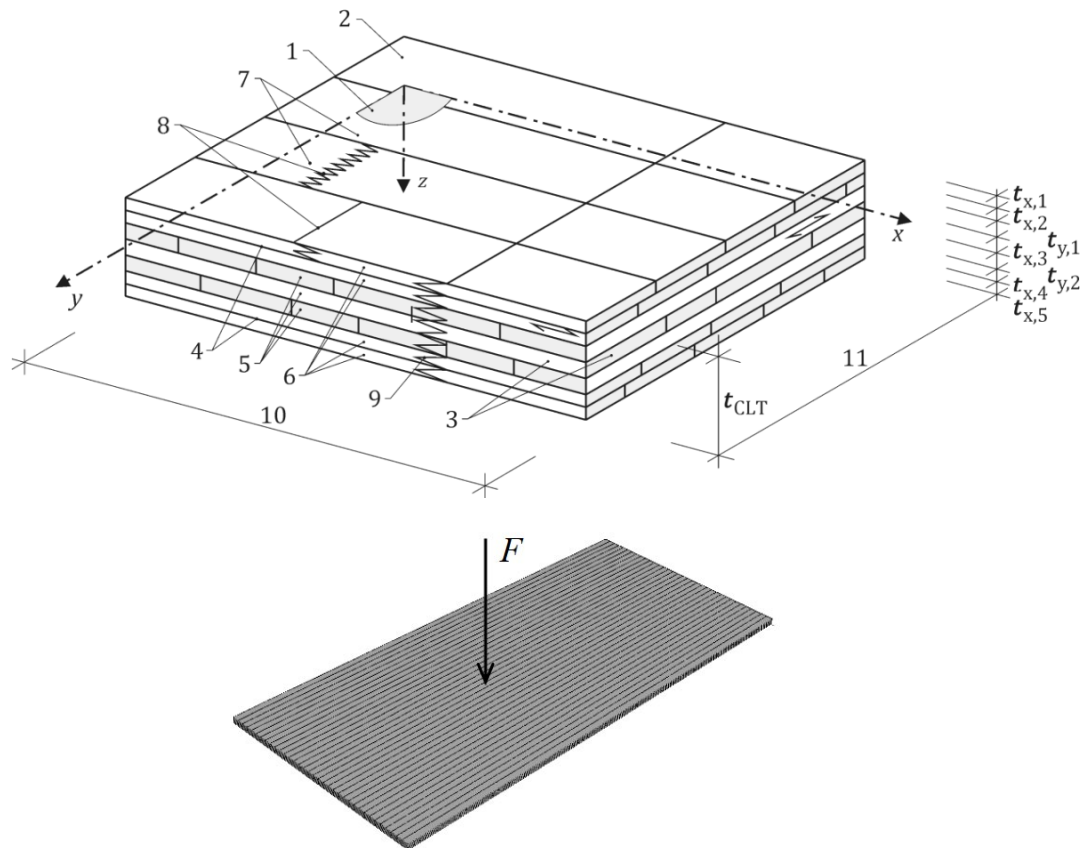


CLT-rakenteiden suunnittelu

Sami Pajunen, Tampereen yliopisto

Sisältö



- Materiaaliominaisuudet
- Analyysi ja mitoitus
- Paikallinen kuormitus
- CLT levyjäykistyksessä
- Lisätietoa CLT-rakenteiden suunnittelusta

Materiaaliominaisuudet (Annex M ja N)

Table M.3 — Properties and associated symbols for cross laminated timber

MSP	Property		Symbols in EN 1995 (all parts)
Strength			
x	Characteristic bending strength	out of plane loading	$f_{m,k}$
x	Characteristic tension strength	in plane loading	$f_{t,0,k}$
x		perpendicular to plane loading	$f_{t,90,k}$
x	Characteristic compression strength	in plane loading	$f_{c,0,k}$
x		perpendicular to plane loading	$f_{c,90,k}$
x	Shear strength	out of plane loading	$f_{v,k}$
x		rolling shear	$f_{r,k}$
Stiffness			
x	Modulus of elasticity	in and out of plane loading	E_{mean}
x		perpendicular to plane loading	$E_{90,mean}$
x	Shear modulus	Out of plane loading	G_{mean}
x		Rolling shear	$G_{r,mean}$
Density			
x	Characteristic value of density		ρ_k

- Liite M määrittelee CLT:n materiaaliominaisuudet, jotka on oltava tiedossa, jotta EC5 ohjeita voi ylipäättään soveltaa
- EAD 130005 on käytettävissä materiaaliominaisuuksien määrittämisessä
- k_{mod} , k_{def} , ja γ_M ovat lähes samoja kuin aiemmin (syrjätaivutetulle CLT ei ole omaa virumalukua)

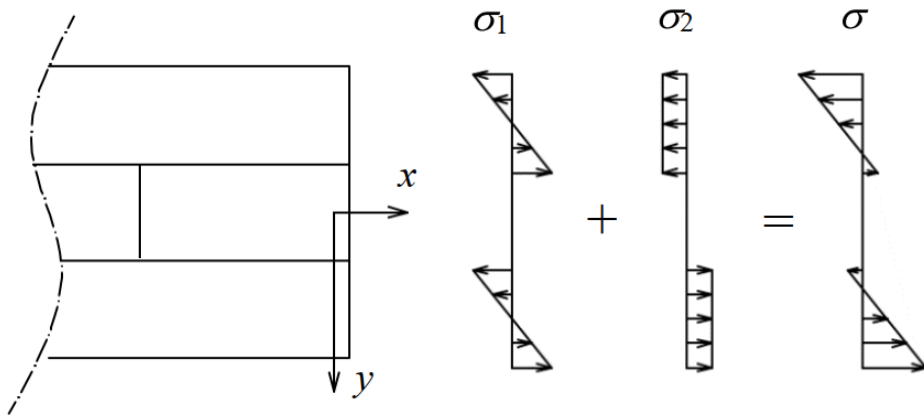
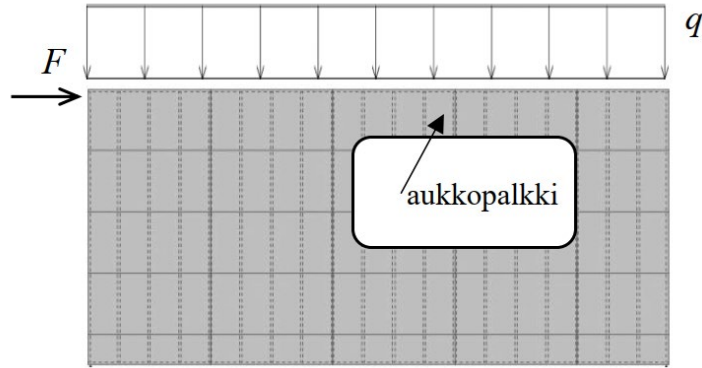
Materiaaliominaisuudet (Annex M ja N)

Table N.1- Strength class for cross laminated timber (CLT)

Property		Symbol	Unit	Strength class CL24
Bending strength	Out of plane loading	$f_{m,k}$	N/mm ²	24
	In plane loading	$f_{m,edge,k}$	N/mm ²	20,5 ^a
Tension strength	In plane loading	$f_{t,0,k}$	N/mm ²	14
	Perpendicular to plane loading	$f_{t,90,k}$	N/mm ²	0,12
Compressive strength	In plane	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	21
	Perpendicular to plane	$f_{c,90,k}$	N/mm ²	2,5
Shear strength	Out of plane loading	$f_{v,k}$	N/mm ²	3,5
	Rolling shear	$f_{r,k}$	N/mm ²	0,7
	Perpendicular to plane loading	$f_{v,xy,k}$	N/mm ²	5,5 ^a
Modulus of elasticity	In and out of plane loading	E_{mean}	N/mm ²	11.000
	Perpendicular to plane loading	$E_{90,mean}$	N/mm ²	370
Shear modulus	Out of plane loading	G_{mean}	N/mm ²	650
	Rolling shear	$G_{r,mean}$	N/mm ²	50
	In plane loading	$G_{v,xy,mean}$	N/mm ²	250 ^a
Density		ρ_k	kg/m ³	385

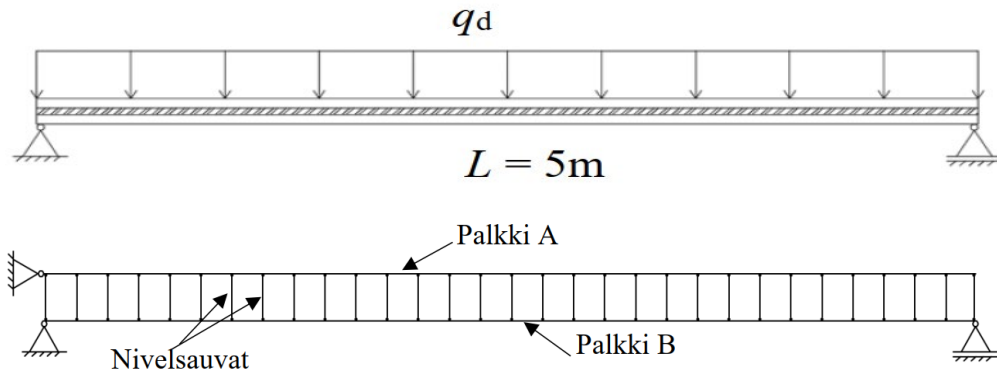
- Liite N määrittelee CLT:lle lujuusluokan CL24
- Kaikkien ominaisuuksien on täytyttävä, jotta CLT-levy katsotaan kuuluvaksi CL24-lujuusluokkaan
- Note a) This value is usually not declared within DoP. The given value is taken from EN 16351:2021 which is not a harmonized standard. If a different value is declared by the manufacturer, that value applies. National regulations may apply.

Analyysi ja mitoitus (luku 7)

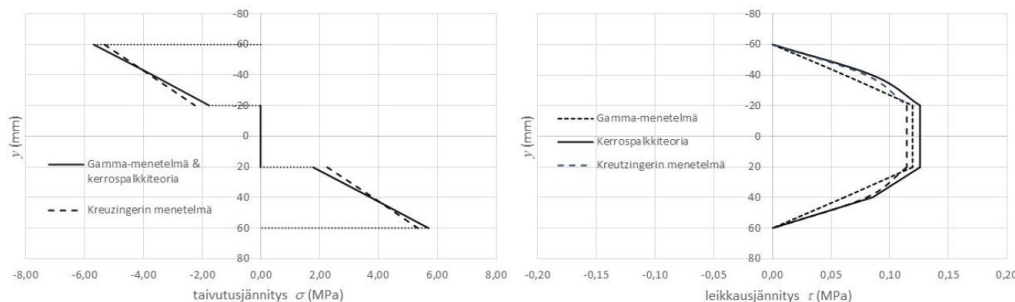


- MRT-tarkastelut tehdään nettopoikkileikkaukselle eli kerrokset kantavat vain syysuuntaisia rasituksia
- Lapetaivutuksessa poikkileikkauksen jännitysjakautuma pitää määrittää sopivalla menetelmällä
 - Gamma-menetelmä (max. 5 krs)
 - Leikkausanalogia (yli 5 krs)

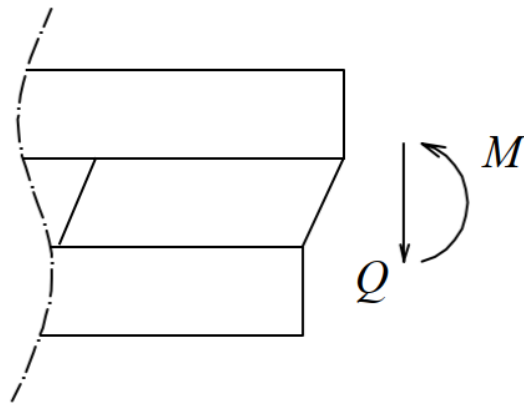
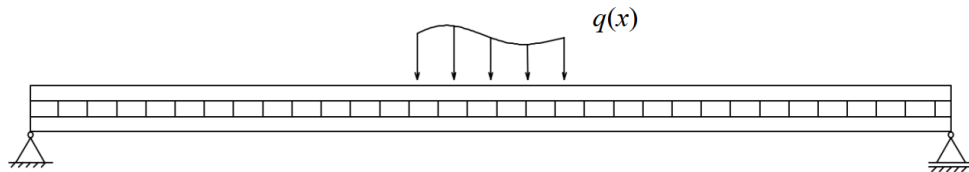
Analyysi ja mitoitus



- Tasossaan kuormitetun CLT-levyn tai CLT-palkin analyysi on suoraviivaista
 - Nettopoikkileikkauksen käyttö
 - Shear wall: ruotsalainen tai kanadalainen CLT-käsikirja antaa hyvät ohjeet
- Lapetaivutettu palkki vaativampi
 - EC5 Liite B:ssä aiemmin kuvattu Gamma-menetelmä on nyt Liitteessä I (mutta sitä ei ole edelleenkään avattu erikseen CLT:lle!)
 - EAD 130005 mainitsee yli 5-kerroksisille poikkileikkauksille Leikkausanalogian sopivana menetelmänä (Shear Analogy)

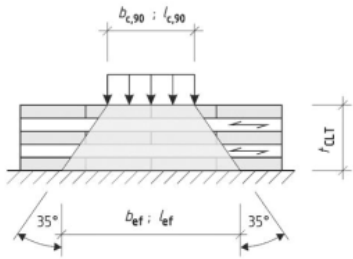


Analyysi ja mitoitus (luku 7)

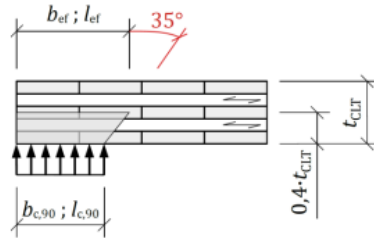


- Leikkausmuodonmuutoksen vaikutus (kokonaissiirtymiin) pitää huomioida, ellei palkin korkeus/pituus-suhde ole yli 30.
- Raja-arvo 30 pätee sekä lape- että syrjätaivutetulle palkille
- HUOM. Poikittaisten kerrosten leikkausmuodonmuutos pitää aina ottaa huomioon, koska se vaikuttaa poikkileikkauksen jännitysjakautumaan (gamma-kerroin).

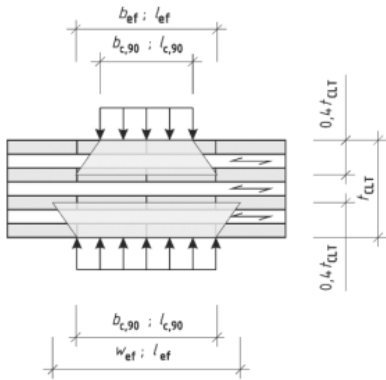
Analyysi ja mitoitus (luku 7)



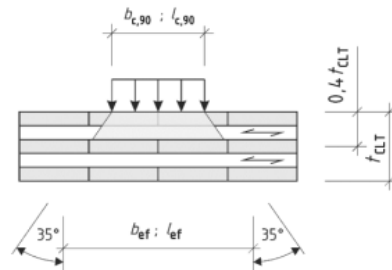
a) Jatkuva tuki



b) Paikallinen tuki



c) Tuet molemmilla puolilla, ovat eri kokoisia ja eri kohdissa

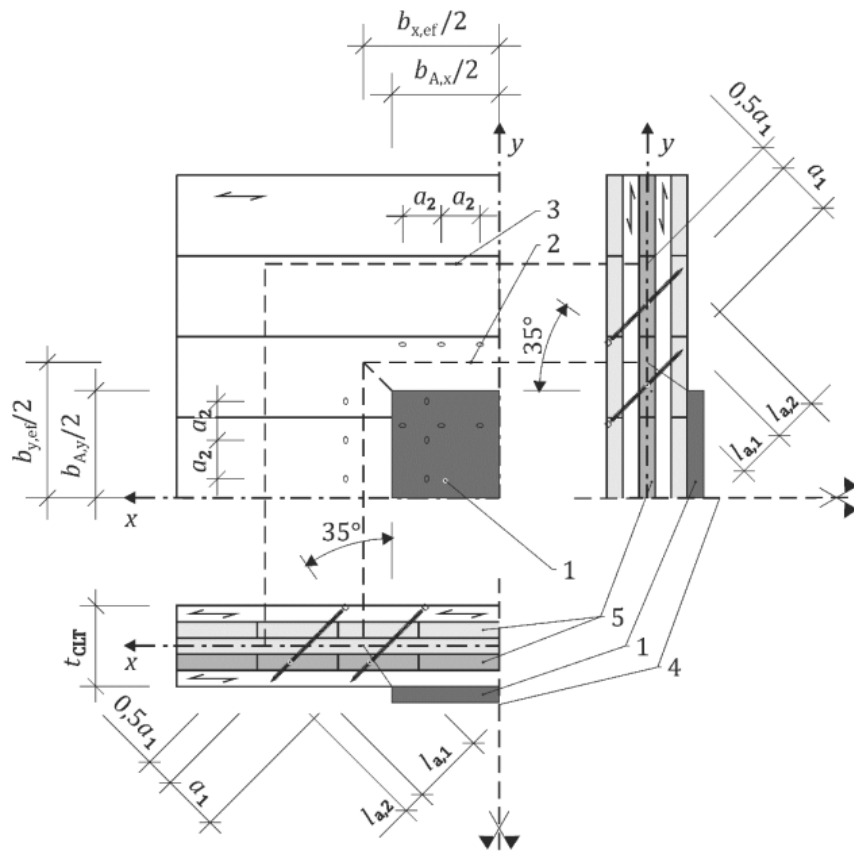


d) Paikallisesti kuormitettu

- Kun CLT-rakenteen jännitys jakauma on määritetty, mitoitus tehdään pääsääntöisesti tarkastelemalla jokaista lautakerrosta erikseen.
 - Normaalijännitys: uloimmat kerrokset
 - Leikkausjännitys: poikittaiskerrokset
- Syitä vastaan kohtisuoran puristuksen tapauksessa tarkastellaan kuitenkin koko poikkileikkausta

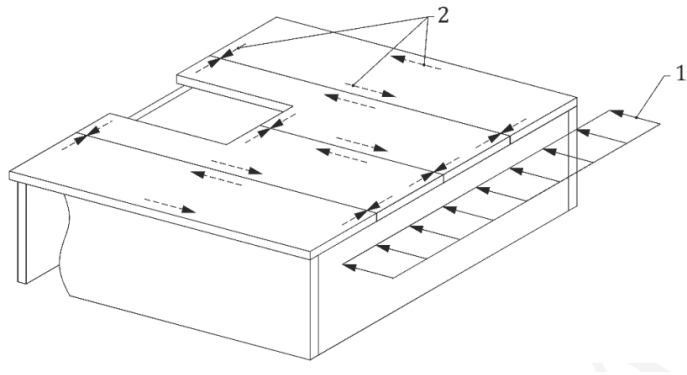
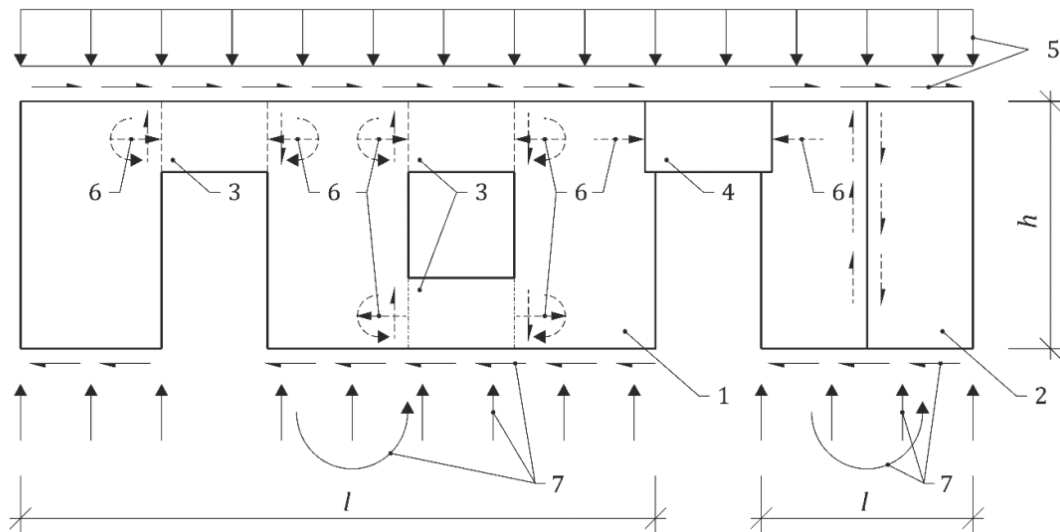
$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{mat} k_{c,90} f_{c,90,d}, \quad k_{c,90} = \sqrt{\frac{b_{ef} l_{ef}}{b_{c,90} l_{c,90}}} \leq 4,0,$$

Paikallinen kuormitus (Annex G)



- Liitteessä G esitetään mitoitus ehdot seuraaville tapauksille:
- (Laatta): tasoa vastaan kohtisuora paikallinen kuormitus
 - Vahvistamaton CLT
 - Ruuveilla vahvistettu CLT
- (Seinä): tason suuntainen paikallinen kuormitus
 - Ehjä seinä
 - Seinä, jossa aukkoja
- Edellisten sovellutuksena on annettu myös ohjeita CLT-kantisen ripalaatan mitoitukseen

CLT levyjäykistyksessä (Luku 13.6)



- Aukkopalkit voidaan hyödyntää levyjäykistyksessä (kuvassa 3)...
- ...paitsi jos aukkopalkki ei pysty välittämään momenttia, sen eri puolilla olevat kentät toimivat erillisinä (kuvassa 4)
- CLT-levyjen saumoissa voidaan leikkausvuo olettaa tasan jakautuneeksi
- Vaakarakenteena CLT toimii myös osana jäykistysjärjestelmää
 - Annettu ehtoja kiinnittimien välimatkoille
 - CLT on tasossaan ideaalisen jäykkä

Lisätietoa CLT-rakenteiden mitoituksesta

- Maria Saraheimo, *CLT-rakenteiden suunnittelu uudessa Eurokoodi 5 luonnoksessa*. Kandidaatintyö. Tampereen Yliopisto. 2023.
- Essi Lääveri, *Taivutetun CLT-laatan laskentamenetelmiä*. Diplomityö. Tampereen Yliopisto. 2023.
- Pajunen, S., Lääveri, E., & Heinisuo, M. Lapetaivutetun CLT-rakenteen lujuuslaskentamenetelmät. Arvioitavana, *Rakenteiden Mekaniikka*.
- Heinisuo, M., & Pajunen, S. (2021). CLT beam analysis using classical elastic theory of layered beams. *Rakenteiden Mekaniikka*, 54(4).
- Heinisuo, M., Pajunen, S., & Aspila, A. (2023). Ultimate failure load analysis of cross-laminated timber panels subjected to in-plane compression. In *Structures* (Vol. 47, pp. 1558-1565). Elsevier.