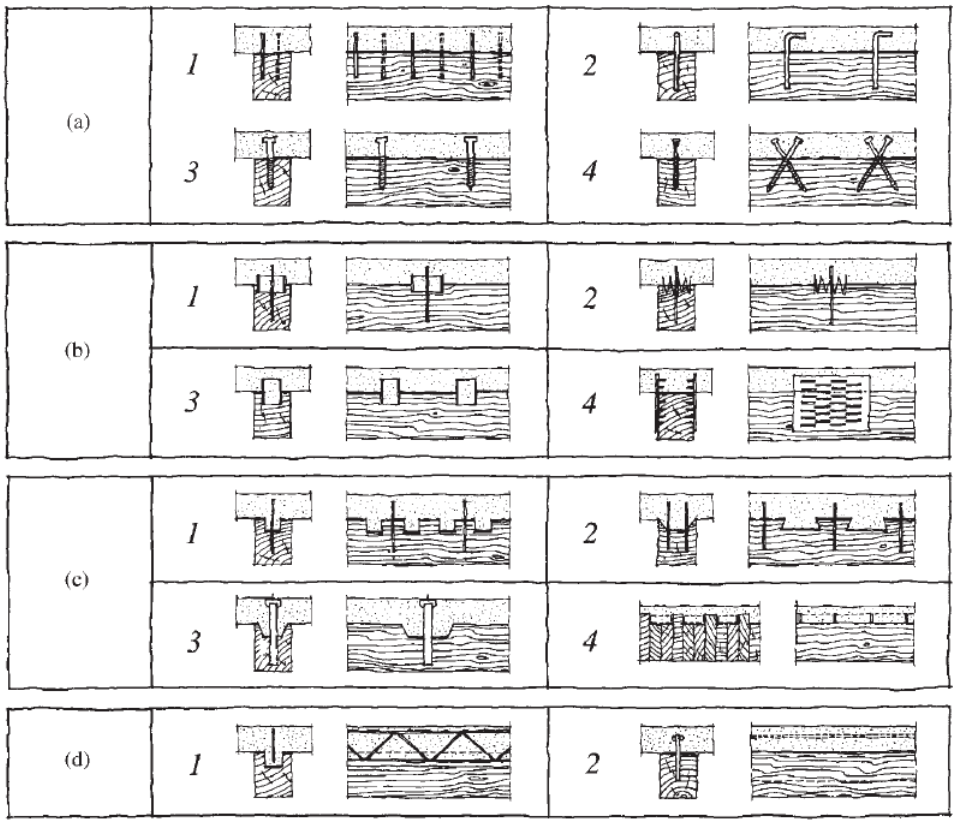
Heikon ja joustavan liittimen puutteita voidaan pyrkiä kompensoimaan lisäämällä liittimiä materiaalien välillä. Kuitenkin todella lyhyelle etäisyydelle toisistaan asennetut liittimet vaativat enemmän asennustyötä, joka nostaa rakentamisen kustannuksia (Manaridis 2010, 5). Tämä osaltaan laskee liittorakenteen kannattavuutta. Optimaalisinta olisi käyttää liitosta joka on kompromissi kustannusten ja lujuusominaisuuksien välillä.

Leikkausliitoksen tehtävä käyttörajatilassa on taata rakenteelta vaadittava taivutusjäykkyys, kun taas murtorajatilassa liitoksen tehtävä on varmistaa, että rakenne saavuttaa suunnitellun taivutuskestävyyden murtumatta (Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2012, 57). Käyttörajatila toimii pääasiallisena rajoittavana tekijänä, kun pidemmillä jänneväleillä taipumat ja värinät kasvavat yli sallittujen rajojen.

Kun rakenteen kuormitus ylittää murtorajan, tulisi liitoksella myös olla plastista muodonmuutoskykyä (Manaridis 2010, 5). Vaikka liitintyypille olisi ominaista plastinen käyttäytyminen, se ei tarkoita automaattisesti plastista käyttäytymistä liitoksessa. Jos liitos ylimitoitetaan, voi rakenteen murtuminen tapahtua puussa tai betonissa ennen kuin liitoksessa on nähtävissä plastista muodonmuutosta. Betonin ja puun käyttäytyminen murtotilassa voidaan luokitella hauraaksi, joten olisikin suotavaa, että rakenne alkaa myödätä leikkausliitoksessa ennen rakenteen sortumista. Tämä osaltaan antaa varoaikaa käyttäjille mahdollisessa murtotilassa, kun rakenne pääsee hiljalleen taipumaan ennen lopullista sortumista.

4.5 Liitostapoja

Lukuisia tutkimuksia on suoritettu erilaisille puu-betoniliitoksille, joissa on tutkittu liitoksien käyttäytymistä rasituksen alla. Standardissa EN 26891 (ISO 6891) määritellään liitosten testaamisen pääperiaatteet. Kuviossa 10 on listattuna yleisimmin käytettyjä liitostapoja puu-betoniliittorakenteissa. Liitokset on ryhmitelty niiden jäykkyyden mukaan, jossa (a) ryhmän liitokset ovat kaikista joustavimpia, joilla saadaan aikaan osittainen yhteistoiminta ja (d) ryhmän liitokset kaikista jäykimpiä, joiden aikaan saama yhteistoiminta voidaan käsittää täydelliseksi. Ryhmissä a-c, ilmenee aina jonkinasteista liukumaa materiaalien välillä. Karkeasti arvioiden voidaan todeta, että (a) ryhmän liitoksilla saavutetaan ainoastaan 50% ryhmän (d) taivutusjäykkyydestä. (Ceccotti 2002, 3.)

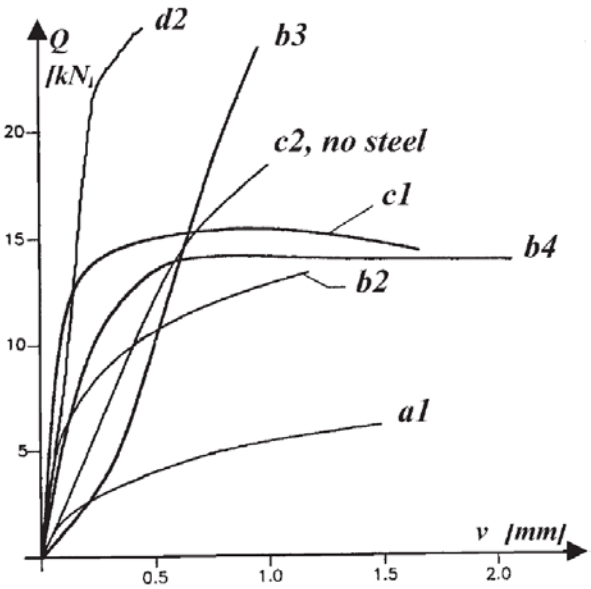


Kuvio 10. Liitoksia puun ja betonin välillä (a1) nauloja (a2) puuhun liimatut harjateräkset (a3&4) ruuveja (b1&2) renkaita ja hammastettuja laattoja joissa tappi keskellä (b3) teräsputki (b4) naulalevy (c1-3) eri muotoisia lovia joissa kiinnikkeet (c4) syrjälankku kansi jossa lankkujen välissä teräs levyjä (d1) teräsristikko/verkko liimattuna puuhun (d2) teräslevy liimattu puuhun (Ceccotti 2002, 4)

Yleisimmin käytettyjä liitoksia välipohja ja lattiarakenteissa ovat (Kuvio 10a4) ja (Kuvio 10d1&2). Siltarakenteissa on yleisesti käytettynä (Kuvio 10c) loveuksia, jotka on vahvistettu esiporattuihin reikiin liimatuilla tartuntateräksillä. Lovettujen liitosten toiminta perustuu puristuspintaan, johon betonilaatta puristuessaan tukeutuu. Liitokseen saadaan muodonmuutoskykyä käyttämällä lisäksi esim. harjaterästartuntoja (Kuvio 11).

Kuvio 11. Liittorakenteisen sillan leikkausliitos ennen valutöitä (Jutila 2010)

Kuvion 10 liitintyyppien käyttäytymistä rasituksessa on kuvattu kuviossa 12. Kuviosta selviää, että liimattujen liitosten (Kuvio 10d) käyttäytyminen eroaa merkittävästi ruuvi, tappi yms. liitosten (Kuvio 10 a-c) toiminnasta, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kuvion 10d liitokset osoittavat suurta jäykkyyttä ja kestävyyttä. Niiden käyttäytyminen on myös lähes lineaarista murtumaan saakka, joka tapahtuu ilman suurta muodonmuutosta. Kuvion 10 a-c ryhmien liittimet osoittavat paljon pienempää jäykkyyttä ja kestävyyttä, mutta suurempaa plastista muodonmuutoskykyä. (Dias 2005, 26.)



Kuvio 12. Kuviossa 10 esitettyjen leikkausliitosten toiminnan kuvaus kuormituksessa. *Q* on liittimeen kohdistuva leikkausrasitus ja *v* liittimen siirtymä (Ceccotti 2002, 4)

Käytettäessä mekaanisia kiinnikkeitä, tulee niiden valmistusmateriaaleihin yhteensopivuuteen kiinnittää huomiota. Kiinnikkeiden tulisi olla sinkittyjä tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja. Betonin verkotusta tulisi myös miettiä, että onko ruostumattoman teräksen käyttäminen perusteltua, jotta vältytään kiinnikkeiden ja verkon väliseltä syöpymiseltä. Pahimmassa tapauksessa, jos leikkauskiinnikkeet ovat epäjalompaa metallia kuin lattiaverkossa käytetty, voivat ne alkaa syöpyä ja syöpymisen edetessä tarpeeksi pitkälle, voi se johtaa liitoksen pettämiseen ja rakenteen sortumiseen.

4.6 Märkä- ja kuivaliitos

Betonin ja puun liitos voidaan tehdä joko kahdella eri tavalla – märällä tai kuivalla liitoksella. Kuivaliitos tapahtuu yleisimmin liittämällä tehtaalla valmistettu betonilaatta ruuvein alapuoliseen puulevyyn tai -runkoon. Betonielementin sisään on tehtaalla valettu leikkauskiinnikkeet (Kuvio 13), jotka toimivat ohjureina ruuveille, joilla betonilaatta ja puuelementti liitetään toisiinsa työmaalla. Tämä menetelmä voi vaatia puuelementin väliaikaista alapuolista tuentaa ennen betonielementin liittämistä, jotta liialliselta alkutaipumalta vältytään. Suunnittelussa tuleekin huomioida rakenteiden kestävyys ennen liittorakenteen yhteistoiminnan alkamista. Myös betonielementin nostoon tulee kiinnittää huomiota.

Kuvio 13. Kuivan liitoksen kiinnitysmenetelmä (MyTiCon)

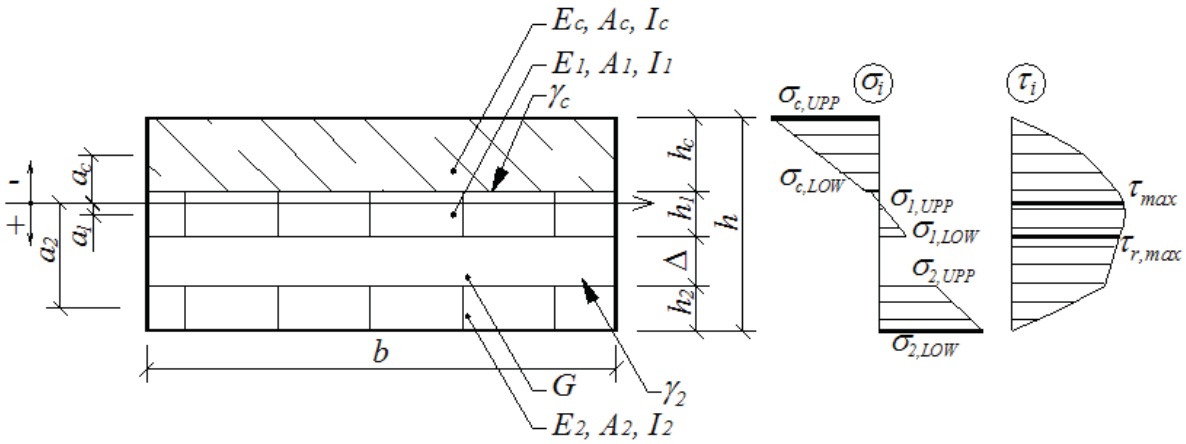
Märkäliitos ei automaattisesti tarkoita paikallavalettua rakennetta. Betonilaatta voidaan myös valaa valmiiksi puuelementtien päälle tehtaalla, jossa betonin kovettuminen ei viivästytä työmaan toimintoja. Kovettumisen jälkeen valmiit liittorakenne-elementit toimitetaan asennusvalmiina työmaalle ja asennetaan paikalleen. Elementit voivat olla joko kauttaaltaan betonoituja tai ne voidaan jättää reunoiltaan vajaaksi, jolloin ne liitetään toisiinsa juotosvalulla ontelolaattojen tapaan. Näin laatastosta saadaan yhtenäinen. Kosteudenhallintaan tulee kiinnittää huomiota liitoksia suunniteltaessa, ettei märkä betoni pääse kastelemaan seinä yms. rakenteita. (Skidmore, Ownings & Merrill 2014, 10.)

Työmaalla suoritettavassa märässä liitoksessa betoni valetaan normaalin paikallavalulaatan tavoin puun päälle. Ennen valutöitä puu on suojattu kosteutta läpäisemättömällä muovilla (Kuvio 14a) yms. ja leikkausliitoksen kiinnikkeet (Kuvio 14a&b) sekä lattiaraudoitus (Kuvio 14c) ja mahdolliset sähköjohtojen suojaputket (Kuvio 14e) on asennettu valmiiksi. Työmaalla tehtävän märän liitoksen haittapuolia on pitkä alapuolisen tuennan tarve (Kuvio 14d), joka voi hidastaa rakennusprojektin muiden työvaiheiden etenemistä. Tukien tulee olla paikallaan siihen asti, että betoni tavoittaa suunnittelulujuuden, jotta haitallisilta taipumilta vältytään. Myös lisäkosteuden tuominen kuivana pidettyyn rakennustapaan voi herättää epäilyksiä ja kosteudenhallintaan tulisikin kiinnittää erityistä huomiota. Betonin kutistuminen kuivuessaan voi aiheuttaa lisärasitusta ja taipumaa rakenteessa, joten vähän kutistuvaa betonia on syytä käyttää ja huolehdittava, ettei betoni pääse kuivumaan liian nopeasti. Joissain tapauksissa voi olla suositeltavaa, että rakenteeseen luodaan pieni 10-15mm esitaivutus ylöspäin, jolla pyritään ehkäisemään betonin kutistumisesta aiheutuvia haittoja. Esitaivutusta käytetään myös ontelolaatoissa.

Kuvio 14. Paikallavalettava CLT-betoni liittorakenne a) leikkausliitoksen muodostavat ruuvit b) ruuvirivistöt c) lattiaraudoitus asennettuna d) valun aikainen alapuolinen tuenta e) valuun jäävät sähköjohtojen suojaputket f) valmis lattiavalu (Beck 2011)

5 CLT-BETONILIITTORAKENNE

CLT-betoniliittorakenteen rakenteelliseen laskentaan on vielä tässä vaiheessa hyvin vähän tietoa saatavilla. Useassa paikassa mainitaan, että suunnitelmat voidaan toteuttaa Gamma menetelmän avulla mutta ei kuitenkaan varsinaisesti kerrota, että miten se käytännössä tapahtuu. Košicen teknillisessä yliopistossa Slovakiassa julkaistussa tutkimusraportissa kerrotaan puristuskokeista, jotka suoritettiin CLT-betoniliittorakenteelle, jonka leikkausliitos oli toteutettu liimaamalla. Raportissa on myös esitettynä laskentakaavat kyseiselle rakenteelle, jotka esitetään seuraavaksi.



Kuvio 15. Jännitys- ja leikkausvoima jakauma liittorakenteen poikkileikkauksessa (Kanócz & Bajzecerová 2015, 8)

Gamma menetelmän mukainen tehollisen taivutusjäykkyyden EI_{eff} laskenta kuvion 15 mukaiselle CLT-betoniliittorakenteelle kaavan [8] mukaan:

$$(EI)_{eff} = \sum_{i=c,1,2} \left(E_i I_i + \gamma_i E_i I_i A_i a_i^2 \right) \qquad [8]$$

jossa

EI_{eff}	tehollinen taivutusjäykkyys
I_i	kerroksen i neliömomentti
A_i	kerroksen i poikkileikkauksen ala

a_i kerroksen i painopisteen etäisyys

ja

$$a_1 = \frac{\gamma_c E_c A_c (h_c/2 + h_1/2) - \gamma_2 E_2 A_2 (h_2/2 + \Delta + h_1/2)}{\sum_{i=c,1,2} \gamma_i E_i A_i} \quad [9]$$

$$a_c = a_1 - \frac{h_c + h_1}{2}, \quad a_2 = a_1 + \frac{h_1}{2} + \Delta + \frac{h_2}{2} \quad [10]$$

Kaavassa [10]:

h_i kerroksen i korkeus

Δ poikittaisen lamellikerroksen korkeus

Liimatut saumat voidaan olettaa jäykäksi ja ettei niissä esiinny liukumia, jolloin liitoksen hyötysuhdekerroin γ voidaan olettaa olevan 1.

$$\gamma_c = 1.0, \quad \gamma_1 = 1.0 \quad [11]$$

$$\gamma_2 = \left[1 + \pi^2 E_c A_c \Delta / \left(G_{90} b L^2\right)\right]^{-1} \quad [12]$$

Kaavassa [12]:

G_{90} vierintäleikkaus kerroin syysuuntaan

Δ poikittaisen lamellikerroksen korkeus

b CLT-levyn leveys

Alaindeksi ”$_c$” viittaa betonikerrokseen, ”$_1$” ensimmäiseen pituussuuntaiseen lamellikerrokseen ja ”$_2$” toiseen pituussuuntaiseen lamellikerrokseen. Kaavoissa [8] ja [12], on käytettävä jokaisen kerroksen omaa kimmomoduulia: Betonikerrokselle $E_{c,mean}$ ja CLT-levyn pituussuuntaisille lamellikerroksille käytetään puun syysuuntaista kimmomoduulia $E_{0,mean}$. Poikittaisten lamellikerrosten taivutusjäykkyys jätetään huomioimatta. (Kanócz & Bajzecerová 2015, 8.)

Normaalijännityksien jakautuminen poikkileikkauksessa voidaan laskea seuraavalla tavalla:

$$\sigma_{i,N} = \frac{\gamma_i a_i E_i M}{(EI)_{eff}}, \quad \sigma_{i,M} = \frac{h_i E_i M}{2(EI)_{eff}} \qquad [13]$$

missä

i c,1,2

Normaalivoiman suuruus ylemmässä ja alemmassa i kerroksen osassa voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\sigma_{i,UPP} = \sigma_{i,N} - \sigma_{i,M}, \quad \sigma_{i,LOW} = \sigma_{i,N} + \sigma_{i,M} \qquad [14]$$

missä

i c,1,2

Maksimi leikkausjännityksen suuruus riippuu neutraaliakselin sijainnista poikkileikkauksessa (Kuvio 15). Jos neutraaliakseli sijaitsee betonikerroksessa, maksimi leikkausjännitys lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\tau_{\max} = V_d \frac{E_c b_c (h_c/2 - a_c)^2/2}{(EI)_{eff} b} \qquad [15]$$

jos

$$|a_c| \leq h_c/2$$

[16]

Neutraaliakselin ollessa ensimmäisessä lamellikerroksessa, maksimi leikkausjännitys lasketaan seuraavalla tavalla:

$$\tau_{\max} = V_d \frac{\gamma_2 E_2 A_2 a_2 + E_1 b_1 (h_1/2 - a_1)^2/2}{(EI)_{eff} b}$$

[17]

jos

$$|a_c| \leq h_c/2$$

[18]

Leikkausjännitys ensimmäisen pitkittäisen ja poikittaisen lamellikerroksen saumassa lasketaan seuraavalla tavalla:

$$\tau_{roll} = V_d \frac{\gamma_2 E_2 A_2 a_2}{(EI)_{eff} b}$$

[19]

Leikkausjännitys CLT-levyn ja betonin saumassa lasketaan seuraavalla tavalla:

$$\tau_s = V_d \frac{\gamma_c E_c A_c a_c}{(EI)_{eff} b}$$

[20]

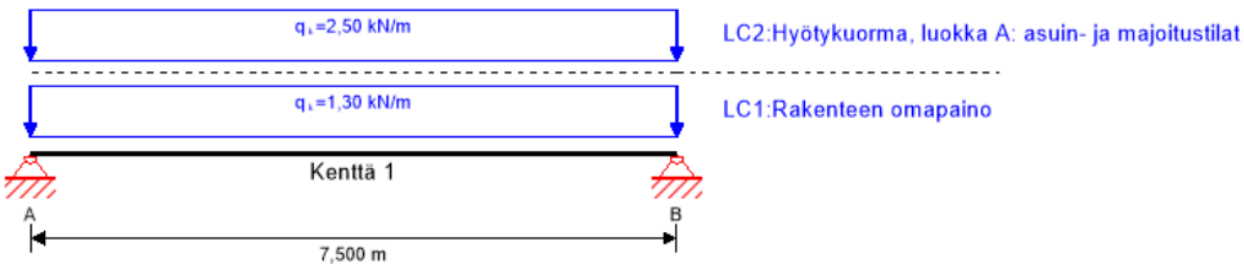
6 LIITTORAKENTEEN VERTAILU CLT-VÄLIPOHJAAN

6.1 CLT-välipohja ilman liiittorakennetta

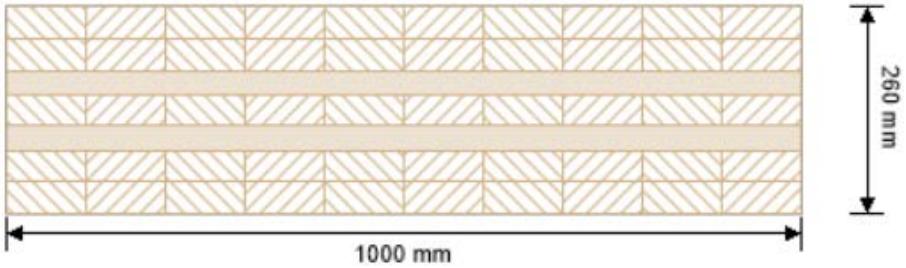
Seuraavissa luvuissa vertaillaan CLT-välipohjan toimintaa liittorakenteiseen välipohjaan. Ensin tutkitaan, millä CLT-levytyypillä saavutetaan pisin jänneväli. Tämän jälkeen selvitetään, kuinka paljon CLT-levyltä vaadittava paksuus pienenee, kuin käytetään liittorakennetta. Kahdessa viimeisessä luvussa tutkitaan, että kuinka paljon suurempi jänneväli saavutetaan kohdan 6.1 levyllä, käyttämällä liittorakennetta jäykällä ja joustavalla liitoksella. Vertailussa käytettävät laskelmat on suoritettu Stora Enson Calculatis -suunnitteluohjelmalla käyttäen Gamma menetelmää. Ohjelmasta saadut tulosteet ovat tämän työn liitteenä.

Ohjelmassa valitaan haluttu maa, jonka lainsäädäntöä ja määräyksiä halutaan sovellettavan laskelmissa, joka tässä tapauksessa on Suomi. Ohjelma asettaa vaaditut varmuus- yms. kertoimet ja vaatimukset näiden ohjeiden ja säännösten mukaan. Huomautettavaa on, että Stora Enso ei ota vastuuta ohjelman antamien laskelmien oikeellisuudesta, vaan saadut tulokset tulee aina varmistaa tapauskohtaisesti, ennen soveltamista todelliseen kohteeseen.

Ensimmäisenä tutkitaan CLT-levy rakenteista välipohjaa (Kuvio 16), joka koostuu CLT 260 L7s-2 levystä (Kuvio 17), joka on 260 mm paksu ja sen kaksi ylintä sekä alinta kerrosta ovat pidemmän jänteen mukaisesti. Levyn päällä on 50 mm sementti/kipsivalu ääneneristyksenä ja alapuolella on paloeristetty LVI-tila, jossa 2 x 12,5 mm kipsilevy ja 40 mm mineraalivilla. Ohjelma laskee automaattisesti rakenteen omapainoksi 1,3k N/m2 ja hyötykuorma luokka A 2,5k N/m2. Palonkesto vaatimukseksi asetettiin R120. Värähtelymitoitusta varten ilmoitetaan huoneen leveys, jossa lattia sijaitsee ja tässä tapauksessa annettiin mielivaltainen arvo 8,0 m. Ohjelmassa suositellaan käytettävän laskettavan CLT-levyn leveydeksi yhtä (1) metriä. CLT-levyn oletetaan olevan nivelellisesti tuettu.



Kuvio 16. CLT-välipohjan periaate kuva (Liite 1, 1)



Kuvio 17. CLT 260 L7s-2 poikkileikkaus (Liite 1, 1)

Kuviossa 18 on eriteltynä välipohjan käyttöasteet eri kategorioissa, ULS (Ultimate limit state) on murtorajatila, ULS Tulipalo on murtorajatila tulipalossa, SLS (Serviceability limit state) on käyttörajatila ja näiden lisäksi esitetään käyttöasteet värähtelyn ja kannatuksen osalta. Värähtely muodostui rajoittavaksi tekijäksi jännevälillä 7,5 m. Laskelmien tarkemmat erittelyt löytyvät liitteestä 1.

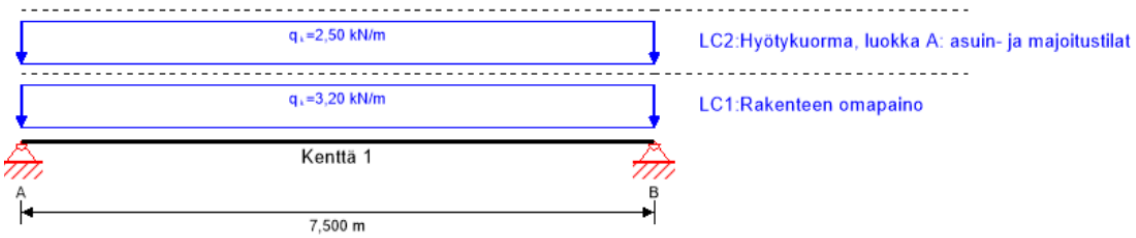
ULS	22 %	ULS Tulipalo	13 %	SLS	55 %
Värähtely	99 %	Kannatus	7 %		

Kuvio 18. Välipohjan käyttöasteet (Liite 1, 1)

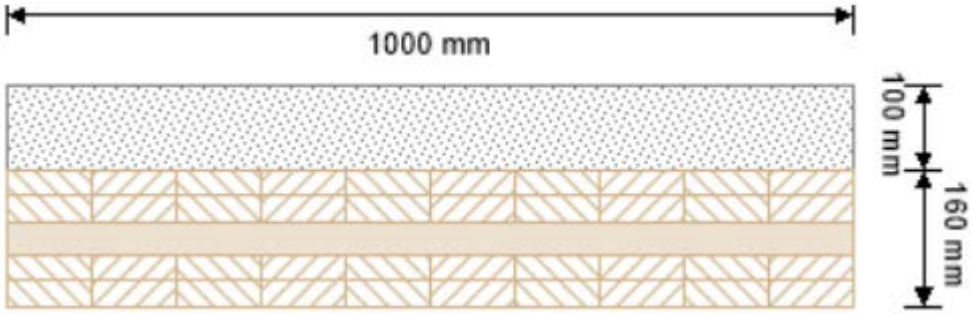
6.2 Liittorakenteen vaikutus CLT-levyn paksuuteen

Seuraavaksi tutkitaan samaa jänneväliä kuin kohdassa 6.1, eli 7,5 m ja kuinka paljon CLT-levyltä vaadittu paksuus pienenee, kun käytetään liittorakennetta. Liittorakenteen päällysteenä toimii 100 mm C30/37 teräsbetonilaatta, jossa on normaali lattiaraudoitus esim. 4#150 verkko. Laattaa ei muuten raudoiteta rakenteellisesti. Laattaa ei tarvitse muuta rakenteellista raudoitusta, koska se altistuu ainoastaan puristukselle. Liittorakennetta ei palosuojata alapuolelta. Liittorakenteen leikkausliitoksen oletetaan olevan jäykästi toteutettu CLT-levyyn sahattuihin

uriin liimatuilla verkoilla. Ohjelma laskee automaattisesti omapainon rakenteelle 3,20 kN/m2 ja hyötykuorma luokka A 2,50 kN/m2 (Kuvio 19). Välipohja on päistään tuettu nivelellisesti. Värähtelymitoitusta varten ilmoitettu huoneen leveys 8,0 m. CLT-levyn ohennuksen vuoksi pelkkä hiiltymismitoitus ei riittänyt palonsuojaukseksi, vaan välipohja laskettiin päällystettäväksi 2 x 15,0 mm kipsilevyllä.



Kuvio 19. Liittorakenteisen välipohjan periaatekuva (Liite 4, 1)



Kuvio 20. Liittorakenteen poikkileikkaus (Liite 4, 1)

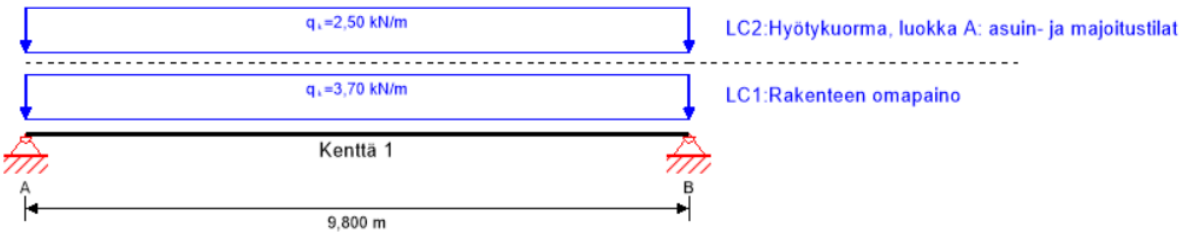
CLT-levyä ohennettiin 100 mm, käyttöasteen noustessa 105 % murtorajatilassa tulipalossa ja käyttörajatilan käyttöaste 102 % (Kuvio 21). Ylitykset ovat hyvinkin minimaalisia. Käyttämällä 180 mm CLT-levyä, joka ei tässä tapauksessa ollut mahdollista ohjelmassa ilmenneestä virheestä johtuen, olisi käyttöasteet pysyneet sallituissa rajoissa. Realistista on olettaa, että CLT-levyä voidaan ohentaa 80 mm käyttämällä liittorakennetta, jännevälillä 7,5 m.

ULS	60 %	ULS Tulipalo	105 %	SLS	102 %
Värähtely	56 %	Kannatus	40 %	Liittyminen	**86 %**

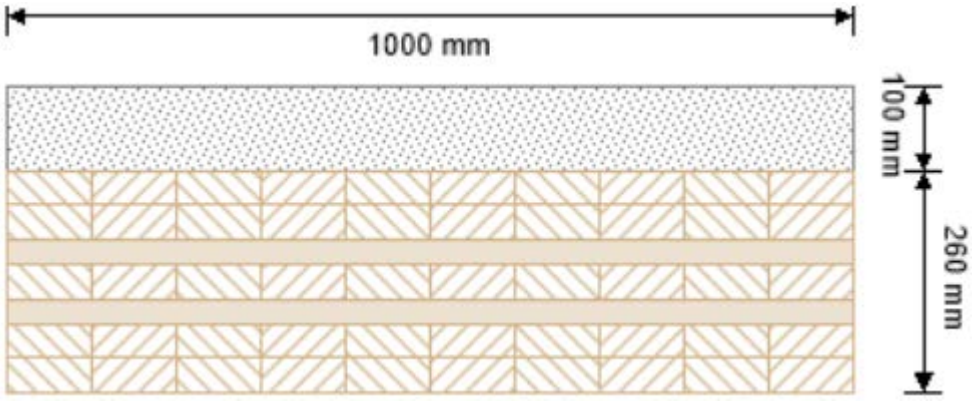
Kuvio 21. Liittorakenteen käyttöasteet (Liite 4,1)

6.3 Liittorakenteinen välipohja, jäykkäliitos

Liittorakenteessa käytetään samaa CLT 260 7s-2 levyä, kuin kohdassa 5.1. Levyn päälle valetaan 100 mm betonilaatta (Kuvio 19) C30/37 ja siihen tulee normaali lattiaraudoitus esim. 4#150 verkko. Laattaa ei tarvitse muuta rakenteellista raudoitusta, koska se altistuu ainoastaan puristukselle. Liittorakennetta ei palosuojata alapuolelta. Liittorakenteen leikkausliitoksen oletetaan olevan jäykästi toteutettu CLT-levyyn sahattuihin uriin liimatuilla verkoilla. Ohjelma laskee automaattisesti omapainon rakenteelle 3,70 kN/m2 ja hyötykuorma luokka A 2,50 kN/m2 (Kuvio 20). Välipohja on päistään tuettu nivelellisesti. Värähtelymitoitusta varten ilmoitettu huoneen leveys 8,0 m.



Kuvio 22. Liittorakenteisen välipohjan periaatekuva (Liite 2, 1)



Kuvio 23. Liittorakenteen poikkileikkaus (Liite 2, 1)

Kuviossa 21 on eriteltynä liittorakenteisen välipohjan käyttöasteet eri kategorioissa. Erittelyt ovat samat kuin kuviossa 18, mutta liittorakenteen mitoituksessa lisäksi tulee liittyminen (Kuvio 21) CLT-levyn ja betonilaatan välillä, joka tässä tapauksessa muodostui rajoittavaksi tekijäksi jännevälillä 9,8 m. Laskelmien tarkemmat erittelyt löytyvät liitteestä 2.

ULS	51 %	ULS Tulipalo	53 %	SLS	74 %
Värähtely	52 %	Kannatus	56 %	Liittyminen	99 %

Kuvio 24. Liittorakenteen käyttöasteet, jäykkäliitos (Liite 2, 1)

6.4 Liittorakenteinen välipohja, joustavaliitos

Muuten samanlainen rakenne kuin kohdassa 5.2 toteutetussa liittorakenteessa, mutta leikkausliitos toteutetaan ristikkäisillä ruuveilla, jossa ruuvien pituussuuntainen väli 200 mm ja ruuvirivien k/k 400 mm. Joustavalla liitoksella rajoittavaksi tekijäksi tuli myös liitoksen kestävyys jännevälillä 9,8 m (Kuvio 22 liittyminen).

ULS	54 %	ULS Tulipalo	58 %	SLS	87 %
Värähtely	61 %	Kannatus	56 %	Liittyminen	98 %

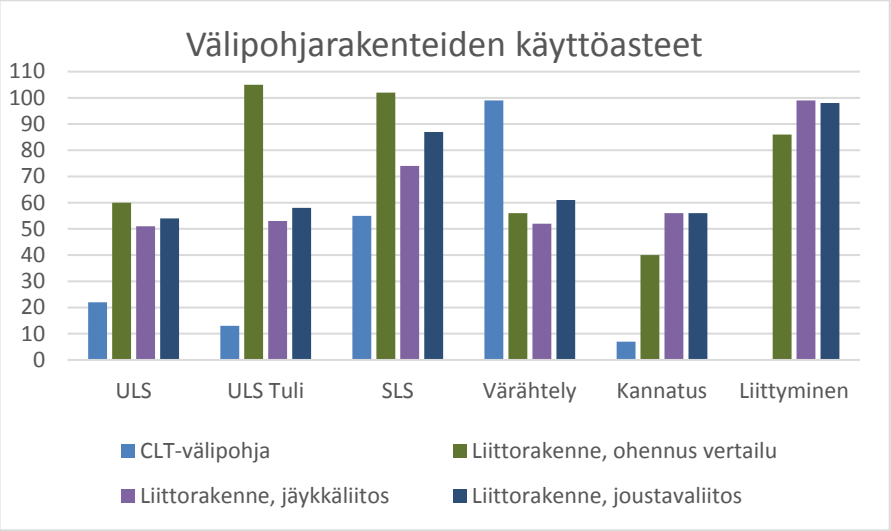
Kuvio 25. Liittorakenteen käyttöasteet, joustava liitos (Liite 3, 1)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Saatavilla olevan teoriatiedon perusteella voidaan todeta, että puu-betoniliittorakenne ja etenkin tämän työn painopisteenä oleva CLT-betoniliittorakenne, osoittautui varteen otettavaksi rakennevaihtoehdoksi. Varsinkin pidemmillä jänneväleillä, kun värähtelymitoitus muodostuu rajoittavaksi tekijäksi, voidaan vertailun perusteella todeta, että liittorakenne auttaa kontrolloimaan lattian haitallista värähtelyä ja sen avulla pystytään saavuttamaan pidemmät jännevälit välipohjassa. Liittorakenteella saavutettiin 30 % suurempi jänneväli verrattuna rakenteeseen, jossa ainoastaan CLT-levy toimi kantavana osana. Saavutetussa jännevälissä, jäykän ja joustavan liitoksen välillä ei ollut merkittävää eroa, vaan molemmilla saavutettiin 9,8 metrin jänneväli.

Ohjelmassa ilmenneen harmillisen virheen vuoksi, joka voi myös johtua loppukäyttäjästä, 180 mm levyn käyttö ei onnistunut laskelmissa. Käyttöasteen ylittyessä vain 5 % (Taulukko 1) voidaan kuitenkin olettaa, että CLT-rakennetta voidaan ohentaa 80 mm käyttämällä liittorakennetta. Levynmäärässä mitattuna 60 m^2 alalla CLT-levyä säästetään (0,26 m * 60 m^2) – (0,08 m * 60 m^2) = 4,8 m^3, joka CLT-levyn kuutiohinnalla 600 €/m^3 tarkoittaa 600 €/m^3 * 4,8 m^3 = 2880 € säästöjä levyn kustannuksissa. Jotta luotettava kustannusvertailu voitaisiin suorittaa rakenteiden kesken, tulisi kaikki välilliset ja välittömät kulut kartoittaa tarkasti, joka ei ole tämän työn kannalta tarkoituksenmukaista. Liittorakennetta käytettäessä lisäkuluja voi aiheutua mahdollisesta alapuolisen tuennan tarpeesta, leikkausliitoksen kiinnikkeistä, pumpatusta betonista yms. Liittorakenteen eduksi täytyy kuitenkin huomioida, että pidemmillä jänneväleillä tarvitaan vähemmän välituentaa, joka osaltaan laskee rakentamisen kokonaiskustannuksia, kun mahdollisia pilareja ja palkkeja tarvitaan vähemmän.

Taulukko 1. Välipohjarakenteiden käyttöasteet



Värähtelymitoitukseen liittorakenteella oli merkittävä vaikutus. Taulukosta 1 voi nähdä liittorakenteen vaikutuksen värähtelyyn. Ilman liittorakennetta lattian värähtely muodostui rajoittavaksi tekijäksi käyttöasteen kasvaessa liian suureksi, ollessaan 99 % jännevälillä 7,5 metriä. Liittorakenteisessa välipohjassa värähtely jäi ainoastaan puoleen sallitusta käyttöasteen ollessa 51 %, joustavan liitoksen värähtelyn ollessa hieman suurempaa käyttöasteella 61 %.

Liittorakenteen korkeamman omapainon vaikutuksen voi nähdä taulukon 1 kohdasta ”Kannatus”, joka mittaa rakenteeseen kohdistuvaa tukipainetta. Lisäpaino aiheuttaa huomattavan muutoksen kannatuksen käyttöasteeseen, joka sinällään ei vielä aiheuta rajoituksia. Olisi kuitenkin mahdollista kokeilla käyttää liittorakenteessa kevytbetonia, jolla saadaan rakenteen omapainoa laskettua mutta kuitenkin saavutetaan liittorakenteen tuomat edut.

Liittorakenteen leikkausliitoksen kestävyyden osoittautuessa rajoittavaksi tekijäksi, taipuman ollessa vielä hyväksyttävissä rajoissa, voi pidemmän jännevälin saavuttaminen olla mahdollista leikkausliitosta parantamalla. Tällöin tulee ottaa huomioon, onko leikkausliitoksen vahvistaminen esimerkiksi ruuvirivejä tihentämällä kustannustehokasta.

Mielenkiintoista olisi myös tutkia, minkälaisia vaikutuksia liitostapojen muuttamisella on liittorakenteen toimintaan. Lisätutkimusta aiheen parissa voisikin tehdä

kokeilemalla, esimerkiksi leikkausliitoksen toteuttamista harvalaudoituksena. Liimaamalla CLT-levyn päälle ainoastaan joka toinen lauta poikittaisesta lamellikerroksesta, toimivat lautojen väliin jäävät raot puristuspintana betonille, luoden tartunnan materiaalien välille. Lovet voisi varustaa vielä erillisin mekaanisin kiinnikkein, esimerkiksi ruuvein tai harjateräksin. Rakenteen hyödyntämistä etenkin kevyenliikenteen silloissa voisi olla mahdollista kartoittaa.

Liittorakenteen omapaino kasvaa huomattavasti vrt. ilman liittorakennetta toteutettuna. Ero rakenteiden välillä kuitenkin pienenee, jos ääneneristyksenä käytettävä kipsivalu vaihdetaan kelluvaan betonilaattaan. Kaikilla rakenteilla saavutettiin asetettu palonkesto aika R120 hiiltymismitoituksen perusteella. R120 tarkoittaa, että rakenne säilyttää kantavuutensa 120 min ajan tulipalossa. Palomitoituksen suhteen jäi kuitenkin epävarmuuksia, koska joissain tapauksissa ohjelma ei antanut virheilmoitusta, vaikka CLT-levy paloi lähes kokonaisuudessaan pois. Jos ohjelmaa aikoo käyttää mitoitukseen, tuleekin sen toimintaan perehtyä todella tarkasti ja todentaa saadut tulokset erikseen jollain toisella menetelmällä, ennen kuin niitä voi hyödyntää todellisissa rakenteissa.

Yksi jatkotutkimuksen kohde voisi myös olla vertailla erilaisia rakenneratkaisuja ja niiden hiilijalanjälkiä keskenään. Kartoitusta voisi tehdä mm. että minkälainen vaikutus kerrostalon hiilijalanjälkeen on, kun käytetään CLT-betoniliittorakenteisia välipohjia verrattuna perinteisiin paikallavalu- tai ontelolaatta välipohjiin. Lopputuloksena voisi olla esimerkiksi suhdeluku joka ilmaisee, kuinka monta kuutiota CLT:tä pitäisi käyttää yhdessä betonin kanssa, jotta betonin käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt saataisiin neutraalille tasolle.

Työn alussa CLT-betoniliittorakenteisiin liittyvän materiaalin saatavuuden hankaluus aiheutti allekirjoittaneessa epätoivon tunteita. Tietoa, joka käsittelee puu-betoniliittorakenteita, oli runsaasti saatavilla mutta varsinaista teoriaa koskien CLT-betoniliittorakenteita oli hyvin vähän saatavilla, jos ollenkaan. Ainakaan julkista tietoa ei löytynyt kuin harvasta lähteestä. Suurin osa työn tekemiseen käytetystä ajasta menikin tietoperustaa kerätessä, erilaisten vieraskielisten tohtoritöiden, sekä tieteellisten julkaisuiden läpi kahlaamisessa. Työn lopputuloksena on tiivistettynä teoriaa puu-betoniliittorakenteiden toimintaan liittyen, josta voi olla apua

niille, jotka aiheen parissa tekevät työtä tai tutkimusta. Työhön kerätty lähdemateriaali voi myös olla apuna tulevaisuudessa tehtäville tutkimuksille puu-betoniliittorakenteiden parissa.

LÄHTEET

Benton, J. 2016. Skidmore, Ownings & Merrill LLP. Videonauhoite. Masstimber Conference. Viitattu 17.2.2017 https://www.youtube.com/watch?v=KRWuuuKW8UY.

Beck, K. 2011. KLH Element. Hybrid CLT Concrete Project. Cross Laminated Timber Symposium. Viitattu 17.2.2016 https://www.unb.ca/fredericton/forestry/wstc/_resources/pdf/10.pdf.

Ceccotti, A. 2002. Composite concrete-timber structures. Progress in Structural Engineering. John Wiley & Sons Ltd. Viitattu 17.2.2017 https://www.researchgate.net/publication/229964540_Composite_concrete-timber_structures?ev=prf_pub

CLT:n vakiorakenteet. Stora Enso. Viitattu 10.1.2017 http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLTn-vakiorakenteet-FI.pdf.

Dias, A. 2005. Mechanical behaviour of timber-concrete joints. Research study. University of Coimbra.

Gagon, S. & Pirvu, C. 2011. CLT Handbook. Special Publication SP-528E.

Gagnon, S. & Mohammad, M. 2011. Structural Performance and Design of CLT Buildings. CLT Symposium and Workshop. Viitattu 17.2.2017 https://www.unb.ca/fredericton/forestry/wstc/_resources/pdf/04.pdf.

Jutila, A. & Salokangas, L. 2010. Wood-concrete composite bridges- Finnish specialty in the Nordic countries. ICTB Lillehammer Viitattu 17.2.2017 http://www.vegvesen.no/_attachment/202546/binary/392833.

Kanócz, J. & Bajzecerová, V. 2015. Various Composite Connections Part 3: Adhesive Connection. Technical University of Košice.

Lukaszewska, E. 2009. Development of Prefabricated Timber-Concrete Composite floors. Ph.D thesis. Luleå University of Technology.

Mainio, T. 2016. Maailman suurin hirsikoulu avasi ovensa Pudasjärvellä – hirrestä toivotaan ratkaisua rakennusten homeongelmiin. Viitattu 13.2.2017. http://www.hs.fi/kotimaa/art-2000002915336.html.

Manaridis, A. 2010.Evaluation of timber-concrete composite floors. Avdelningen för Konstruktionsteknik. Ph.D thesis. Lunds Tekniska Högskola.

MyTiCon Timber Connectors. Timber Concrete Composite – TCC Systems. White paper. Viitattu 17.2.2017 http://www.my-ti-con.com/resources.

Stora Enso Oy. (2015). CLT-tuotetiedot. Tekninen Kansio. Viitattu 17.2.2017 http://www.clt.info/fi/media-ladattavat/esitteet/rakentamisen-ratkaisut/.

Stora Enso Oy. Calculatis by Stora Enso. Viitattu 15.2.2017 https://engineer.clt.info/.

SOM LLP. 2014. Timber Tower Research Project. Viitattu 13.2.2017 http://www.som.com/ideas/research/timber_tower_research_project.

Vatanen, M. 2015. Future possibilities for CLT. Teollisuus ja luonnonvarat – T&K toiminta ja palvelut. Lapin AMK:n julkaisuja Sarja B 30/2015. Viitattu 13.2.2017 http://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=21559c62-42e6-47fb-83c8-fdccf0ef382a.

Wallner-Novak, M. Koppelhuber, J & Pock, K. 2014 Cross-Laminated Timber Structural Design. Basic design and engineering principles according to Eurocode. proHolz Austria Viitattu 17.2.2017 http://www.clt.info/fi/media-ladattavat/esitteet/rakentamisen-ratkaisut/.

Yeoh, D. 2010. Behaviour and design of timber-concrete composite floor system. Ph.D Thesis. University of Canterbury.

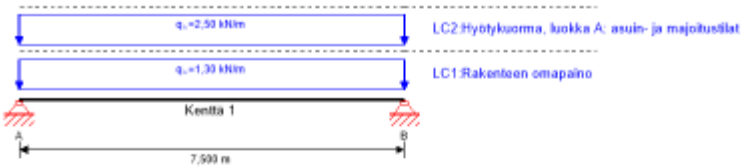
LIITTEET

Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat
Liite 2 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, jäykkäliitos
Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos
Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, levyn ohennus

Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 1(7)

Mika Polkajärvi	Projekti	Opari 2	Sivu 1
	Elementti	CLT välipohja	Päivämäärä 09.02.2017

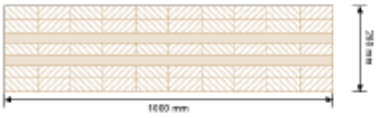
Järjestelmä



Maailmanlaajuinen käyttöaste 99 %

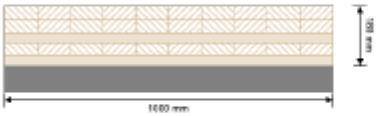
ULS	22 %	ULS Tulipalo	13 %	SLS	55 %	SLS Värähtely	99 %	Kannatus	7 %

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**		

Jakso Tulipalo: 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
t_{CLT}	**180,0 mm**		
Aika	**120 min**		

Paloluokka:R 120

Palonsuojakerrokset : 2 x 12.5 mm kipsilevy Tyyppi A + 40 mm eristevilla

Gipskartonbauplatte (nach ÖNORM B 3410 und DIN 18180)
Gipskartonfeuerschutzplatte (nach ÖNORM B 3410 und DIN 18180)
Die Steinwolle-Dämmung der Installationsebene muss eine Mindestrohdichte von 26 kg/m3 und einen Schmelzpunkt >1000 °C aufweisen.

$t_{ch,h}$	$t_{f,h}$	$t_{a,h}$	$d_{ba,h}$	k_0	d_0	$d_{char,0,h}$	$d_{ef,h}$
[min]	[min]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]
46	46	65	25	1	7	73,0	80,0

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/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
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	Kestoaika	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	Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3

LC1:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus alussa
	[kN/m]
1	1,30

Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 2(7)

LC2:Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat

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

ULS Yhdisteimät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,49/1,10 * LC1
LCO2	1,26/1,10 * LC1 + 1,65/0,00 * LC2

ULS Yhdisteimät Tulipalo

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

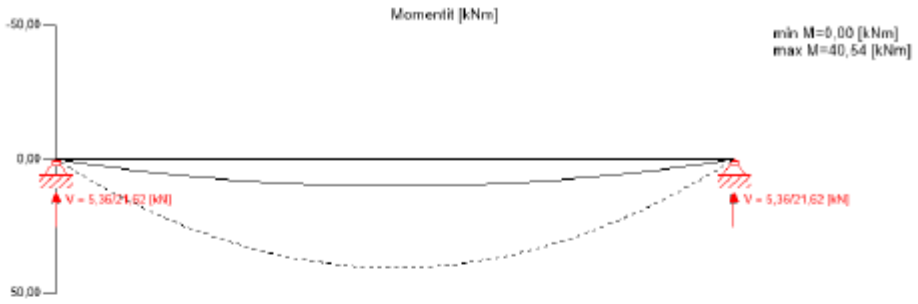
SLS Ominainen Yhdisteimä

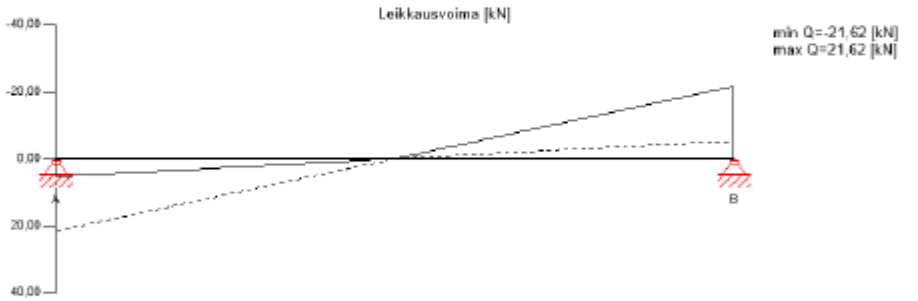
	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * LC2

SLS Lähes pysyvä Yhdisteimä

	Yhdistämissääntö
LCO3	1,00/1,00 * LC1
LCO4	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset





Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 3(7)

Mika Polkajärvi | Projekti: Opari 2 | Elementti: CLT välipohja | Sivu 3 | Päivämäärä 2.2017

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/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	3,75	24,00	1,25	0,80	1,10	16,90	40,54	3,80	22 %	LCO2

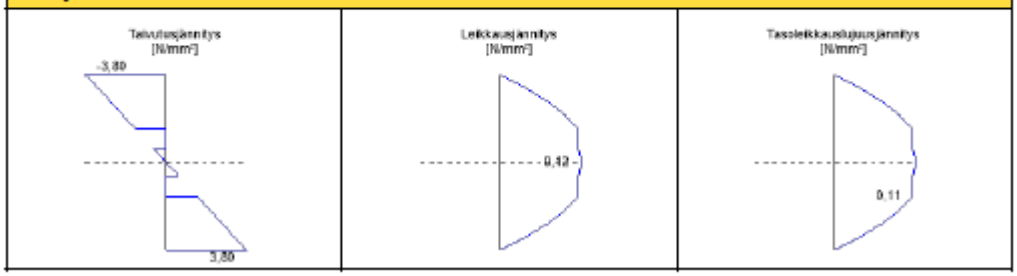
ULS Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	7,5	4,00	1,25	0,80	2,56	21,62	0,12	5 %	LCO2

ULS Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	7,5	1,02	1,25	0,80	0,66	21,62	0,11	17 %	LCO2

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit

M_d =	40,54	kNm		$f_{m,k}$ =	24,00	N/mm²	
				γ_m =	1,25		
				k_{mod} =	0,80		
				k_{sys} =	1,10		
$\sigma_{m,d}$ =	3,80	N/mm²	<	$f_{m,d}$ =	16,90	N/mm²	✓
Käyttöaste						22 %	

Leikkausjännitysanalyysi

V_d =	21,62	kN		$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²	
				γ_m =	1,25		
				k_{mod} =	0,80		
$\tau_{v,d}$ =	0,12	N/mm²	<	$f_{v,d}$ =	2,56	N/mm²	✓
Käyttöaste						5 %	

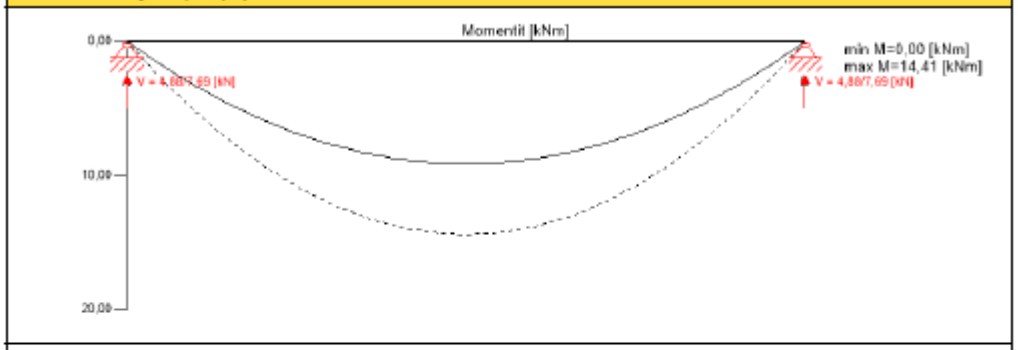
Leikkauslujuusanalyysi

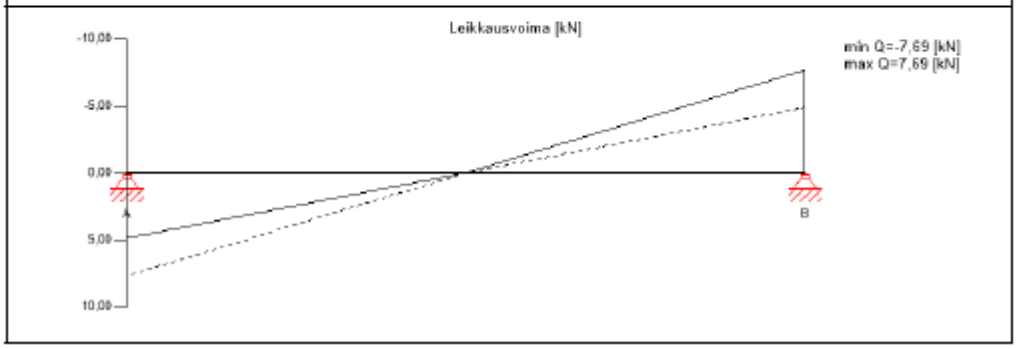
V_d =	21,62	kN		$f_{r,k}$ =	1,02	N/mm²	
				γ_m =	1,25		
				k_{mod} =	0,80		
$\tau_{r,d}$ =	0,11	N/mm²	<	$f_{r,d}$ =	0,66	N/mm²	✓
Käyttöaste						17 %	

Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 4(7)

Miika Poikajärvi | Projekti: Opari 2 | Elementti: CLT välipohja | Sivu 4 | Päivämäärä 2.2017

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset





ULS Tulipalo Talvutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	K_fi	$f_{m,d}$	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	3,75	24,00	1,00	1,00	1,10	1,15	30,36	14,41	4,09	13 %	LCO2

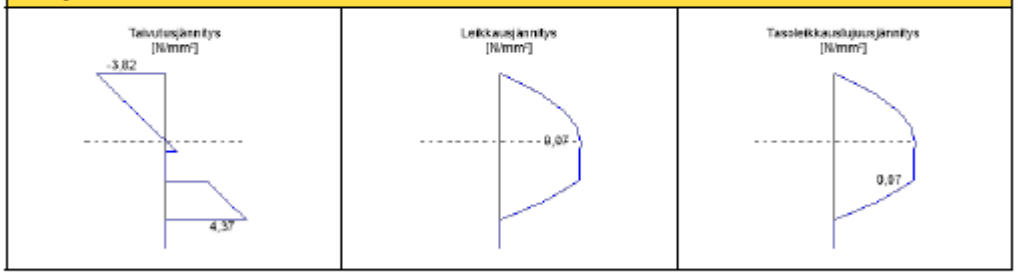
ULS Tulipalo Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	K_fi	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	7,5	4,00	1,00	1,00	1,15	4,60	7,69	0,07	2 %	LCO2

ULS Tulipalo Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	K_fi	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	7,5	1,02	1,00	1,00	1,15	1,18	7,69	0,07	6 %	LCO2

Jännityskaavio



Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 5(7)

Mika Polkajärvi	Projekti Opari 2 Elementti CLT välipohja	Sivu 5 Päivämäärä 09.12.2017

Taivutusjännitysanalyysit Tulipalo

M_d =	14,41	kNm	$f_{m,k}$ =	24,00	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_{sys} =	1,10		
			k_fi =	1,15		
$\sigma_{m,d}$ =	4,09	N/mm² <	$f_{m,d}$ =	30,36	N/mm²	✓
Käyttöaste					13 %	

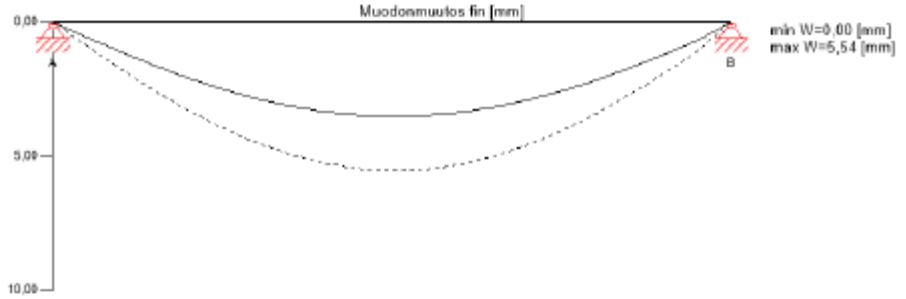
Leikkausjännitysanalyysi Tulipalo

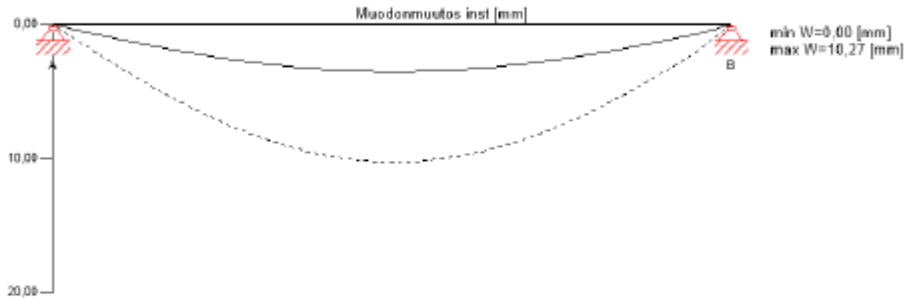
V_d =	7,69	kN	$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_fi =	1,15		
$\tau_{v,d}$ =	0,07	N/mm² <	$f_{v,d}$ =	4,60	N/mm²	✓
Käyttöaste					2 %	

Leikkauslujuusanalyysi Tulipalo

V_d =	7,69	kN	$f_{r,k}$ =	1,02	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_fi =	1,15		
$\tau_{r,d}$ =	0,07	N/mm² <	$f_{r,d}$ =	1,18	N/mm²	✓
Käyttöaste					6 %	

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset





Alustava poikkeama [w_{omin}]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	w_{calc}	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	3,75	1/400	18,8	10,3	55 %	LCO2

Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 6(7)

Lopullinen taipuma [$w_{0,min}+w_{L.p.}*k_{def}$]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	3,75	1/200	37,5	13,6	36 %	LCO4

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

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[m]	[mm]		
1	3,75	1/300	25,0	8,9	35 %	LCO4

Värähtelyanalyysi

Yleinen		
Konaismassa	9,75	[t]
Vaikutusalueen leveys	3,3	[m]
Jäykkyys Pitkittäissuuntainen	17333,3	[kNm²]
Jäykkyys Poikkisuunnassa	975,3	[kNm²]
Modaalinen vaimennus	50,0	[%]
α	0,0	[-]
Henkilön paino	700,0	[N]
Modaalinen massa	4870,5	[kg]

Erittely							
Kriteeri	Lask.	Luokka I	Luokka II	Luokka I	Luokka II	lk. I	lk. I
Taajuuskriteeri, minimi	9,122 [Hz]	4,5 [Hz]	4,5 [Hz]	49 %	49 %	✓	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	9,122 [Hz]	9,0 [Hz]	6,0 [Hz]	99 %	66 %	✓	✓
Kiihtyvyyskriteeri	0,001 [m/s²]	0,05 [m/s²]	0,1 [m/s²]	3 %	1 %	✓	✓
Jäykkyyskriteeri	0,153 [mm]	0,25 [mm]	0,5 [mm]	61 %	31 %	✓	✓

Kannatuksen suunnittelu

nro	Tyyppi	Leveys	Alue	k_{mod}	γ_m	$k_{c,90,k}$	$f_{c,k}$	$f_{c,d}$	V_{max}	V_{min}	$\sigma_{c,d}$		Suhde
		[mm]	[cm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN]	[kN]	[N/mm²]		
A	Jäykkä levy	98	1275,00	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	21,62	0,00	0,17	LCO2	7 %
B	Jäykkä levy	98	1275,00	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	21,62	0,00	0,17	LCO2	7 %

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	A_V	B_V
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	4,88	4,88
		4,88	4,88
Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	0,8	9,38	9,38
		0,00	0,00

Viiteaslakirjat 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 tf of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus paloklipsilevyjen murtuma-ajassa tf ON B3410 mukaisesti ja klipsilevyjen 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

Liite 1 CLT-välipohjan Calculatis-laskelmat 7(7)

Viiteaslakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
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-paneelelssa
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

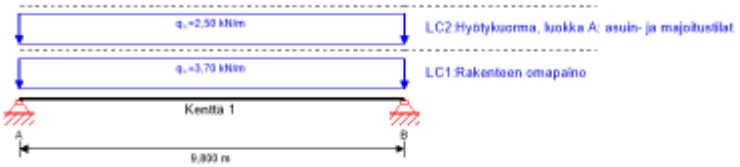
Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäivätöissään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, jolla on laajaymmärrys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnitteluun 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 rakennusuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa ottelta ohjelmistosta, mutta näitä ottelta 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 luetelltujen 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).

Liite 2 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, jäykkäliitos 1(8)

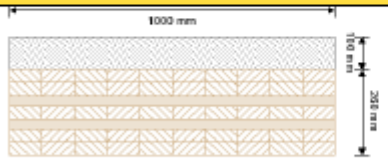
Milka Polkajärvi	Projekti Elementti	Opari 2 Liittorakenteinen Välipohja	Sivu 1 Päivämäärä 09.02.2017

Järjestelmä



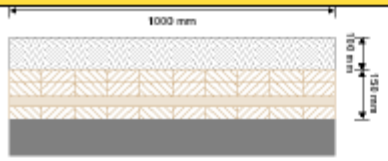
Maailmanlaajuinen käyttöaste									99 %
ULS	51 %	ULS Tulipalo	32 %	SLS	74 %	SLS Värähtely	52 %	Kannatus	56 %

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**		

Jakso Tulipalo: 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
t_{CLT}	**150,0 mm**		

Paloluokka:R 120	Aika	**120 min**	

Palonsuojakerrokset : Ei lisäpalonsuojausta

k_0	d_0	$d_{char,0,n}$	$d_{ef,n}$
[-]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	101,0	108,0

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/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
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	Kestoaika	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	Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3

LC1:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	3,70

LC2:Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat

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

ULS Yhdisteimät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,49/1,10 * LC1
LCO2	1,26/1,10 * LC1 + 1,65/0,00 * LC2

ULS Yhdisteimät Tulipalo

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

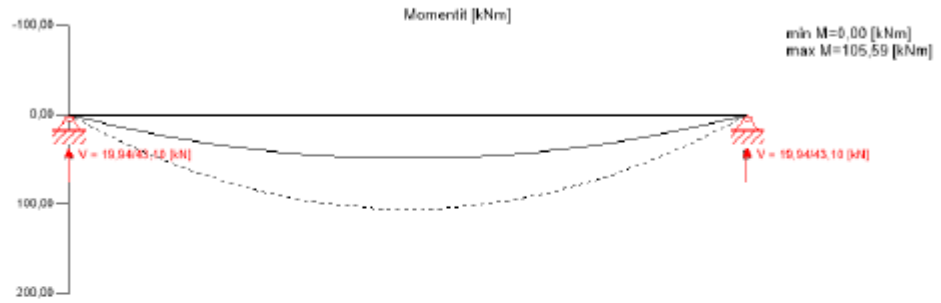
SLS Ominainen Yhdisteimä

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * LC2

SLS Lähes pysyvä Yhdisteimä

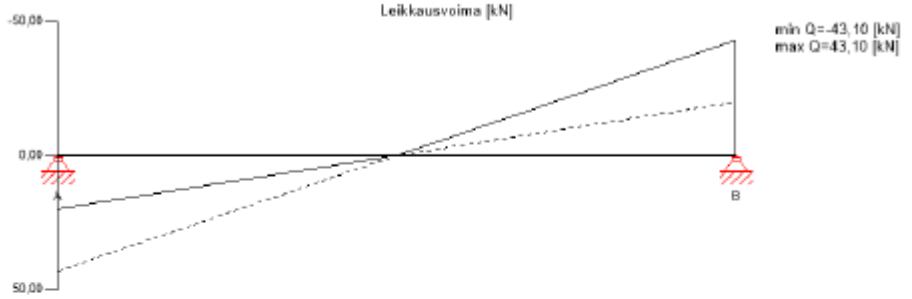
	Yhdistämissääntö
LCO3	1,00/1,00 * LC1
LCO4	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



Mika Poikajärvi | Projekti: Opari 2 | Elementti: Liittorakenteinen Välipohja | Sivu 3 | Päivämäärä 09.02.2017

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



ULS Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	f_k	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	f_d	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	2,45	30,00	1,50	1,00	1,00	20,00	79,19	-8,08	40 %	LCO2

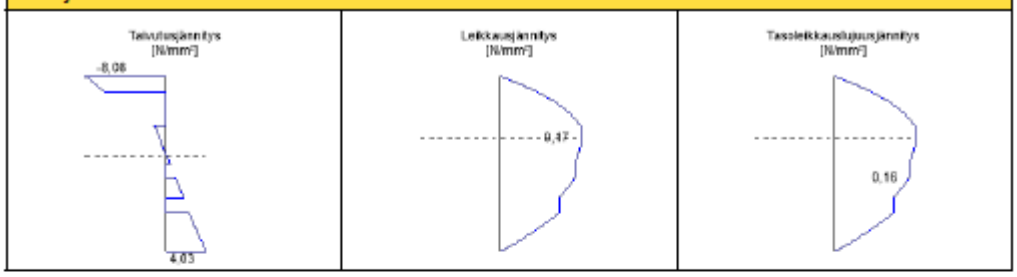
ULS Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	4,00	1,25	0,80	1,000	2,56	43,10	0,17	7 %	LCO2

ULS Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	1,15	1,25	0,80	0,74	43,10	0,16	21 %	LCO2

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit

M_d = 79,19 kNm

$f_{m,k}$ = 30,00 N/mm²
γ_m = 1,50
k_{mod} = 1,00
k_{sys} = 1,00

$\sigma_{m,d}$ = -8,08 N/mm² < $f_{m,d}$ = 20,00 N/mm² ✓

Käyttöaste 40 %

Leikkausjännitysanalyysi

V_d = 43,10 kN

$f_{v,k}$ = 4,00 N/mm²
γ_m = 1,25
k_{mod} = 0,80
k_{cr} = 1,000

$\tau_{v,d}$ = 0,17 N/mm² < $f_{v,d}$ = 2,56 N/mm² ✓

Käyttöaste 7 %

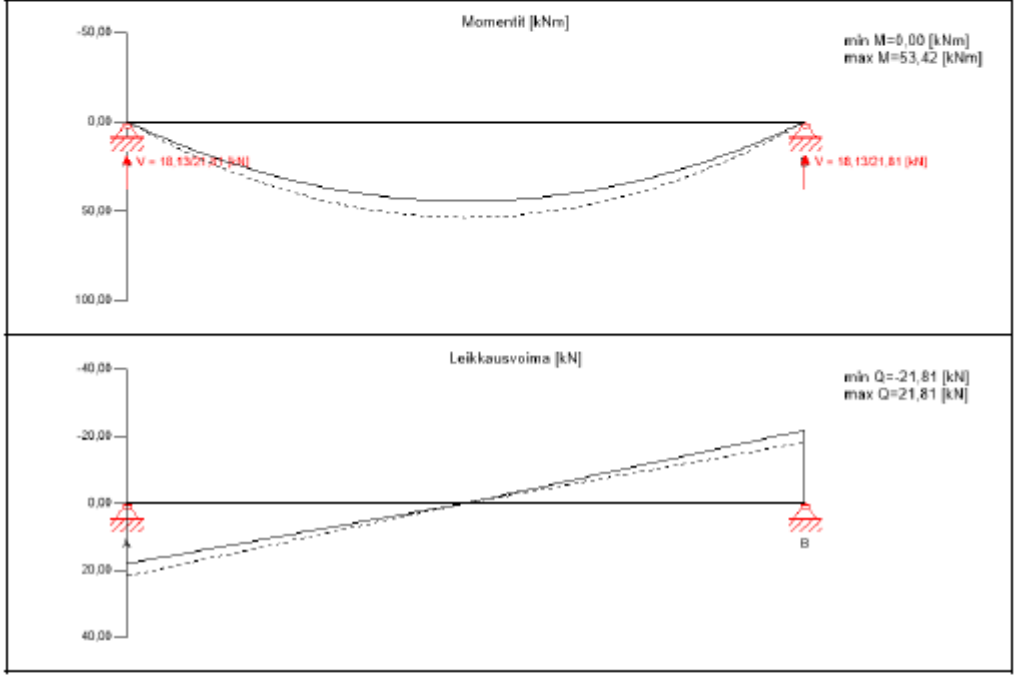
Mika Polkajärvi	Projekti Elementti	Opari 2 Liittorakenteinen Välipohja	Sivu 4 Päivämäärä 29.8.2017

Leikkauslujuusanalyysi

V_d =	43,10 kN		$f_{r,k}$ =	1,15 N/mm²	
			γ_m =	1,25	
			k_{mod} =	0,80	
$\tau_{r,d}$ =	0,16 N/mm²	<	$f_{r,d}$ =	0,74 N/mm²	✓

Käyttöaste 21 %

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset



ULS Tulipalo Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	K_{fi}	$f_{m,d}$	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	4,9	24,00	1,00	1,00	1,10	1,15	30,36	53,42	9,78	32 %	LCO2

ULS Tulipalo Leikkausanalyysi

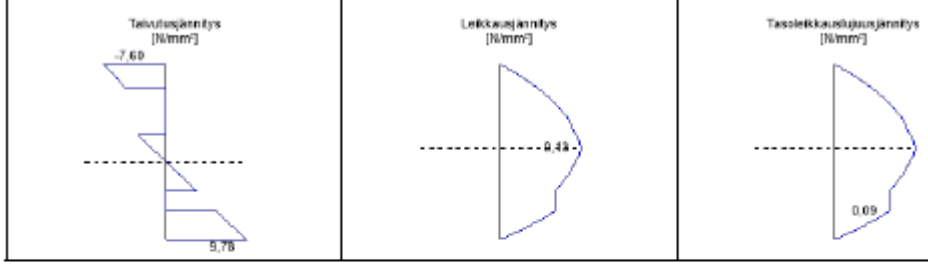
Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	K_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	4,00	1,00	1,00	1,000	1,15	4,60	21,81	0,13	3 %	LCO2

ULS Tulipalo Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	K_{fi}	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	1,25	1,00	1,00	1,15	1,44	21,81	0,09	6 %	LCO2

Miika Polkajärvi | Projekti: Opari 2 | Elementti: Liittorakenteinen Välipohja | Sivu 5 | Päivämäärä 09.02.2017

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit Tulipalo

M_d =	53,42	kNm	$f_{m,k}$ =	24,00	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_{sys} =	1,10		
			k_fi =	1,15		
$\sigma_{m,d}$ =	9,78	N/mm² <	$f_{m,d}$ =	30,36	N/mm²	✓
Käyttöaste					32 %	

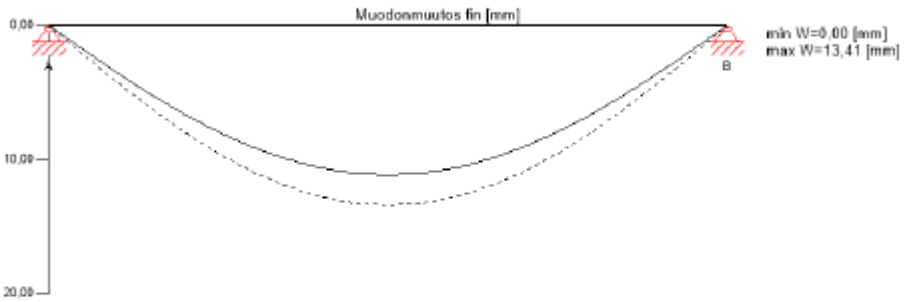
Leikkausjännitysanalyysi Tulipalo

V_d =	21,81	kN	$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_{cr} =	1,000		
			k_fi =	1,15		
$\tau_{v,d}$ =	0,13	N/mm² <	$f_{v,d}$ =	4,60	N/mm²	✓
Käyttöaste					3 %	

Leikkauslujuusanalyysi Tulipalo

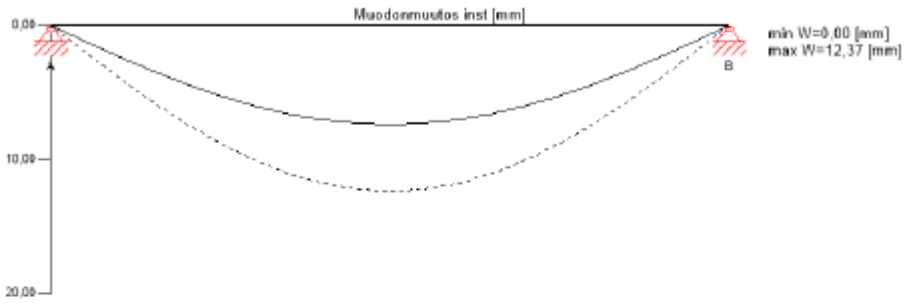
V_d =	21,81	kN	$f_{r,k}$ =	1,25	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_fi =	1,15		
$\tau_{r,d}$ =	0,09	N/mm² <	$f_{r,d}$ =	1,44	N/mm²	✓
Käyttöaste					6 %	

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset



Mika Poikajärvi	Projekti Opari 2 Elementti Liittorakenteinen Välipohja	Sivu 6 Päivämäärä 09.02.2017

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset



Alustava poikkeama [$w_{0min.}$]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	4,9	1/400	24,5	12,4	50 %	LCO2

Lopullinen taipuma [$w_{0min.}+w_{L.p.}*k_{def}$]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	4,9	1/200	49,0	23,1	47 %	LCO4

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

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[m]	[mm]		
1	4,9	1/300	32,7	24,1	74 %	LCO4

Värähtelyanalyysi

Yleinen		
Konaismassa	118,28	[t]
Vaikutusalueen leveys	5,5	[m]
Jäykkyys Pitkittäissuuntainen	60203,5	[kNm²]
Jäykkyys Poikkisuunnassa	6842,2	[kNm²]
Modaalinen vaimennus	1,0	[%]
α	0,0	[-]
Henkilön paino	700,0	[N]
Modaalinen massa	59078,1	[kg]

Erittely							
Kriteeri	Lask.	Luokka I	Luokka II	Luokka I	Luokka II	lk. I	lk. I
Taajuuskriteeri, minimi	17,256 [Hz]	4,5 [Hz]	4,5 [Hz]	26 %	26 %	✓	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	17,256 [Hz]	9,0 [Hz]	6,0 [Hz]	52 %	35 %	✓	✓
Kiihtyvyyskriteeri	0,0 [m/s²]	0,05 [m/s²]	0,1 [m/s²]	0 %	0 %	✓	✓
Jäykkyyskriteeri	0,059 [mm]	0,25 [mm]	0,5 [mm]	24 %	12 %	✓	✓

Kannatuksen suunnittelu

nro	Tyyppi	Leveys	Alue	k_{mod}	γ_m	$k_{c,90,k}$	$f_{c,k}$	$f_{c,d}$	V_{max}	V_{min}	$\sigma_{c,d}$		Suhde
		[mm]	[cm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN]	[kN]	[N/mm²]		
A	Jäykkä levy	98	318,75	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	43,10	0,00	1,35	LCO2	56 %
B	Jäykkä levy	98	318,75	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	43,10	0,00	1,35	LCO2	56 %

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	A_V	B_V
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	18,13	18,13
		18,13	18,13

Kannatuksen vaikutus			
Kuormaryhmä	k_{mod}	A_V	B_V
		[kN]	
Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	0,8	12,25	12,25
		0,00	0,00

Huomaa

thhhfghs

Viiteaiakirjat 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
EN 14080	EN 14080 - Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Stora Enso CLT:n CLT-rakenteiden kantokyvyn ja eristematerjaalien kriteerien vahvistaminen
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time tf of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus paloklpsilevyjen murtuma-ajassa tf ON B3410 mukaisesti ja klpsilevyjen 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
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
EN 1992-1-1	EN1992-1-1 - Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu - Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
Z-9.1-557	DIBt tekninen hyväksyntä Z-9.1-557; TiComTec; Puuhun liimattavilla lineaarisilla leikkausvoimaliittimillä
ETA-11/0030	ETA-11/0030 Eurooppalainen tekninen hyväksyntä; Rothoblaas; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
Z-9.1-472	DIBt tekninen hyväksyntä Z-9.1-472; SFS Intec GmbH; SFS liittimet WT-S-6,5, WT-T-6,5, WR-T-9,0 ja WR-T-13 puurakenteiden liittiminä
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Asiantuntemus tasoleikkauslujuudelle ja tasoleikkausmoduulille CLT-paneelelssa
Derivation of the tributary width in CLT-rib deck elements for the engineering practice; TU-Graz, focus sts 2.2.3_1	CLT-ripalaattaelementtien esittäminen ja valmistus määritettäessä tehokasta levyn leveyttä elementeille; TU-Graz, huomio sts 2.2.3_1 2.3_1
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 jokapäivätisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, jolla on laajaymmärrys rakennesuunnitteluista ja puurakenteisiin liittyvistä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnitteluun 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 valmiksi syötettyjä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteelle ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on salliitua 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 ohjelmistolle 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

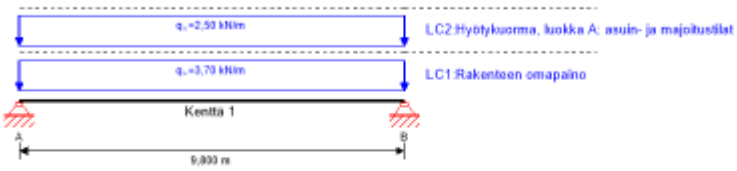
	Projekti	Opari 2	Sivu 8
Miika Poikajärvi	Elementti	Liittorakenteinen Välipohja	Päivämäärä 2.2.2017

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 luetelluista 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).

Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 1(7)

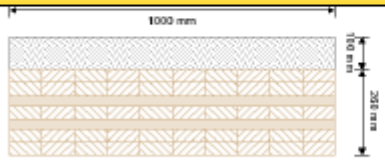
Mika Poikajärvi	Projekti Elementti	Opari 2 Liittorakenteinen Välipohja, joustava	Sivu 1 Päivämäärä 2.2017

Järjestelmä



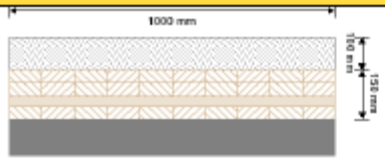
Maailmanlaajuinen käyttöaste					98 %
ULS 54 %	ULS Tulipalo 35 %	SLS 87 %	SLS Värähtely 61 %	Kannatus 56 %	

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**		

Jakso Tulipalo: 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
t_{CLT}	**150,0 mm**		

Paloluokka:R 120	Aika	120 min
Palonsuojakerrokset : Ei lisäpalonsuojausta		

k_0	d_0	$d_{char,0,n}$	$d_{ef,n}$
[-]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	101,0	108,0

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/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
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	Kestoaika	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	Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3

Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 2(7)

LC1:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	3,70

LC2:Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat

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

ULS Yhdisteimät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,49/1,10 * LC1
LCO2	1,26/1,10 * LC1 + 1,65/0,00 * LC2

ULS Yhdisteimät Tulipalo

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

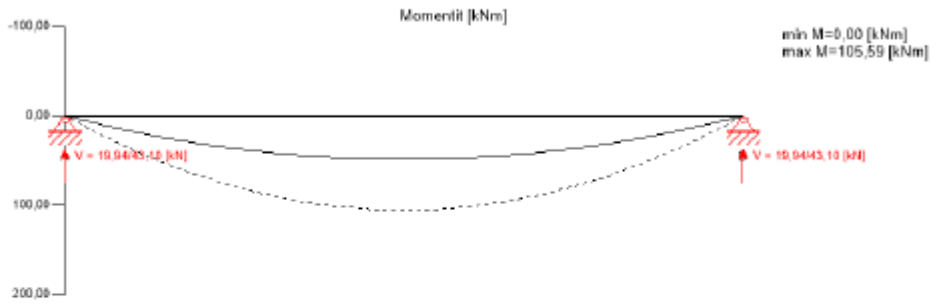
SLS Ominainen Yhdisteimä

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * LC2

SLS Lähes pysyvä Yhdisteimä

	Yhdistämissääntö
LCO3	1,00/1,00 * LC1
LCO4	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

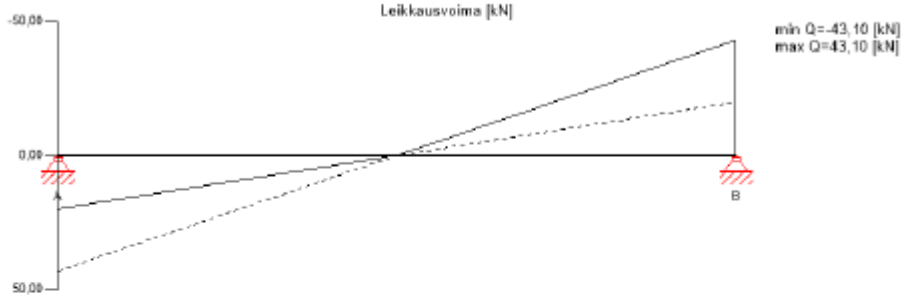
Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 3(7)

Mika Poikajärvi	Projekti	Opari 2	Sivu 3
	Elementti	Liittorakenteinen Välipohja, joustava	Päivämäärä 30.12.2017

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



ULS Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	f_k	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	f_d	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	4,9	30,00	1,50	1,00	1,00	20,00	105,59	-10,02	50 %	LCO2

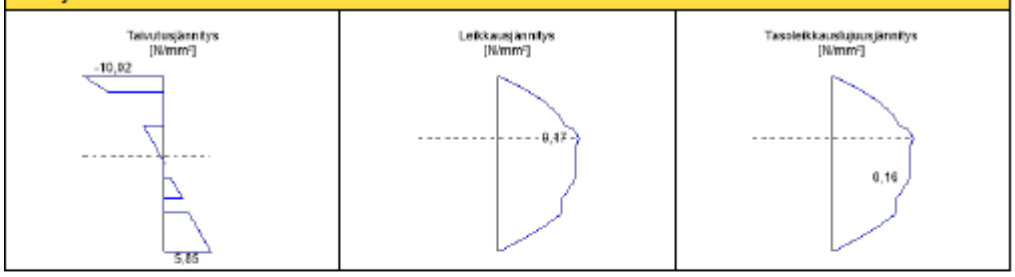
ULS Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	4,00	1,25	0,80	1,000	2,56	43,10	0,17	7 %	LCO2

ULS Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	1,15	1,25	0,80	0,74	43,10	0,16	22 %	LCO2

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit

M_d =	105,59	kNm		$f_{m,k}$ =	30,00	N/mm²
				γ_m =	1,50	
				k_{mod} =	1,00	
				k_{sys} =	1,00	
$\sigma_{m,d}$ =	- 10,02	N/mm²	<	$f_{m,d}$ =	20,00	N/mm² ✓

Käyttöaste 50 %

Leikkausjännitysanalyysi

V_d =	43,10	kN		$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²
				γ_m =	1,25	
				k_{mod} =	0,80	
				k_{cr} =	1,000	
$\tau_{v,d}$ =	0,17	N/mm²	<	$f_{v,d}$ =	2,56	N/mm² ✓

Käyttöaste 7 %

Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

storaenso

Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 4(7)

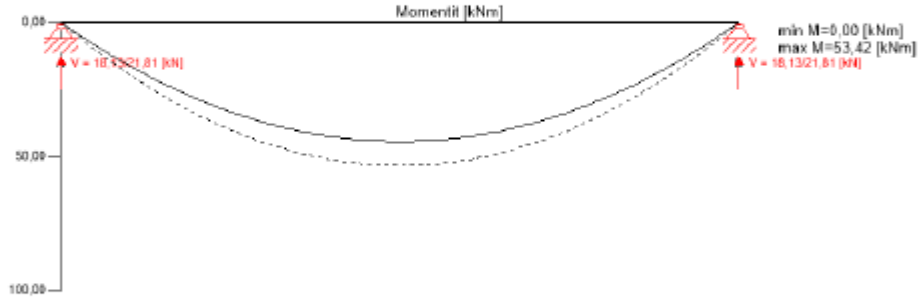
Mika Polkajärvi	Projekti	Opari 2	Sivu 4
	Elementti	Liittorakenteinen Välipohja, joustava	Päivämäärä 2.2017

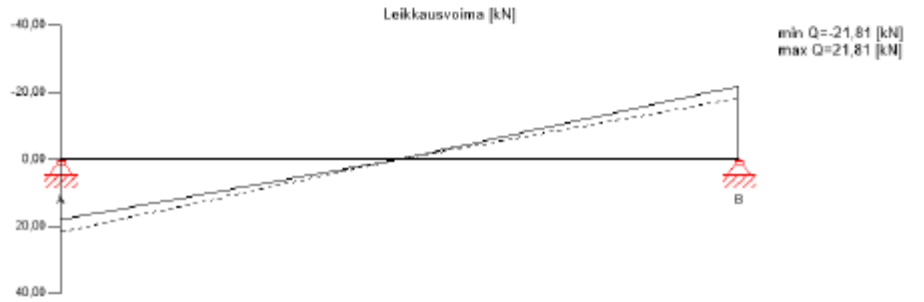
Leikkauslujuusanalyysi

V_d =	43,10	kN	$f_{r,k}$ =	1,15	N/mm²
			γ_m =	1,25	
			k_{mod} =	0,80	
$\tau_{r,d}$ =	0,16	N/mm² <	$f_{r,d}$ =	0,74	N/mm² ✓

Käyttöaste 22 %

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset





ULS Tulipalo Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	K_{fi}	$f_{m,d}$	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	4,9	24,00	1,00	1,00	1,10	1,15	30,36	53,42	10,63	35 %	LCO2

ULS Tulipalo Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	K_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	4,00	1,00	1,00	1,000	1,15	4,60	21,81	0,22	5 %	LCO2

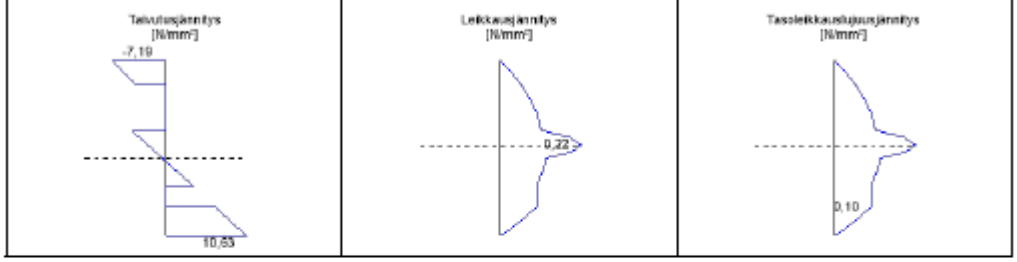
ULS Tulipalo Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	K_{fi}	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	1,25	1,00	1,00	1,15	1,44	21,81	0,10	7 %	LCO2

Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 5(7)

Mika Polkajärvi	Projekti Opari 2 Elementti Liittorakenteinen Välipohja, joustava	Sivu 5 Päivämäärä 10.8.2017

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit Tulipalo

M_d =	53,42	kNm	$f_{m,k}$ =	24,00	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_{sys} =	1,10		
			k_f =	1,15		
$\sigma_{m,d}$ =	10,63	N/mm² <	$f_{m,d}$ =	30,36	N/mm²	✓
Käyttöaste						35 %

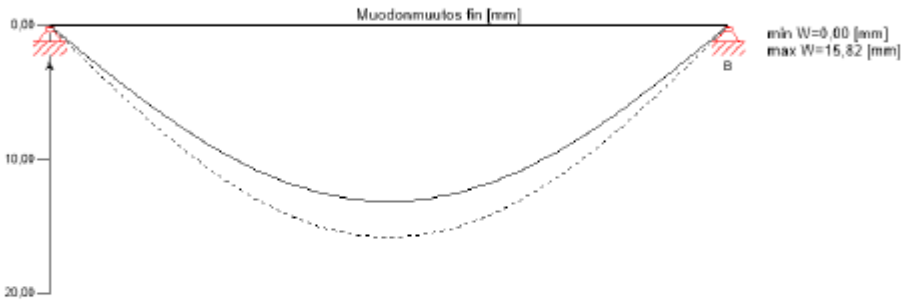
Leikkausjännitysanalyysi Tulipalo

V_d =	21,81	kN	$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_{cr} =	1,000		
			k_f =	1,15		
$\tau_{v,d}$ =	0,22	N/mm² <	$f_{v,d}$ =	4,60	N/mm²	✓
Käyttöaste						5 %

Leikkauslujuusanalyysi Tulipalo

V_d =	21,81	kN	$f_{r,k}$ =	1,25	N/mm²	
			γ_m =	1,00		
			k_{mod} =	1,00		
			k_f =	1,15		
$\tau_{r,d}$ =	0,10	N/mm² <	$f_{r,d}$ =	1,44	N/mm²	✓
Käyttöaste						7 %

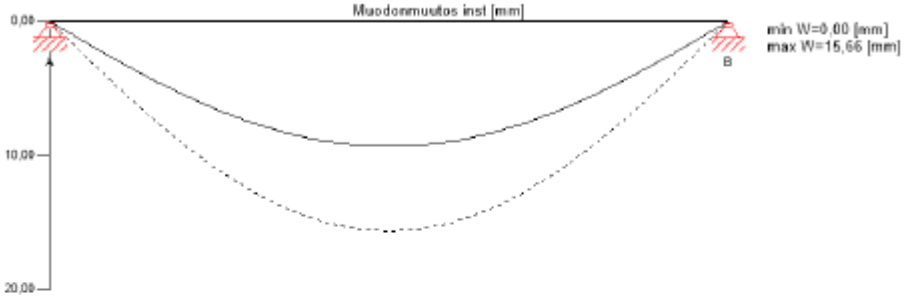
Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset



Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 6(7)

Mika Polkajärvi	Projekti	Opari 2	Sivu 6
	Elementti	Liittorakenteinen Välipohja, joustava	Päivämäärä 2.2.2017

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset



Alustava poikkeama [$w_{0min.}$]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	4,9	1/400	24,5	15,7	64 %	LCO2

Lopullinen taipuma [$w_{0min.}+w_{i.p.}*k_{def}$]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	4,9	1/200	49,0	28,3	58 %	LCO4

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

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[m]	[mm]		
1	4,9	1/300	32,7	28,5	87 %	LCO4

Värähtelyanalyysi

Yleinen		
Konaismassa	118,28	[t]
Valkutusalueen leveys	6,0	[m]
Jäykkyys Pitkittäissuuntainen	43881,5	[kNm²]
Jäykkyys Poikkisuunnassa	8731,1	[kNm²]
Modaalinen vaimennus	1,0	[%]
α	0,0	[-]
Henkilön paino	700,0	[N]
Modaalinen massa	59078,1	[kg]

Erittely							
Kriteeri	Lask.	Luokka I	Luokka II	Luokka I	Luokka II	lk. I	lk. I
Taajuuskriteeri, minimi	14,732 [Hz]	4,5 [Hz]	4,5 [Hz]	31 %	31 %	✓	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	14,732 [Hz]	9,0 [Hz]	6,0 [Hz]	61 %	41 %	✓	✓
Kiihtyvyyskriteeri	0,001 [m/s²]	0,05 [m/s²]	0,1 [m/s²]	1 %	1 %	✓	✓
Jäykkyyskriteeri	0,075 [mm]	0,25 [mm]	0,5 [mm]	30 %	15 %	✓	✓

Kannatuksen suunnittelu

nro	Tyyppi	Leveys	Alue	k_{mod}	γ_m	$k_{c,90,k}$	$f_{c,k}$	$f_{c,d}$	V_{max}	V_{min}	$\sigma_{c,d}$		Suhde
		[mm]	[cm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN]	[kN]	[N/mm²]		
A	Jäykkä levy	98	318,75	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	43,10	0,00	1,35	LCO2	56 %
B	Jäykkä levy	98	318,75	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	43,10	0,00	1,35	LCO2	56 %

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	A_V	B_V
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	18,13	18,13
		18,13	18,13

Liite 3 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, joustavaliitos 7(7)

Kannatuksen vaikutus			
Kuormaryhmä	k_{mod}	A_V	B_V
		[kN]	
Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	0,8	12,25	12,25
		0,00	0,00

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
EN 14080	EN 14080 - Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset
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 tf of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus palokipsilevyjen murtuma-ajassa tf 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
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
EN 1992-1-1	EN1992-1-1 - Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu - Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
Z-9.1-557	DIBt tekninen hyväksyntä Z-9.1-557; TiComTec; Puuhun liimattavilla lineaarisilla leikkausvoimaliittimillä
ETA-11/0030	ETA-11/0030 Eurooppalainen tekninen hyväksyntä; Rothoblaas; itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
Z-9.1-472	DIBt tekninen hyväksyntä Z-9.1-472; SFS Intec GmbH; SFS liittimet WT-S-6,5, WT-T-6,5, WR-T-9,0 ja WR-T-13 puurakenteiden liittiminä
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Asiantuntemus tasoleikkauslujuudelle ja tasoleikkausmoduulille CLT-paneelissa
Derivation of the tributary width in CLT-rib deck elements for the engineering practice; TU-Graz, focus sts 2.2.3_1	CLT-ripalaattaelementtien esittäminen ja valmistus määritettäessä tehokasta levyn leveyttä elementeille; TU-Graz, huomio sts 2.2.3_1 2.3_1
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

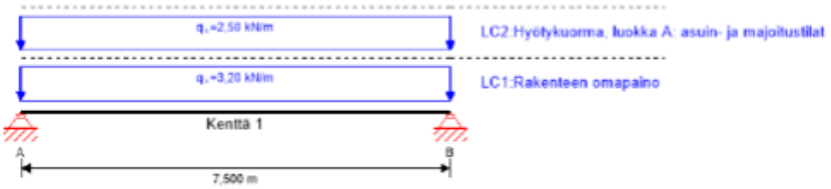
Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, jolla on laajaymmärrys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvistä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnittelussa 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 rakennusuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa ottelta ohjelmistosta, mutta näitä ottelta ei saa muokata.
Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimmen huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotetun informaation tai datan tarkkuudesta, volmessaolosta, 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 tärkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksellisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin luetellujen 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).

Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 1(7)

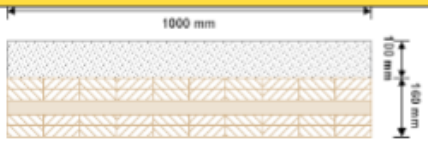
Miika Poikajärvi	Projekti Elementti	Opari 2 Liittorakenteinen Välipohja	Sivu 1 Päivämäärä 24.2.2017

Järjestelmä



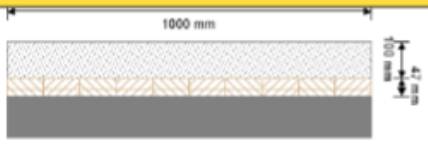
Maailmanlaajuinen käyttöaste									105 %
ULS	60 %	ULS Tulipalo	105 %	SLS	102 %	SLS Värähtely	56 %	Kannatus	40 %

Jakso: CLT 160 L5s - 2



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	30,0 mm	0°	C24 kuusi
2	30,0 mm	0°	C24 kuusi
3	40,0 mm	90°	C24 kuusi
4	30,0 mm	0°	C24 kuusi
5	30,0 mm	0°	C24 kuusi
t_{CLT}	**160,0 mm**		

Jakso Tulipalo: CLT 160 L5s - 2



Kerros	Paksuus	Suuntautuminen	Materiaalit
1	30,0 mm	0°	C24 kuusi
2	17,0 mm	0°	C24 kuusi
t_{CLT}	**47,0 mm**		

Paloluokka:R 120	Aika	**120 min**

Palonsuojakerrokset : 2 x 15.0 mm kipsilevy Tyyppi A
Gipskartonbauplatte (nach ÖNORM B 3410 und DIN 18180)
Gipskartonfeuerschutzplatte (nach ÖNORM B 3410 und DIN 18180)

$t_{ch,h}$	$t_{f,h}$	$t_{e,h}$	$d_{fe,h}$	k_0	d_0	$d_{char,0,h}$	$d_{ef,h}$
[min]	[min]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]
0	0	0	0	1	7	106,0	113,0

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/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
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	Kestoaika	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	Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3

Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 2(7)

LC1:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuorimitus aluksi
	[kN/m]
1	3,20

LC2:Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat

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

ULS Yhdistelmät

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,49/1,10 * LC1
LCO2	1,26/1,10 * LC1 + 1,65/0,00 * LC2

ULS Yhdistelmät Tulipalo

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

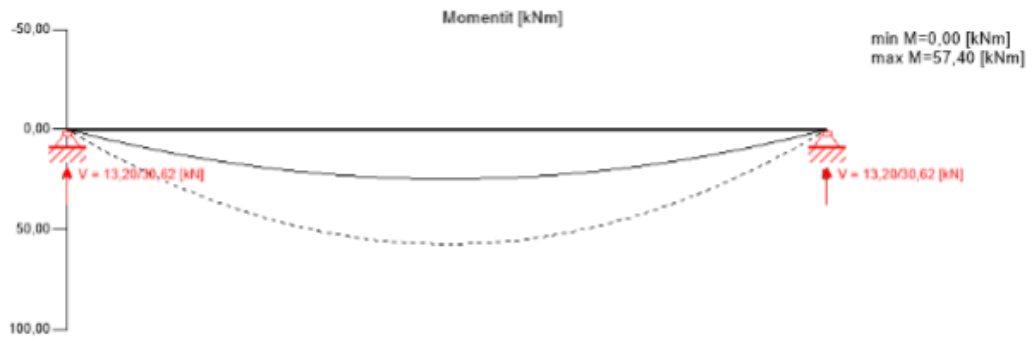
SLS Ominainen Yhdistelmä

	Yhdistämissääntö
LCO1	1,00/1,00 * LC1
LCO2	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * LC2

SLS Lähes pysyvä Yhdistelmä

	Yhdistämissääntö
LCO3	1,00/1,00 * LC1
LCO4	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC2

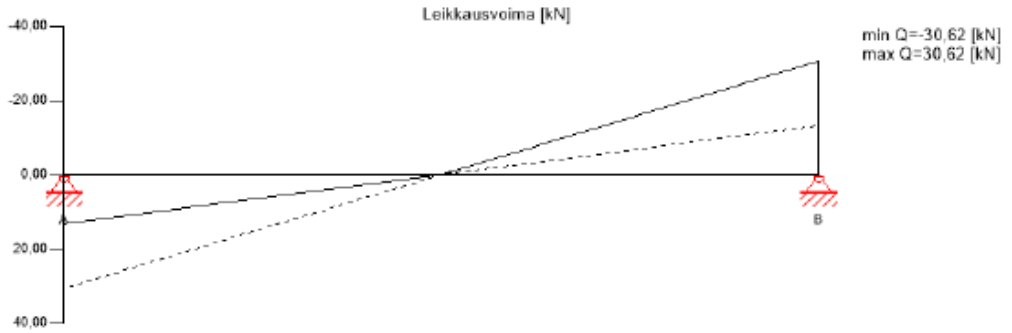
Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 3(7)

Miika Poikajärvi	Projekti	Opari 2	Sivu 3
	Elementti	Liittorakenteinen Välipohja	Päivämäärä 24.02.2017

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset



ULS Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	f_k	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	f_d	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	3,75	30,00	1,50	1,00	1,00	20,00	57,40	-9,93	50 %	LCO2

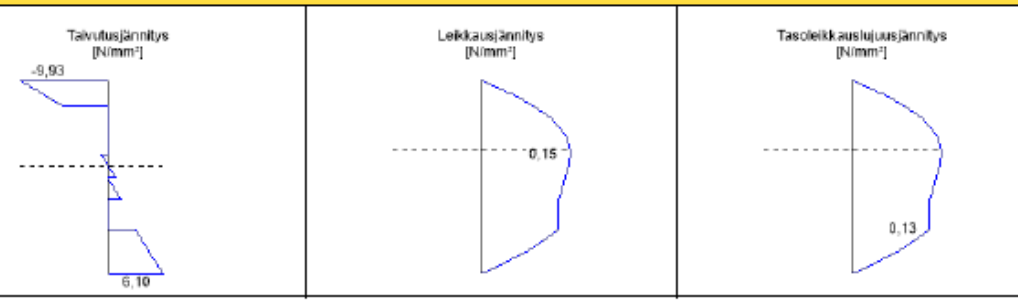
ULS Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	4,00	1,25	0,80	1,000	2,56	30,62	0,15	6 %	LCO2

ULS Tasoleikkauslujuus

Kenttä	Etäisyys	$f_{r,k}$	γ_m	k_{mod}	$f_{r,d}$	V_d	$\tau_{r,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	1,05	1,25	0,80	0,67	30,62	0,13	19 %	LCO2

Jännityskaavio



Taivutusjännitysanalyysit

M_d =	57,40	kNm		$f_{m,k}$ =	30,00	N/mm²
				γ_m =	1,50	
				k_{mod} =	1,00	
				k_{sys} =	1,00	
$\sigma_{m,d}$ =	-9,93	N/mm²	<	$f_{m,d}$ =	20,00	N/mm² ✓

Käyttöaste 50 %

Leikkausjännitysanalyysi

V_d =	30,62	kN		$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²
				γ_m =	1,25	
				k_{mod} =	0,80	
				k_{cr} =	1,000	
$\tau_{v,d}$ =	0,15	N/mm²	<	$f_{v,d}$ =	2,56	N/mm² ✓

Käyttöaste 6 %

Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 4(7)

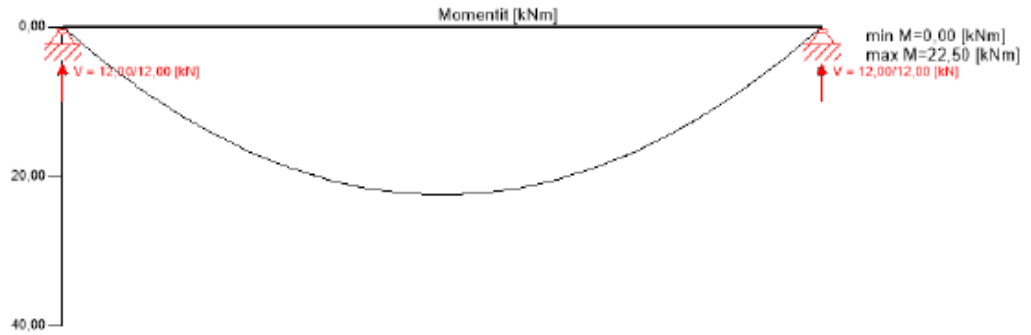
Miika Poikajärvi	Projekti	Opari 2	Sivu 4
	Elementti	Liittorakenteinen Välipohja	Päivämäärä 24.02.2017

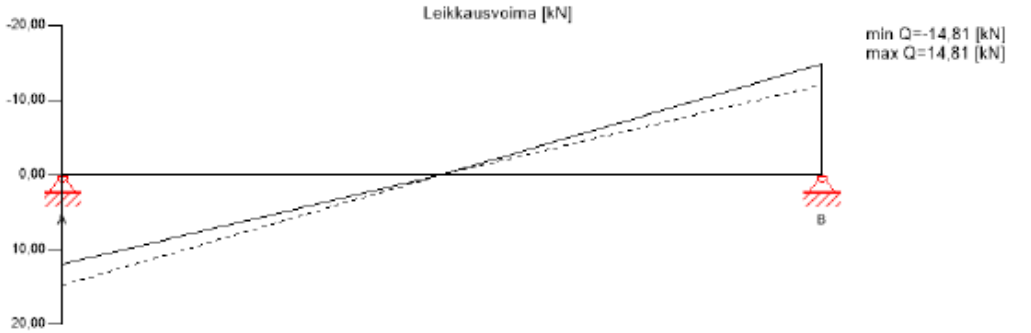
Leikkauslujuusanalyysi

V_d =	30,62	kN	$f_{r,k}$ =	1,05	N/mm²	
			γ_m =	1,25		
			k_{mod} =	0,80		
$\tau_{r,d}$ =	0,13	N/mm² <	$f_{r,d}$ =	0,67	N/mm²	✓

Käyttöaste 19 %

Äärimmäinen rajatila (ULS) - palomitoitus - tulokset





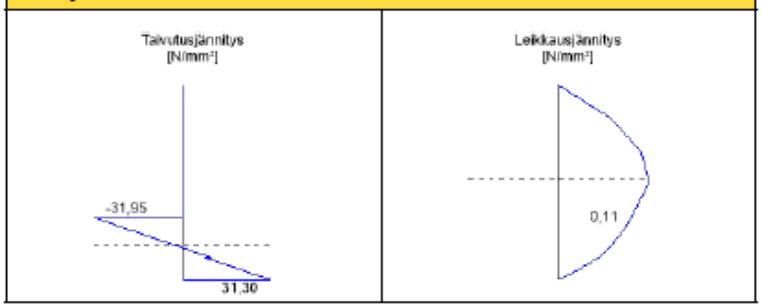
ULS Tulipalo Taivutuksen mitoitus

Kenttä	Etäisyys	$f_{m,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{sys}	K_{fi}	$f_{m,d}$	M_d	$\sigma_{m,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kNm]	[N/mm²]		
1	1,13	24,00	1,00	1,00	1,10	1,15	30,36	11,48	-31,95	105 %	LCO1

ULS Tulipalo Leikkausanalyysi

Kenttä	Etäisyys	$f_{v,k}$	γ_m	k_{mod}	k_{cr}	K_{fi}	$f_{v,d}$	V_d	$\tau_{v,d}$	Suhde	
	[m]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[kN]	[N/mm²]		
1	0,0	4,00	1,00	1,00	1,000	1,15	4,60	14,81	0,11	2 %	LCO2

Jännityskaavio



Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 5(7)

Miika Poikajärvi	Projekti Elementti	Opari 2 Liittorakenteinen Välipohja	Sivu 5 Päivämäärä 23.02.2017

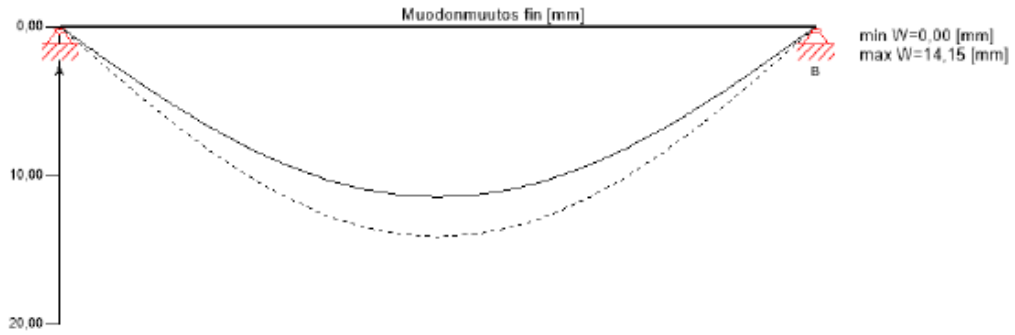
Taivutusjännitysanalyysit Tulipalo

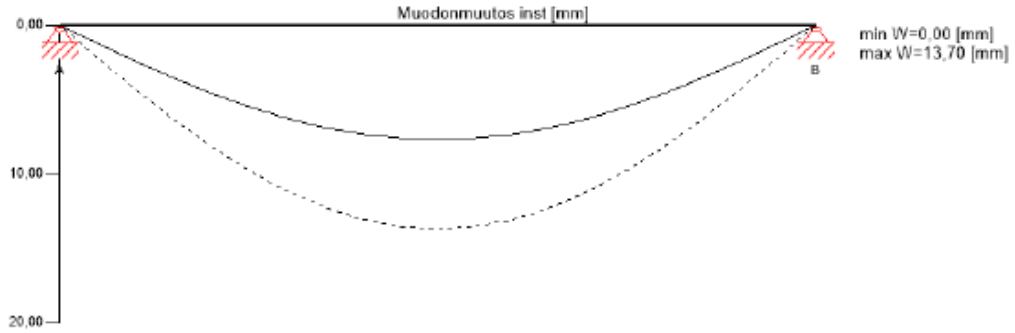
M_d =	11,48	kNm		$f_{m,k}$ =	24,00	N/mm²	
				γ_m =	1,00		
				k_{mod} =	1,00		
				k_{sys} =	1,10		
				k_{fi} =	1,15		
$\sigma_{m,d}$ =	- 31,95	N/mm²	>	$f_{m,d}$ =	30,36	N/mm²	×
Käyttöaste							105 %

Leikkausjännitysanalyysi Tulipalo

V_d =	14,81	kN		$f_{v,k}$ =	4,00	N/mm²	
				γ_m =	1,00		
				k_{mod} =	1,00		
				k_{cr} =	1,000		
				k_{fi} =	1,15		
$\tau_{v,d}$ =	0,11	N/mm²	<	$f_{v,d}$ =	4,60	N/mm²	✓
Käyttöaste							2 %

Käyttöraja-arvon mitoitus (SLS) - mitoitustulokset





Alustava poikkeama [$w_{omin.}$]

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	3,75	1/400	18,8	13,7	73 %	LCO2

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

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[mm]	[mm]		
1	3,75	1/200	37,5	25,0	67 %	LCO4

Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 6(7)

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

Kenttä	Etäisyys	Raja	w_{limit}	$w_{calc.}$	Suhde	
	[m]	[-]	[m]	[mm]		
1	3,75	1/300	25,0	25,5	102 %	LCO4

Värähtelyanalyysi

Yleinen		
Konaismassa	78,29	[t]
Vaikutusalueen leveys	4,8	[m]
Jäykkyys Pitkittäissuuntainen	15699,2	[kNm²]
Jäykkyys Poikkisuunnassa	3701,4	[kNm²]
Modaalinen vaimennus	1,0	[%]
α	0,0	[-]
Henkilön paino	700,0	[N]
Modaalinen massa	39103,0	[kg]

Erittely							
Kriteeri	Lask.	Luokka I	Luokka II	Luokka I	Luokka II	lk. I	lk. I
Taajuuskriteeri, minimi	16,178 [Hz]	4,5 [Hz]	4,5 [Hz]	28 %	28 %	✓	✓
Esiintymistiheyden kriteeri	16,178 [Hz]	9,0 [Hz]	6,0 [Hz]	56 %	37 %	✓	✓
Kiihtyvyyskriteeri	0,001 [m/s²]	0,05 [m/s²]	0,1 [m/s²]	1 %	1 %	✓	✓
Jäykkyyskriteeri	0,118 [mm]	0,25 [mm]	0,5 [mm]	47 %	24 %	✓	✓

Kannatuksen suunnittelu

nro	Tyyppi	Leveys	Alue	k_{mod}	γ_m	$k_{c,90,k}$	$f_{c,k}$	$f_{c,d}$	V_{max}	V_{min}	$\sigma_{c,d}$		Suhde
		[mm]	[cm²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kN]	[kN]	[N/mm²]		
A	Jäykkä levy	98	318,75	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	30,62	0,00	0,96	LCO2	40 %
B	Jäykkä levy	98	318,75	0,80	1,25	1,50	2,50	2,40	30,62	0,00	0,96	LCO2	40 %

Kannatuksen vaikutus

Kuormaryhmä	k_{mod}	A_V	B_V
		[kN]	
Rakenteen omapaino	0,6	12,00	12,00
		12,00	12,00
Hyötykuorma, luokka A: asuin- ja majoitustilat	0,8	9,38	9,38
		0,00	0,00

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
EN 14080	EN 14080 - Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset
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 tf of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Asiantuntemus palokipsilevyjen murtuma-ajassa tf 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 guildeline 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

Liite 4 CLT-betoniliittorakenteen Calculatis-laskelmat, ohennettu rakenne 7(7)

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
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
EN 1992-1-1	EN1992-1-1 - Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu - Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
Z-9.1-557	DIBt tekninen hyväksyntä Z-9.1-557; TiComTec; Puuhun liimattavilla lineaarisilla leikkausvoimaliittimillä
ETA-11/0030	ETA-11/0030 Eurooppalainen tekninen hyväksyntä; Rothoblaas; Itsestään porautuvat ruuvit puurakenteissa
Z-9.1-472	DIBt tekninen hyväksyntä Z-9.1-472; SFS intec GmbH; SFS liittimet WT-S-6,5, WT-T-6,5, WR-T-9,0 ja WR-T-13 puurakenteiden liittiminä
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Asiantuntemus tasoleikkauslujuudelle ja tasoleikkausmoduulille CLT-paneeleissa
Deriviation of the tributary width in CLT-rib deck elements for the engineering practice; TU-Graz, focus_sts 2.2.3_1	CLT-ripalaattaelementtien esittäminen ja valmistus määritettäessä tehokasta levyn leveyttä elementeille; TU-Graz, huomio sts 2.2.3_1 2.3_1
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 jokapäivälisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajaymmärrys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, siitä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa valkeissa rakennesuunnitteluun 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 käytöt 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 tönkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuksellisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilöön kohdistunut vahinko. Alkaisemmin 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).