

Lassi-Matti Salo

CLT-elementtiparvekkeiden mitoitus ja laskentapohjat

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Lassi-Matti Salo

Työn nimi: CLT-elementtiparvekkeiden mitoitus ja laskentapohjat

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 55

Liitteiden lukumäärä: 3

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa Puuidea Oy:n toimeksiannosta kuormanlaskentapohjat elementtiparvekkeille ja mitoituspohjat CLT-laattarakenteille ja -seinäarakenteille. Laskentapohjat toteutettiin Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmistoon.

Opinnäytetyössä toteutetut rakenteiden laskentapohjat soveltuvat kolmesta, viidestä ja seitsemästä lamellikerroksesta koostuvan CLT-levyn mitoitukseen valmistajasta riippumatta. Kuormanlaskentapohjilla voidaan laskea kuormat rakenteille ja perustuksille yrityksen yleisimmille torniparveketapauksille.

Opinnäytetyössä tehty mitoitus perustuu Suomen Rakennusinsinöörien liiton julkaisuihin RIL 201-1-2017, RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019, sekä standardiin SFS-EN 1995-1-1 liitteen B mukaiseen mekaanisesti liitettyjen palkkien teoriaan, jota sovelletaan CLT-rakenteiden mitoituksessa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään kuormien laskentaan, sekä CLT-laattarakenteiden ja -seinäarakenteiden taivutus-, leikkaus-, taipuma-, värähtely ja palomitoitukseen.

Avainsanat: CLT, laskentaohjelma, kuormien laskenta, mitoitus, puurakentaminen

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Lassi-Matti Salo

Title of thesis: Design and calculation programs for CLT-element balconies

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2020

Number of pages: 55

Number of appendices: 3

The purpose of the thesis was to create load calculation programs for CLT-element balconies and design programs for CLT slab and wall structures. The assignment for the thesis was given by Puuidea Oy. The calculation programs were implemented in Microsoft Excel spreadsheet software.

The structural design programs are suitable for designing CLT-elements comprising of three, five and seven lamellae layers, regardless of the manufacturer. The load calculation programs can be used to calculate loads on structures and foundations for the most common tower balcony cases of the company.

The design made in the thesis was based on the RIL 201-1-2017, RIL 205-1-2017 and RIL 205-2-2019 publications by the Finnish Association of Civil Engineers RIL, and on the theory of mechanically jointed beams in SFS-EN 1995-1-1 annex B, which was applied to the structural design of CLT-elements.

The theory section of the thesis involved the calculation of loads, as well as the bending, shear, deflection, frequency and fire design of CLT slab and wall structures.

Keywords: CLT, calculation program, load calculation, structural design, wood construction

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Opinnäytetyön tausta	9
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet	9
1.3 Rajaukset.....	10
2 CLT RAKENNUSMATERIAALINA	11
3 KUORMIEN LASKENTA	12
3.1 Kuormat ja kuormitusyhdistelyt	12
3.2 Omapaino ja hyötykuorma	15
3.3 Lumikuorma	17
3.4 Tuulikuorma	19
4 CLT-LAATAN MITOITUS	22
4.1 Taivutus	22
4.2 Leikkaus.....	28
4.3 Taipuma	31
4.4 Värähtely.....	33
4.5 Palo.....	36
5 CLT-SEINÄN MITOITUS.....	40
5.1 Taivutus ja puristus	40
5.2 Leikkaus.....	44
5.3 Taipuma	44
5.4 Palo.....	45
6 LASKENTAPOHJAT	50
6.1 Kuormien laskentapohja.....	50
6.2 Laatan mitoituspohja	51

6.3 Seinän mitoituspohja.....	51
7 YHTEENVETO.....	52
LÄHTEET	54
LIITTEET	55

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. 3-kerroksinen CLT-levy	11
Kuvio 2. Lumikuorman vähimmäisarvot maassa [kN/m^2]	18
Kuvio 3. Puuskanopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa	20
Kuvio 4. Voimakertoimen c_f arvot suorakaiteen muotoisille rakennuksille.....	21
Kuvio 5. Maastoluokkien kuvaukset	21
Kuvio 6. Tilan suurimmasta sivumitasta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin k	35
Kuvio 7. Lamellikerrosten hiiltymisnopeudet vaakasuuntaisessa CLT-rakenteessa	36
Kuvio 8. Lamellikerrosten hiiltymisnopeudet pystysuuntaisessa CLT-rakenteessa	46
Taulukko 1. Kuormakertoimen K_{FI} arvot.....	14
Taulukko 2. Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet.....	15
Taulukko 3. Rakennuksen tilojen luokat ja tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot.....	16
Taulukko 4. Lumikuorman muotokertoimen arvot	18
Taulukko 5. Tuulensuojaisuuskertoimen arvot	18
Taulukko 6. Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimen arvot	26
Taulukko 7. Materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluvut	27
Taulukko 8. Havupuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet eri lujuusluokissa.....	27

Taulukko 9. Rakenteiden taipumien raja-arvot.....	31
Taulukko 10. Virumaluvun arvot puulle ja puutuotteille	33
Taulukko 11. Kertoimen k_0 arvot.....	37
Taulukko 12. Puristetun sauvan nurjahduspituuksia	42

Käytetyt termit ja lyhenteet

CLT	Cross Laminated Timber on sahatavarasta ristiinliimaamalla valmistettu massiivipuulevy (RIL 205-1-2017 2017, 21).
Delaminoituminen	Delaminoituminen palotilanteessa tarkoittaa rakenteen palamisen vaiheisuutta (Monikerroslevy (CLT), [viitattu 13.5.2020]).
EC	Eurocode eli suomeksi eurokoodi, joka on Euroopan yhtenäinen suunnitteluohje (RIL 205-1-2017 2017, 3).
Kuormitusyhdistelmä	Useita eri kaavoja, joilla osoitetaan rakenteen luotettavuus eri kuormien vaikutuksien alaisena samanaikaisesti (RIL 201-1-2017 2017, 22).
Käyttörajatila	Tila, jonka ylittämisen jälkeen käyttökelpoisuusedellytykset eivät enää täyty. Käyttörajatilat jaotellaan palautuviksi ja palautumattomiksi. (RIL 201-1-2017 2017, 21.)
Mitoitusarvo	Kuorman tai lujuuden ominisarvo, jossa on käytetty varmuuskertoimia (RIL 201-1-2017 2017, 22).
Murtorajatila	Tila, jonka ylittämisen jälkeen rakenne vaurioituu tai sortuu (RIL 201-1-2017 2017, 21).
Muuttuva kuorma	Kuorma, jonka suuruus ei pysy vakiona. Muuttuvaksi kuormaksi luetellaan rakennuksen hyötykuormat, sekä muut liikkuvat kuormat. (RIL 201-1-2017 2017, 21.)
Pysyvä kuorma	Kuorma, jonka suuruus pysyy vakiona tai vaihtelee merkityksettömästi. Pysyviksi kuormiksi luetellaan rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omat painot. (RIL 201-1-2017 2017, 21.)

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Tilaaajayrityksenä opinnäytetyölle toimi Puuidea Oy joka on Teuvalla toimiva puuelementtirakentamiseen erikoistunut yritys. Yritys keskittyy pääasiassa tuottamaan CLT-rakenteisia elementtiparvekkeita betoni- ja puukerrostaloihin, mutta se valmistaa myös piharakennuksia. Yrityksellä oli tarjolla useita eri opinnäytetyön aiheita. Tehtyyn opinnäytetyön aiheeseen päädyttiin oman kiinnostuksen ja osaamisen pohjalta.

Yrityksellä oli useita eri laskentapohjia, mutta niiden työstäminen rakennusvalvontaa varten olisi ollut työlästä. Tästä syystä yritys antoi toimeksiannon tehdä opinnäytetyö, jossa tehdään kuormanlaskenta- ja lujuuslaskentapohjat CLT-rakenteisille parvekkeille Microsoftin Excel-tilukkolaskentaohjelmistoon.

CLT-rakenteiden mitoittaminen opinnäytetyössä perustuu EC 1995-1-1 liitteen B mukaiseen mekaanisesti liitettyjen palkkien teoriaan, jota sovelletaan CLT-rakenteiden mitoituksessa. Puurakenteiden mitoituksen osalta mitoittaminen perustuu Suomen Rakennusinsinöörien liiton julkaisuihin RIL 205-1-2017 ja RIL 205-2-2019. Rakenteiden palomitoitus työssä perustuu Stora Enso Oyj:n CLT-rakenteiden palomitoitusohjeisiin.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tuottaa tilaaajayritykselle Puuidea Oy:lle kuorman laskentapohjat elementtiparvekkeille, sekä lujuuslaskentapohjat CLT-laatta- ja seinärakenteille. Laskentapohjat toteutettiin Microsoft Excel-tilukkolaskentaohjelmistolla.

Laskentapohjista haluttiin saada selkeät tulosteet rakennusvalvontaa varten. Tulosteissa täytyi esittää laskennan eteneminen, laskennassa käytetyt kaavat, kaavojen lähteet, rakennemalli sekä tulokset.

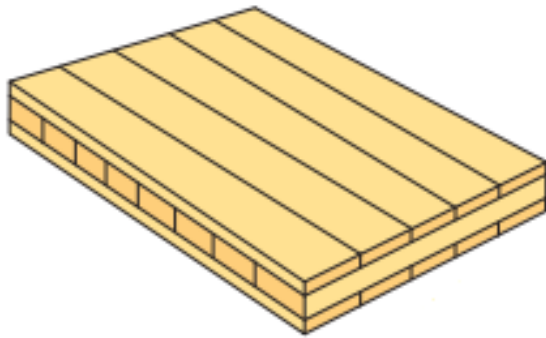
1.3 Rajaukset

Opinnäytetyössä tuotetut CLT-rakenteiden laskentapohjat rajattiin mitoittamaan 3-, 5- ja 7-lamellisia CLT-levyjä. Rakenteiden laskentapohjien tuli sisältää laattarakenteiden taivutus-, leikkaus-, taipuma-, värähtely- ja palomitoituksen sekä seinärakenteiden nurjahdus-, leikkaus-, taipuma- ja palomitoituksen.

Opinnäytetyössä tuotetut kuormanlaskentapohjat rajattiin laskemaan kuormitukset rakenteille ja perustuksille tilaajayrityksen yleisimmille CLT-rakenteisille torniparveketapauksille. Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään kuormien laskentaan sekä CLT-laattarakenteiden ja -seinärakenteiden mitoitukseen.

2 CLT RAKENNUSMATERIAALINA

CLT-levyt valmistetaan ristiinliimaamalla sahatavaraa päällekkäin vähintään kolmeen kerrokseen. Aluksi sahatavara liimataan toisiinsa pitkiksi laudoiksi sormiliitoksilla. Liiman kuivuttua laudat höylätään ja liimataan kiinni toisiinsa levyiksi puristamalla paineen alla. Lamellikerroksia on yleensä 3, 5, 7 tai 9. Kerrosten paksuus voi vaihdella 20-60 mm:n välillä. CLT-elementit voidaan toteuttaa yleisesti 1,2-3 metriä leveänä ja 16 metriä pitkänä valmistajasta riippuen. Elementtien paksuus on yleensä 80-300 mm. Kuviossa 1 on esitetty kolmesta lamellikerroksesta koostuva CLT-levy. (Gustafsson 2019, 16-17.)



Kuvio 1. 3-kerroksinen CLT-levy (Gustafsson 2019, 16).

CLT-elementtejä voidaan käyttää rakentamisessa useissa eri paikoissa, kuten muun muassa kantavissa seinissä, ulkoseinissä, väliseinissä, välipohjissa, yläpohjissa, parvekkeissa, porraskuiluissa ja hissikuiluissa. CLT:tä voidaan myös käyttää palkkirakenteena. CLT-levyillä on korkea kantava kapasiteetti ja jäykkyys tehden ne sopivaksi rakennuksen jäykistämistä varten. (Gustafsson 2019, 21-26.)

CLT-elementtien alhaisen painon ansiosta elementtien käsittely työmaalla on huomattavasti helpompaa kuin esimerkiksi betonielementtien. Rakenteiden keveys antaa etuja myös kuljetuksen ja kokoonpanon kustannuksiin. CLT-levyjen muokkaus työmaalla on mahdollista käsityökaluilla. Elementteihin voidaan tehdä valmiiksi tehtaalla aukot esimerkiksi ikkunoille tai oville, mikä lyhentää rakennusaikaa työmaalla. Elementtien liitoksissa voidaan käyttää yksinkertaisia naula- tai ruuviliitoksia. (Gustafsson 2019, 8-9.)

3 KUORMIEN LASKENTA

3.1 Kuormat ja kuormitusyhdistelyt

Rakennukseen ja rakenteisiin kohdistuu kuormia useilla eri tavoilla. Yleisimpiä kuorman aiheuttajia, joille rakenteet tulee mitoittaa ovat rakenteiden ja kiinteiden laitteiden oma paino, rakennuksen käytöstä aiheutuva hyötykuorma, sekä luonnonilmiöistä johtuva lumi ja tuuli. Näiden lisäksi rakenteet tulee mitoittaa onnettomuustilanteiden kuormille, kuten räjähdyksille tai törmäyksille. (RIL 201-1-2017 2017, 29.)

Rakenteet mitoitetaan käyttämällä kuormitusyhdistelmiä. Kuormitusyhdistelmiä tehdään useita ja ne huomioivat kuormat osavarmuus- ja yhdistelykertoimilla. Murtorajatilan kuormitusyhdistelyissä käytetään yhtä muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, jolle käytetään osavarmuuskertoimena arvoa 1,5. Muut toissijaiset muuttuvat kuormat otetaan huomioon kuormitusyhdistelyissä osavarmuuskertoimella 1,5 ja pienentävällä muuttuvan kuorman yhdistelykertoimella $\Psi_{0,i}$. Omapaino ja muut pysyviksi luokitellut kuormat otetaan huomioon osavarmuuskertoimella 1,15, ellei kuormitusyhdistelyä tehdä ilman muuttuvia kuormia. Jos kuormitusyhdistely tehdään ilman muuttuvia kuormia, pysyvät kuormat otetaan huomioon osavarmuuskertoimella 1,35. Kuormitusyhdistelyissä kuormakerroin K_{FI} :llä otetaan huomioon seuraamusluokkien mukainen varmuuskerroin kuormissa. Murtorajatilan mitoituksessa käytettävän kuormitusyhdistelyn arvona käytetään suurempaa kaavoista (1) ja (2) saaduista arvoista. (RIL 201-1-2017 2017, 39-42.)

$$1,15 \cdot K_{FI} \cdot \sum G_{k,i} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \sum \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (1)$$

$$1,35 \cdot K_{FI} \cdot \sum G_{k,i} \quad (2)$$

missä K_{FI} seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin, joka saadaan taulukosta 1

G_k pysyvän kuorman ominaisarvo

$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\Psi_{0,1}$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan taulukosta 2
$Q_{k,i}$	toissijaisen muuttuvan kuorman ominaisarvo

Mikäli kuormitusilanteessa pysyvien kuormien vaikutus on rakenteen kestävyydelle edullista käytetään kuormitusyhdistelyissä kaavan (1) sijaan kaavassa (3) esitettyä kuormitusyhdistelyä (RIL 205-1-2017 2017, 27).

$$0,9 \cdot G_{k,i} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \sum \psi_{0,1} \cdot Q_{k,i} \quad (3)$$

Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmiä on useita. Käyttörajatilan mitoituksessa käytettävä kuormitusyhdistelmä valitaan tarkasteltavan rakenteen käyttökelpoisuus- ja toimivuusedellytyksien mukaan. Käyttörajatiilojen kuormitusyhdistelyissä ei käytetä osavarmuuskertoimia kuormille. Muuttuvissa kuormissa kuitenkin käytetään muuttuvien kuormien pienennyskertoimia alla esitettyjen käyttörajatiilojen kuormitusyhdistelmien mukaisesti. (RIL 201-1-2017 2017, 44.)

Ominaisyhdistelmää käytetään, kun mitoitetaan palautumatonta rajatilaa. Palautumattomassa rajatilassa käyttökelpoisuusedellytyksien ylittävien rasituksien vaikutukset eivät palaudu rasituksien poistamisen jälkeen. Kaavassa (4) on esitetty ominaisyhdistelmä. (RIL 201-1-2017 2017, 44.)

$$\sum G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4)$$

Tavallista yhdistelmää käytetään, kun mitoitetaan palautuvaa rajatilaa. Palautuvassa rajatilassa käyttökelpoisuusedellytyksien ylittävien rasituksien vaikutukset palautuvat rasituksien poistamisen jälkeen. Kaavassa (5) on esitetty tavallinen yhdistelmä. (RIL 201-1-2017 2017, 44.)

$$\sum G_{k,i} + \psi_{1,1} \cdot G_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5)$$

Pitkäaikaisyhdistelmää käytetään, kun mitoitetaan rakennetta pitkäaikaisvaikutuksille ja ulkonäköedellytyksille. Kaavassa (6) on esitetty pitkäaikaisyhdistelmä. (RIL 201-1-2017 2017, 44.)

$$\sum G_{k,i} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6)$$

Onnettomuustilanteiden kuormitusyhdistelyissä ei käytetä osavarmuuskertoimia pysyville kuormille eikä hyötykuormille. Kuormitusyhdistelmissä huomioidaan onnettomuuskuorman mitoitusarvo A_d . Käytettävä kuormitusyhdistelmä määräytyy määräävän muuttuvan kuorman mukaan. (RIL 201-1-2017 2017, 41.)

Onnettomuustilanteen mitoituksessa käytetään kaavan (7) mukaista kuormitusyhdistelyä, kun määräävänä muuttuvana kuormana on lumi-, jää- tai tuulikuorma (RIL 201-1-2017 2017, 41).

$$\sum G_{k,i} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (7)$$

Onnettomuustilanteen mitoituksessa käytetään kaavan (8) mukaista kuormitusyhdistelyä, kun määräävänä muuttuvana kuormana on muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma (RIL 201-1-2017 2017, 41).

$$\sum G_{k,i} + A_d + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (8)$$

Mikäli kuormitustilanteessa pysyvien kuormien vaikutus on rakenteen kestävyydelle edullista, onnettomuustilanteissa käytettävissä kuormayhdistelyissä käytetään pysyvien kuormien ominaisarvolle kerrointa 0,9 (RIL 201-1-2017 2017, 41).

Kuormayhdistelyissä käytettävä kuormakertoimen arvo on 0,9-1,1 rakennuksen seuraamusluokan mukaan. Taulukossa 1 on esitetty kuormakertoimen arvot. Kuormitusyhdistelyissä käytettyjen muuttuvien kuormien pienennyskertoimien arvot on esitetty taulukossa 2. (RIL 201-1-2017 2017, 39-51.)

Taulukko 1. Kuormakertoimen K_{FI} arvot (RIL 201-1-2017 2017, 39).

Kuormakerroin K_{FI}	Seuraamusluokka
1,1	CC3
1,0	CC2
0,9	CC1

Taulukko 2. Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet (RIL 205-1-2017 2017, 29).

Kuorma	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, esim. autotallit	0,7	0,7	0,6 **)
Luokka G: liikennöitävät tilat, raskaat ajoneuvot	0,7	0,5	0,3 **)
Luokka H: vesikatot (kunnossapito)	0	0	0
Jääkuorma (huurtumisesta, jäätävästä sateesta tai räntäsateesta)	0,7	0,3	0
Lumikuorma *) , kun			
$s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,5	0,2
Rakennusten tuulikuormat	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset, tukien painumat	1,0	1,0	1,0
<p>*) Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\Psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom! Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, jota ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään Ψ-arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ***) Ajokäytävillä $\Psi_2 = 0$.</p>			

3.2 Omapaino ja hyötykuorma

Kuormat määritellään pysyviksi ja muuttuviksi kuormiksi. Pysyviä kuormia ovat rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omat painot. Muuttuvia kuormia ovat rakennuksen käyttötarkoituksesta johtuvat kuormat sekä luonnonilmiöstä aiheutuvat kuormat, kuten lumi ja tuuli. Jos omapaino on siirrettävää, se huomioidaan hyötykuormana. (RIL 201-1-2017 2017, 61-68.)

Rakenteiden omat painot lasketaan tilavuuksien ja tilavuuspainojen perusteella. RIL:n kirjassa 201-1-207 osan 1.1 liitteessä A on esitetty rakennusmateriaalien tilavuuspainoja. Kiinteiden laitteiden omat painot täytyy selvittää valmistajalta. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaiset hyötykuormat on esitetty taulukossa 3. (RIL 201-1-2017 2017, 63-81.)

Taulukko 3. Rakennuksen tilojen luokat ja tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot (RIL 205-1-2017 2017, 34).

Kuormitettujen tilojen luokat	q _k [kN/m ²]			Q _k [kN] (portaat suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A: Asunto- ja majoitustilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
Luokka B: Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C: Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua				
C1 Pöytäalueet	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
C2 Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
C3 Esteettömät alueet	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
C4 Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
C5 Tungokselle alttiit alueet	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D: Myymälätilat				
D1 Tavalliset vähittäiskaupat	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
D2 Tavaratalot	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)
Luokka E: Varastotilat				
E1 Tavarain säilytys ja vastaanottotilat	7,5	3,0	-	7,0 (2,0)
Luokka H: Vesikatot ilman hyötykäyttöä		0,4		1,0

3.3 Lumikuorma

Lumikuorman aiheuttamat rasitukset tulee ottaa huomioon mitoittaessa yläpohjarakenteita. Lumikuormat otetaan kuormitusyhdistelyissä huomioon muuttuvana kuormana. Katolla tai muissa rakenteissa esiintyvät lumikuormat voivat tilanteesta riippuen olla tasaista neliökuormaa tai lineaarisesti kasvavaa kuormaa, jos lumen kinostuminen on mahdollista. Lumen kinostumisen voi aiheuttaa useat eri tekijät, kuten katon muoto, korkeampaa rakennuskohdetta vasten oleva yläpohjarakenne tai paikallinen ilmasto. Tapauksissa, joissa lumen kinostumista esiintyy katolla tai muissa yläpohjarakenteissa, sovelletaan standardia EN 1991-1-3 tai kirjan RIL 201-1-2017 osaa 1.3. Rakenteiden mitoituksessa täytyy ottaa huomioon lumen jakautuminen tai poistaminen asianmukaisilla kuormituskaavioilla. (RIL 201-1-2017 2017, 93-105.)

Yleisimmissä mitoitusilanteissa lumikuorma määritetään kaavalla (9). Kaavassa olevan lämpökertoimen C_t arvo on tavallisesti 1,0. Lämpökertoimen arvoa voidaan kuitenkin perusteellisesti tarkemmalla selvityksellä pienentää, jos kattorakenteiden lämmöneristykset ovat vähäisiä. Lumikuorman s_k arvo ei saa kuitenkaan olla pienempi kuin $0,5 \text{ kN/m}^2$. (RIL 201-1-2017 2017, 100.)

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (9)$$

missä	μ_i	lumikuorman muotokerroin, joka saadaan taulukosta 4
	C_e	tuulensuojaisuuskerroin, joka saadaan taulukosta 5
	C_t	lämpökerroin
	s_k	maassa olevan lumikuorman ominaisarvo, joka saadaan kuviosta 2

Usein lumikuorman laskenta pelkistyy kaavan (10) mukaiseksi (RIL 201-1-2017 2017, 101).

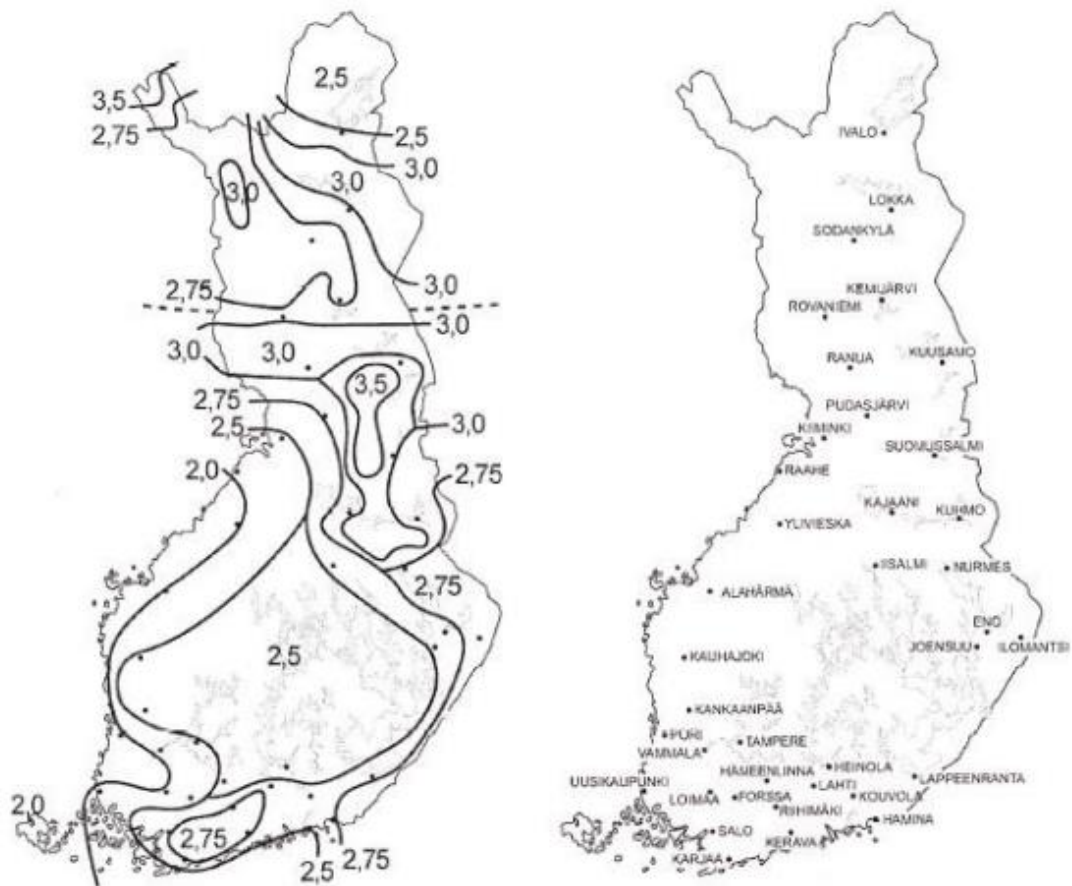
$$S = \mu_i \cdot S_k \quad (10)$$

Taulukko 4. Lumikuorman muotokertoimen arvot (RIL 201-1-2017 2017, 102).

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1, μ_2	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_3	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6

Taulukko 5. Tuulensuojaisuuskerroimen arvot (RIL 201-1-2017 2017, 100).

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen	0,8 ($\geq 1,0$, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

Kuvio 2. Lumikuorman vähimmäisarvot maassa [kN/m²] (RIL 201-1-2017 2017, 98).

3.4 Tuulikuorma

Rakenteita mitoittaessa täytyy huomioida niihin kohdistuva tuulikuorma. Tuulikuorma voidaan joko laskea rakennukseen aiheutuvasta kokonaistuulivoimasta tai tarkemmin pintoihin aiheutuvasta tuulikuormasta. Yleisesti rakenteiden mitoituksessa kokonaistuulivoima on riittävän tarkka. Erikoisemmissa tuulikuorman mitoitustilanteissa sovelletaan standardia EN 1991-1-4 tai kirjan RIL 201-1-2017 osaa 1.4. Matalille rakennuksille ($h < b$) kokonaistuulivoima lasketaan kaavasta (11). Kokonaistuulivoiman laskennassa rakennekertoimelle voidaan käyttää arvoa 1,0, mikäli RIL 201-1-2017 osan 1.4 kohdassa 6.2 esitetyt vaatimukset täyttyvät. Rakennekertoimelle voidaan myös tehdä yksityiskohtainen menettely standardin EN 1991-1-4 mukaisesti. (RIL 201-1-2017 2017, 123-145.)

$$q_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \quad (11)$$

missä	$c_s c_d$	rakennekerroin
	c_f	voimakerroin, joka saadaan suorakaiteen muotoisille rakennuksille kuviosta 4
	$q_p(z)$	maaston pinnan muodon mukaan modifioitu puuskanopeuspaine rakennuksen harjan korkeudella, joka saadaan kaavasta (12)

Kokonaistuulivoiman laskennassa tarvitaan maaston pinnan muodon mukaan modifioitua puuskanopeuspainetta. Mikäli maaston kaltevuus on alle 0,05 radiaania, voidaan puuskanopeuspaineelle käyttää kuviosta 3 saatua arvoa maastoluokan mukaan. Maastoluokan määrittäminen on esitetty kuviossa 5. Modifioitu puuskanopeuspaine saadaan kaavasta (12). (RIL 205-1-2017 2017, 42.)

$$q_p(z) = \gamma_d \cdot q_{p0}(z) \quad (12)$$

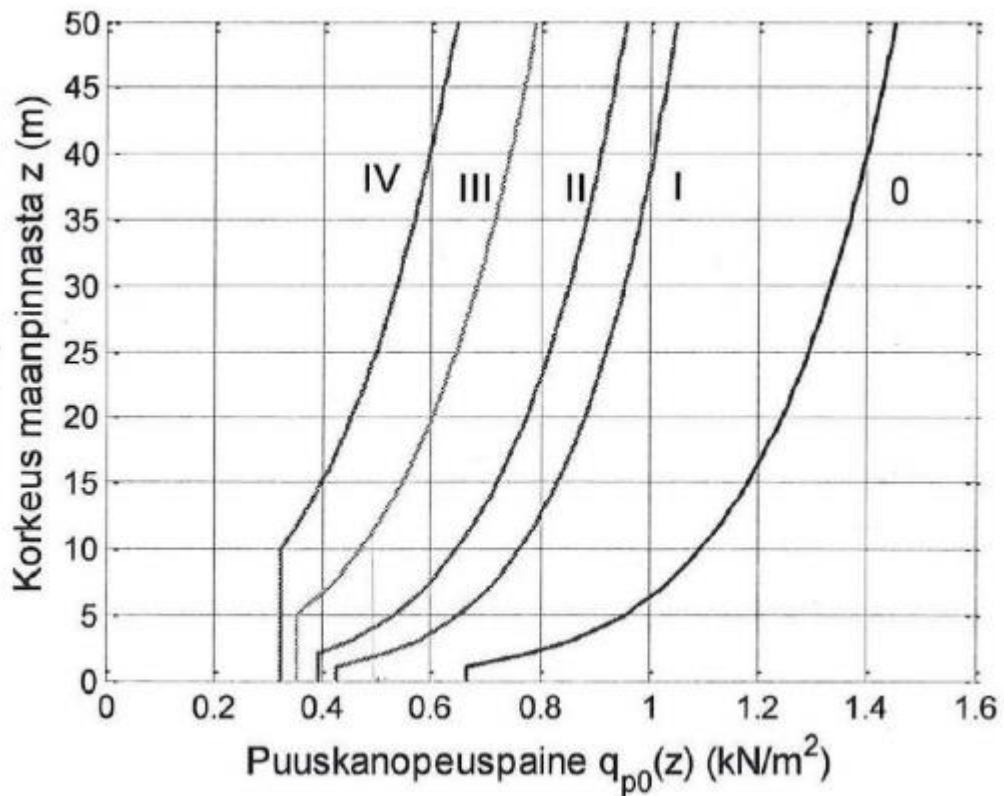
missä	γ_d	maaston kaltevuudesta riippuva kerroin, joka saadaan kaavasta (13)
-------	------------	--

$q_{p0}(z)$ tuulen puuskanopeuspaineen ominaisarvo rakennuksen harjan korkeudella maastoluokan mukaan, joka saadaan kuviosta 3

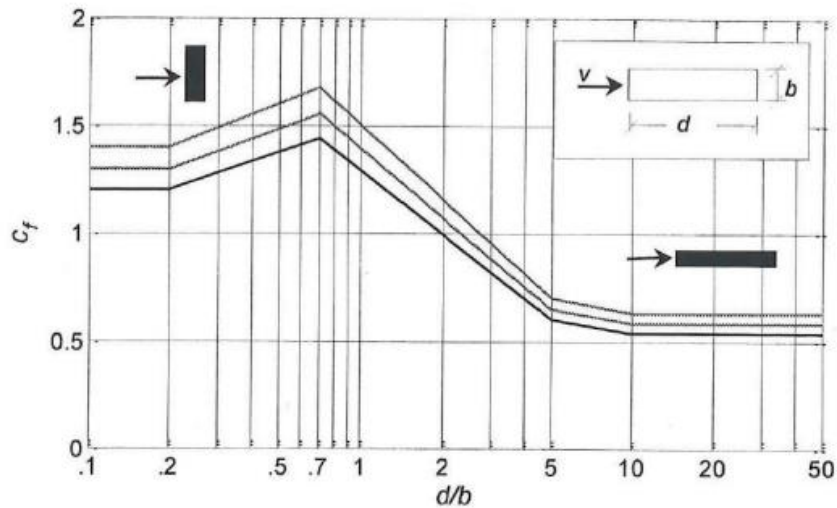
Modifioidun nopeuspaineen laskennassa tarvitaan maaston kaltevuudesta riippuvaa kerrointa γ_d . Kerroin voidaan yksinkertaisesti määrittää varmalle puolelle kaavasta (13). Kertoimen arvo ei kuitenkaan saa olla alle 1,84. (RIL 205-1-2017 2017, 42.)

$$\gamma_d = 1 + 2,8 \cdot \phi \geq 1,84 \quad (13)$$

missä ϕ maaston kaltevuus [rad]



Kuvio 3. Puuskanopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (RIL 201-1-2017 2017, 136).



Kuvio 4. Voimakertoimen c_f arvot suorakaiteen muotoisille rakennuksille (RIL 201-1-2017 2017, 141).



Kuvio 5. Maastoluokkien kuvaukset (RIL 201-1-2017 2017, 131).

4 CLT-LAATAN MITOITUS

4.1 Taivutus

Laatan taivutusmitoituksessa tarvitaan poikkileikkauksen tehollista taivutusjäykkyyttä jännevälin suunnassa. Laskennassa huomioidaan vain CLT-rakenteen jännevälin suunnassa olevat lamellikerrokset ja niiden kimmomoduulien keskiarvot. Havupuun kimmomoduulien keskiarvot on esitetty taulukossa 8. Tehollinen taivutusjäykkyys saadaan kaavasta (14). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Välipohjan kestävyys 2015, 1-2.)

$$(EI)_{eff,L} = \sum_i^n (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (14)$$

missä	E_i	lamellikerroksen kimmomoduuli
	I_i	lamellikerroksen jäyhyysmomentti, joka lasketaan kaavasta (15)
	γ_i	liitoshyötysuhdekerroin, joka lasketaan kaavasta (16)
	A_i	lamellikerroksen poikkipinta-ala
	a_i	etäisyys lamellikerroksen keskeltä rakenteen keskilinjaan

Yksittäisen lamellikerroksen jäyhyysmomentti lasketaan kaavasta (15). Jäyhyysmomentin arvoon vaikuttaa poikkileikkauksen tarkasteltava leveys ja lamellikerroksen paksuus. (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104.)

$$I_i = \frac{b \cdot h_i^3}{12} \quad (15)$$

missä	b	poikkileikkauksen tarkasteltava leveys
	h_i	lamellikerroksen paksuus

Mekaanisin liittimin koottujen palkkien teoriassa lamellikerrosten kiinnityksen teho huomioidaan laskennassa liitoshyötysuhdekertoimilla. CLT-rakenteen

lamellikerroksen liitoshyötysuhdekerroin lasketaan kaavalla (16). Laskenta antaa kertoimen arvoksi 0-1. Kertoimen arvo 1 tarkoittaa lamellikerroksen täydellistä kiinnitystä ja arvo 0 tarkoittaa, että lamellikerroksella ei ole lainkaan kiinnitystä. Liitoshyötysuhdekertoimen arvoon vaikuttaa lamellikerroksen kimmomoduuli ja poikkipinta-ala, jännevälin pituus, poikittaisten lamellikerrosten paksuus, poikkileikkauksen leveys sekä CLT-rakenteen tasoleikkauksen liukumoduuli. Tasoleikkauksen liukumoduuleilla on eroja valmistajakohtaisesti. (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Välipohjan kestävyys 2015, 1-2.)

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i}{L^2} \cdot \frac{t}{G_{r,mean} \cdot b} \right)} \quad (16)$$

missä	E_i	lamellikerroksen kimmomoduuli
	A_i	lamellikerroksen poikkipinta-ala
	L	tarkasteltavan laatan jänneväli
	t	poikittaisen lamellikerroksen paksuus
	$G_{r,mean}$	CLT-rakenteen tasoleikkauksen liukumoduuli
	b	poikkileikkauksen tarkasteltava leveys

Laatan taivutusjännityksen laskennassa tarvitaan poikkileikkauksen tehollista taivutusvastusta. Tehollinen taivutusvastus lasketaan kaavalla (17). Tehollisen taivutusvastuksen laskennassa tarvitaan poikkileikkauksen tehollista jäyhyysmomenttia, joka lasketaan kaavalla (18). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104-105; Välipohjan kestävyys 2015, 3.)

$$W_{eff,L} = \frac{I_{eff,L}}{\gamma_1 \cdot a_1 \cdot d_1} \quad (17)$$

missä	$I_{eff,L}$	poikkileikkauksen tehollinen jäyhyysmomentti jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (16)
	γ_1	ensimmäisen lamellikerroksen liitoshyötysuhdekerroin, joka lasketaan kaavasta (14)

a_1 etäisyys ensimmäisen lamellikerroksen keskeltä rakenteen keskilinjaan

d_1 puolet ensimmäisen lamellikerroksen paksuudesta

$$I_{eff,L} = \frac{(EI)_{eff,L}}{E_{0,mean}} \quad (18)$$

missä $(EI)_{eff,L}$ poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)

$E_{0,mean}$ jännevälin suunnassa olevien lamellikerrosten kimmomoduuli

Laattaan kohdistuvasta kuormasta ja sen aiheuttamasta momentista syntyy rakenteelle taivutusjännitystä. Taivutusjännityksen arvoon vaikuttaa taivutusmomentin suuruus sekä poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus. Rakenteen taivutusjännitys lasketaan kaavalla (19). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Välipohjan kestävyys 2015, 3.)

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_{eff,L}} \quad (19)$$

missä M_d kuorman aiheuttaman taivutusmomentin mitoitusarvo

$W_{eff,L}$ poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus jännevälin suunnassa

Poikkileikkauksen taivutusjännitys ei saa ylittää rakenteen taivutuslujuutta. CLT-rakenteiden taivutuslujuus mitoitetaan samalla tavalla kuin sahatavarankin. Taivutuslujuuden mitoitusarvon laskenta on esitetty kaavassa (20). Taivutuslujuuden suuruuteen vaikuttaa materiaalin taivutuskestävyyden ominaislujuus, materiaaliominaisuuden osavarmuusluku ja kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin. Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku γ_m saadaan taulukosta 7 ja kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin k_{mod} taulukosta 6. Materiaalin kestävyuden ominaislujuuteen vaikuttaa

lamellikerroksissa käytetty sahatavaran lujuusluokka. Havupuun ominaislujuudet on esitetty taulukossa 8. (RIL 205-1-2017 2017, 46-51.)

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,k} \quad (20)$$

missä	k_{mod}	kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin
	γ_m	materiaalin osavarmuusluku
	$f_{m,k}$	materiaalin taivutuslujuuden ominaisarvo

Kun laattaa ei aiheudu poikittaissuuntaista puristusta taivutuksen mitoitusehto pelkistyy kaavan (21) mukaiseksi. Mikäli laattaa aiheutuu poikittaissuuntaista puristusta, tulee se ottaa huomioon taivutuksen mitoituksessa. CLT-seinän mitoitussiossa on esitetty puristuksen huomioiminen taivutusjännitykseen. Taivutusjännityksen mitoitusehto on esitetty kaavassa (21). (RIL 205-1-2017 2017, 74.)

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (21)$$

missä	$\sigma_{m,d}$	taivutusjännityksen mitoitusarvo
	$f_{m,d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo

Taulukko 6. Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimen arvot (RIL 205-1-2017 2017, 49).

Materiaali	Käyttö- luokka	Kuorman aikaluokka				
		Pysyvä	Pitkä- aikainen	Keski- pitkä	Lyhyt- aikainen	Hetkel- linen
Sahatavara,	1	0,60	0,70	0,80	0,9	1,1
Pyöreä	2	0,60	0,70	0,80	0,9	1,1
puutavara,	3	0,50	0,55	0,65	0,7	0,9
Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT						
Lastulevy P4 ¹⁾ ja	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
P5, OSB/2 ¹⁾ , Kova	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
kuitulevy						
Lastulevy P6 ¹⁾ ja	1	0,40	0,50	0,70	0,90	7,10
P7, OSB/3 ja	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
OSB/4						
Puolikovat	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
kuitulevyt:	2	-	-	-	0,45	0,80
MBH.LA ¹⁾ ,						
MBH.HLS,						
MDF.LA ja						
MDF.HLS						
1) Saadaan käyttää vain käyttöluokassa 1.						

Taulukko 7. Materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluvut (RIL 205-1-2017 2017, 47).

Perusyhdistelmät:		
Sahatavara ja pyöreä puutavara		1,3
Liimapuu, CLT		1,25
LVL, vaneri, OSB-lastulevy		1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt		1,3
Liitokset		1,3
Naulalevyliitokset: -tartuntalujuus		1,25
-levyn lujuus (teräs)		1,1
Onnettomuusyhdistelmät		1,0

Taulukko 8. Havupuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet eri lujuusluokissa (RIL 205-1-2017 2017, 51).

Lujuusluokka		C14	C18	C24	C30	C35	C40
Ominaislujuudet (N/mm²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	14	18	24	30	35	40
Veto	$f_{t,0,k}$	7,5	10	14,5	19	22,5	26
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Puristus	$f_{c,0,k}$	16	18	21	24	25	27
	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,5	2,7	2,7	2,8
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0
Jäykkyysominaisuudet (N/mm²)							
Kimmo- moduuli	$E_{0,mean}$	7 000	9 000	11 000	12 000	13 000	14 000
	$E_{0,05}$	4 700	6 000	7 400	8 000	8 700	9 400
	$E_{90,mean}$	230	300	370	400	430	470
Liukumoduuli	G_{mean}	440	560	690	750	810	880
	$G_{0,05}$	300	380	460	500	540	590
Tiheydet (kg/m³)							
Ominaistiheys	ρ_k	290	320	350	380	390	400
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	350	380	420	460	470	480

4.2 Leikkaus

Laatan tasoleikkaus- ja leikkausmitoituksessa tarvitaan rakenteen tehollisia staattisia momentteja. Tehollinen staattinen momentti ensimmäisessä liimasaumassa saadaan kaavalla (22). Tehollinen staattinen momentti neutraaliakselilla saadaan kaavalla (23). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Välipohjan kestävyys 2015, 2-4.)

$$S_{eff,1} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 \quad (22)$$

missä	A_1	ensimmäisen lamellikerroksen poikkipinta-ala
	γ_1	ensimmäisen lamellikerroksen liitoshyötysuhdekerroin
	a_1	etäisyys ensimmäisen lamellikerroksen keskeltä rakenteen keskilinjaan

$$S_{eff,2} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 + \frac{A_2}{2} \cdot a_2 \quad (23)$$

missä	A_2	keskimmäisen lamellikerroksen poikkipinta-ala
	a_2	$\frac{1}{4}$ keskimmäisen lamellikerroksen paksuudesta

Leikkausjännitys neutraaliakselilla ei saa ylittää laatan leikkauskestävyyttä. Leikkausjännityksen arvoon vaikuttaa kuormista aiheutuva leikkausvoima, poikkileikkauksen tehollinen jäyhyysmomentti sekä tehollinen staattinen momentti neutraaliakselilla. Leikkausjännitys neutraaliakselilla saadaan kaavasta (25). (Välipohjan kestävyys 2015, 2-4.)

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{eff,2}}{I_{eff,L} \cdot b} \quad (25)$$

missä	V_d	leikkausvoiman mitoitusarvo
	$S_{eff,2}$	tehollinen staattinen momentti neutraaliakselilla

$I_{\text{eff,L}}$	poikkileikkauksen tehollinen jäyhyysmomentti jännevälän suunnassa, joka lasketaan kaavasta (18)
b	poikkileikkauksen tarkasteltava leveys

CLT-rakenteen leikkauslujuus mitoitetaan samalla tavalla kuin sahatavarankin. Rakenteen leikkauslujuus lasketaan kaavalla (26). Leikkauslujuuden suuruuteen vaikuttavat materiaalin leikkauskestävyyden ominaislujuus, materiaaliominaisuuden osavarmuusluku sekä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin. Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku γ_m saadaan taulukosta 7 sekä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin k_{mod} taulukosta 6. Materiaalin kestävyden ominaislujuuteen vaikuttaa lamellikerroksissa käytetty sahatavaran lujuusluokka. Havupuun ominaislujuudet on esitetty taulukossa 8. Neutraaliakselilla olevaa leikkausjännityksen mitoitusarvoa verrataan laatan leikkauslujuuden mitoitusarvoon. Leikkauskestävyyden mitoitusehto on esitetty kaavassa (27). (RIL 205-1-2017 2017, 46-51.)

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} \cdot f_{v,k} \quad (26)$$

missä	k_{mod}	kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin
	γ_m	materiaalin osavarmuusluku
	$f_{v,k}$	materiaalin leikkauslujuuden ominaisarvo

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (27)$$

missä	τ_d	leikkausjännityksen mitoitusarvo
	$f_{v,d}$	leikkauslujuuden mitoitusarvo

CLT-rakenteissa pitää leikkausmitoituksen lisäksi myös tarkastaa, että lamellikerrosten tasoleikkausjännityksen mitoitusarvo ei ylitä rakenteen tasoleikkauskestävyyttä. CLT-rakenteissa voidaan olettaa, että leikkausjännitys on saman suuruinen kaikissa liimasaumoissa. Tasoleikkausjännityksen laskenta poikkeaa ainoastaan hieman leikkausjännityksen laskennasta neutraaliakselilla.

Tasoleikkausjännityksen mitoitusarvo lasketaan kaavalla (28). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Välipohjan kestävyys 2015, 3.)

$$\tau_{r,d} = \frac{V_d \cdot S_{eff,1}}{I_{eff,L} \cdot b} \quad (28)$$

missä	V_d	leikkausvoiman mitoitusarvo
	$S_{eff,1}$	tehollinen staattinen momentti liimasaumassa
	$I_{eff,L}$	poikkileikkauksen tehollinen jäyhyysmomentti jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (18)
	b	poikkileikkauksen tarkasteltava leveys

Tasoleikkausjännityksen mitoitusarvo ei saa ylittää rakenteen tasoleikkauslujuutta. Tasoleikkauksen mitoitusehto on esitetty kaavassa (30). Tasoleikkauslujuuden laskenta ei eroa sahatavaran leikkauslujuuden laskennassa muuten kuin että leikkauslujuuden ominaisarvon tilalla käytetään valmistajan ilmoittamaa CLT-levyn tasoleikkauslujuuden ominaisarvoa. Tasoleikkauslujuus lasketaan kaavalla (29). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Välipohjan kestävyys 2015, 3.)

$$f_{r,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{r,k} \quad (29)$$

missä	k_{mod}	kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin
	γ_m	materiaalin osavarmuusluku
	$f_{r,k}$	rakenteen tasoleikkauslujuuden ominaisarvo

$$\tau_{r,d} \leq f_{r,d} \quad (30)$$

missä	$\tau_{r,d}$	tasoleikkausjännityksen mitoitusarvo
	$f_{r,d}$	tasoleikkauslujuuden mitoitusarvo

4.3 Taipuma

Käyttörajatilamitoituksessa tulee ottaa huomioon laattaan kohdistuvista kuormista ja kosteudesta aiheutuva taipuma. Taipumasta ei saa aiheutua vahinkoa rakenteille, pintamateriaaleille eikä pinnoitteille. Taipumasta ei saa myöskään aiheutua haittaa rakennuksen toimintaan tai ulkonäkövaatimuksiin. (RIL 205-1-2017 2017, 30.) Palkin taipuma ei saa kuitenkaan ylittää taulukon 9 raja-arvoja. Rakenteen hetkelliselle taipumalle ja lopputaipumalle on annettu eri raja-arvot. (RIL 205-1-2017 2017, 225.)

Taulukko 9. Rakenteiden taipumien raja-arvot (RIL 205-1-2017 2017, 225).

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}^{2)}$
Pääkannattimet	L/400	L/300	L/200
Orret ja muut toisiokannattimet	-	L/200³⁾	L/150
Rakennuksen vaakasiirtymä	-	H/300	-

L on jänneväli
H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus
¹⁾ Koskee pelkästään lattioita
²⁾ Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita
³⁾ Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituksena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k=2$ kN ja levyn omapaino

Pysyvien kuormien aiheuttama hetkellisen taipuman laskenta on esitetty kaavassa (31) ja muuttuvien kuormien aiheuttama hetkellisen taipuman laskenta kaavassa (32) (EC5 Sovelluslaskelmat -Asuinrakennus 2010, 35).

$$w_{inst,G} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{(EI)_{eff,L}} \quad (31)$$

missä g_k pysyvän kuorman ominaisarvo
L tarkasteltavan laatan jänneväli
 $(EI)_{eff,L}$ poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)

$$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{(EI)_{eff,L}} \quad (32)$$

missä	q_k	muuttuvan kuorman ominaisarvo
	L	tarkasteltavan laatan jänneväli
	$(EI)_{eff,L}$	poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)

Hetkellinen kokonaistaipuma lasketaan summaamalla pysyvien ja muuttuvien kuormien aiheuttamat hetkelliset taipumat kaavan (33) mukaisesti (EC5 Sovelluslaskelmat -Asuinrakennus 2010, 35).

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} \quad (33)$$

missä	w_{inst}	hetkellinen kokonaistaipuma
	$w_{inst,G}$	pysyvien kuormien aiheuttama hetkellinen taipuma
	$w_{inst,Q}$	muuttuvien kuormien aiheuttama hetkellinen taipuma

Palkin lopputaipuma lasketaan yhdistelemällä pysyvien ja muuttuvien kuormien aiheuttamat hetkelliset taipumat kaavan (34) mukaisesti. Lopputaipuman laskennassa otetaan huomioon materiaalin virumaluku k_{def} ja kuormien yhdistelykertoimet. Virumaluvun arvoon vaikuttaa käytetty rakennusmateriaali ja käyttöluokka. Virumaluku saadaan taulukosta 10. Kuormien yhdistelykertoimet saadaan taulukosta 2. (RIL 205-1-2017 2017, 30.)

$$w_{fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) + w_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_0 + \Psi_2 \cdot k_{def}) \quad (34)$$

missä	$w_{inst,G}$	pysyvien kuormien aiheuttama hetkellinen taipuma
	$w_{inst,Q,1}$	hetkellinen taipuma määräävästä muuttuvasta kuormasta
	$w_{inst,Q,i}$	hetkellinen taipuma toissijaisesta muuttuvasta kuormasta
	k_{def}	virumaluku
	Ψ_2	muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin
	Ψ_0	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Taulukko 10. Virumaluvun arvot puulle ja puutuotteille (RIL 205-1-2017 2017, 50).

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, Pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			
Vaneri, Kerto-Q lapeellaan, CLT lapeellaan	EN 636, VTT 184/03	0,80	1,00	2,50
OSB-levy	EN 300: OSB/2	2,25	-	-
	EN 300: OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Lastulevy	EN 312: P4 ja P5	2,25	3,00	-
	EN 312: P6 ja P7	1,50	2,25	-
Kova kuitulevy	EN 622-2: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	-
Puolikova kuitulevy	EN 622-2: MBH.LA, MGH.HLS	3,00	4,00	-
MDF-levy	EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS	2,25	3,00	-

4.4 Värähtely

Käyttörajatilamitoituksessa tulee ottaa huomioon askeleista aiheutuva värinä. Laatan alin ominaistajuus tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin 9 Hz. Yhteen suuntaan kantavan laatan alin ominaistajuus lasketaan kaavalla (35). Värähtelyn mitoitusehto on esitetty kaavassa (36). (RIL 205-1-2017 2017, 229-230.)

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_{eff,L}}{(m+30kg)}} \quad (35)$$

missä L tarkasteltavan laatan jänneväli [m]
m laatan omapaino [kg/m²]

$(EI)_{eff,L}$ Poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa [Nm^2/m], joka lasketaan kaavasta (14)

$$f_1 \geq 9Hz \quad (36)$$

missä f_1 rakenteen alin ominaistajuus

Kun laatan alimman ominaistajuuden mitoitusehto täyttyy tarkastetaan, että 1 kN:n staattisen pistekuorman aiheuttama hetkellinen painuma ei ylitä sallittua 0,5 mm:n taipumaa. Mitoitusehto on esitetty kaavassa (39). Jos hetkellistä painumaa tarkastellaan pienessä tilassa, voidaan sallittua taipumaa korottaa kertoimella k , joka saadaan kuviosta 6. Kertoimen k arvo riippuu tilan suurimmasta sivumitasta. 1 kN:n staattisen pistekuorman aiheuttama hetkellinen painuma saadaan kaavasta (37). (RIL 205-1-2017 2017, 229-230.)

$$\delta = \min \left\{ \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_\delta \cdot (EI)_{eff,L}} ; \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot B \cdot (EI)_{eff,L}} \right\} \quad (37)$$

missä F 1000 N pistekuorma
 L tarkasteltavan laatan jänneväli
 B tarkastetavan laatan leveys
 $(EI)_{eff,L}$ poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)
 k_δ kerroin, joka lasketaan kaavasta (38)

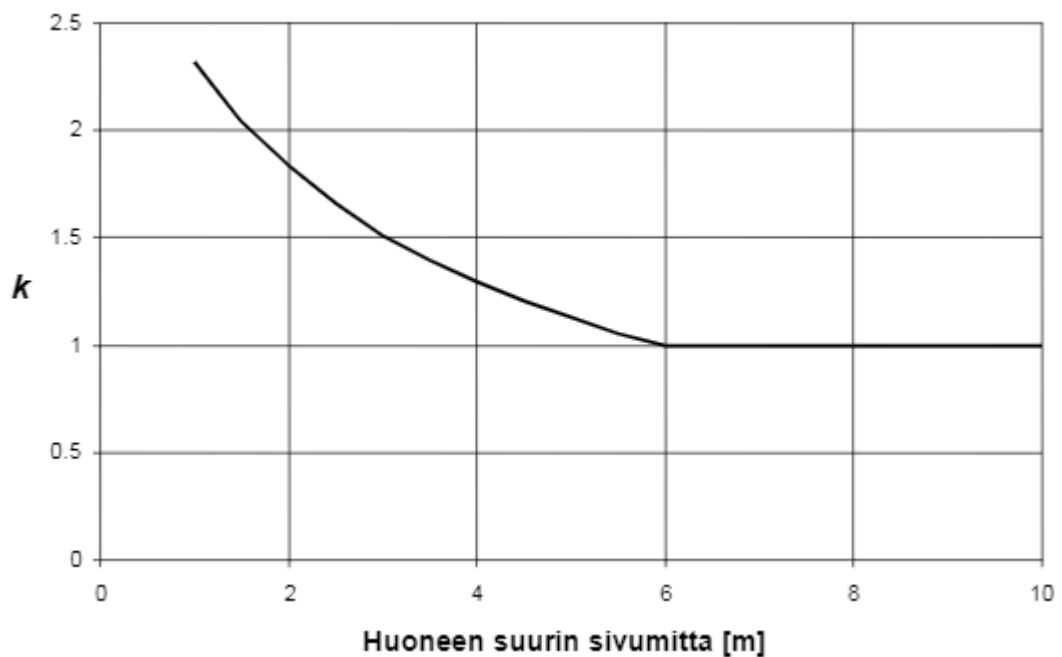
Kerroin k_δ laskennassa tarvitaan rakenteen tehollisen jäykkyyden jännevälin suunnassa lisäksi myös rakenteen tehollista jäykkyyttä poikittaissuunnassa. Poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys poikittaissuunnassa lasketaan samalla tavalla kuin tehollinen jäykkyys jännevälin suunnassa kaavalla (14), ottaen huomioon vain poikittaissuunnassa olevat lamellikerrokset. Kertoimen k_δ arvo saa enimmillään olla laatan leveyden ja pituuden suhteen B/L suuruinen. Kerroin lasketaan kaavasta (38). (RIL 205-1-2017 2017, 231.)

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_{eff,B}}{(EI)_{eff,L}}} < \frac{B}{L} \quad (38)$$

missä	L	tarkasteltavan laatan jänneväli
	B	tarkasteltavan laatan leveys
	$(EI)_{\text{eff,L}}$	poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)
	$(EI)_{\text{eff,B}}$	poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys poikittaissuunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)

$$\delta \leq 0,5\text{mm} \cdot k \quad (39)$$

missä	δ	1 kN:n staattisen pistekuorman aiheuttama hetkellinen taipuma
	k	taipumarajoituksen korotuskerroin

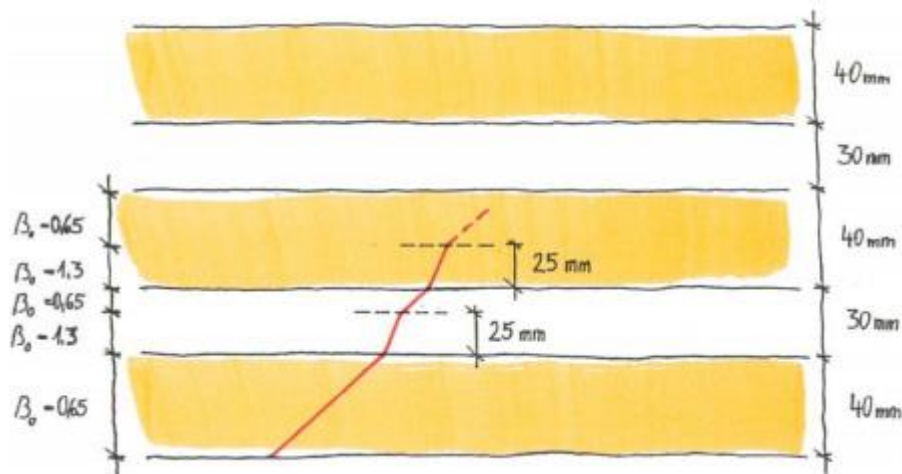


Kuvio 6. Tilan suurimmasta sivumitasta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin k (RIL 205-1-2017 2017, 230).

4.5 Palo

CLT-rakenteiden palomitoitus perustuu valmistajakohtaisiin ohjeisiin, sillä kirjoitushetkellä ei ollut yleisiä palomitoitusohjeita CLT:lle. CLT-levyn hiiltymisen tapahtuu usealla hiiltymisnopeudella johtuen lamellikerrosten delaminoitumisesta palotilanteessa. Hiiltyneiden lamellikerrosten oletetaan kuoriutuvan pois, minkä jälkeen seuraavan lamellikerroksen hiiltymisen alkaa suuremmalla hiiltymisnopeudella lamellikerroksen esilämpenemisestä johtuen 25 mm:n syvyyteen asti. Hiiltymisnopeus palaa alkuperäiseen nopeuteen, mikäli lamellikerros on paksumpi kuin 25 mm. (Paloturvallinen puutalo 2018, 92.)

CLT-laatan palomitoituksessa tulee tarkastaa, mitkä lamellikerrokset ovat tehollisia palotilanteessa. Vain yli 3 mm:n lamellikerrokset huomioidaan palomitoituksessa. Ensimmäisen lamellikerroksen hiiltymisnopeus on 0,65 mm/min. Jos palo saavuttaa toisen lamellikerroksen käytetään hiiltymisnopeutena 1,3 mm/min 25 mm:iin saakka, minkä jälkeen se palaa alkuperäiseen hiiltymisnopeuteen, mikäli palo ei saavuta seuraavaa liimasaumaa. Lamellikerrosten hiiltymisnopeudet vaakasuuntaisessa CLT-rakenteessa on esitetty kuviossa 7. (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 14-23.)



Kuvio 7. Lamellikerrosten hiiltymisnopeudet vaakasuuntaisessa CLT-rakenteessa (CLT – Cross Laminated Timber – Fire protection 2016, 14).

Laatan hiiltymissyvyys saadaan kaavasta (40) huomioiden kuvion 7 mukaiset hiiltymisnopeuksien vaihtelut. Hiiltymissyvyuden suuruuteen vaikuttavat

palorasituksen kesto sekä hiiltymisnopeus. (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 14-23.)

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (40)$$

missä β_0 materiaalin hiiltymisnopeus
 t palorasituksen kesto

Laatan hiiltymismitoitus tulee tarkastella ainoastaan alapuolisella palolla (RIL 205-2-2019 2019, 34).

Tehollisen poikkileikkauksen menetelmässä vähennetään alkuperäisestä poikkileikkauksesta tehollinen hiiltymissyvyys. Tehollinen hiiltymissyvyys lasketaan kaavasta (41). Hiiltymissyvyyteen lisätään kertoimia, joilla huomioidaan, että hiiltymisrajasta tietyllä matkalla lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien oletetaan olevan nolla. (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 22-23.)

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot d_0 \quad (41)$$

missä $d_{char,0}$ rakenteen palotilanteen hiiltymissyvyys
 k_0 kerroin, joka saadaan taulukosta 11
 d_0 hiiltymisrajan jälkeinen oleva kerros, jonka paksuus on 7 mm

Taulukko 11. Kertoimen k_0 arvot (RIL 205-2-2019 2019, 32).

	k_0
Suojaamaton pinta	
$t < 20$ min	$t/20$
$t \geq 20$ min	1,0

Palomitoituksessa lasketaan laatalle uusi poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys palotilanteen tehollisen poikkileikkauksen rakennetta käyttäen.

Vain yli 3 mm:n lamellikerrokset huomioidaan laskennassa hiiltymälinjan epätasaisuuden takia. Poikkileikkauksen tehollisen jäykkyyden laskenta on esitetty laatan taivutusmitoitus osiossa kaavassa (14). (CLT – Cross Laminated Timber - Fire protection 2016, 23.)

Tehollisen taivutusvastuksen laskennassa palotilanteessa ei ole eroja laatan taivutusmitoituksessa esitettyyn kaavaan (17). Laatan taivutusjännityksen mitoitusarvo palotilanteessa lasketaan kaavasta (42). Taivutusjännityksen laskenta palotilanteessa poikkeaa hieman normaalin taivutusjännityksen laskennasta, sillä siinä käytetään taivutusmomentin mitoitusarvon tilalla palotilanteen taivutusmomentin mitoitusarvoa. (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 23.)

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{eff,L}} \quad (42)$$

missä $M_{d,fi}$ palotilanteen taivutusmomentin mitoitusarvo

$W_{eff,L}$ tehollinen taivutusvastus palotilanteessa

Palotilanteen taivutusjännityksen mitoitusarvo ei saa ylittää palotilanteen taivutuslujuuden mitoitusarvoa. Palotilanteen taivutuksen mitoitusehto on esitetty kaavassa (45). Palotilanteen taivutuslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavasta (43). Taivutuslujuuden laskennassa tarvitaan palotilanteen muunnoskerrointa, palotilanteen materiaalin osavarmuuslukua, sekä taivutuslujuuden 20 % fraktiilia normaalilämpötilassa. Taivutuslujuuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa saadaan kaavasta (44). Palotilanteen mitoituksissa muunnoskerroimelle $k_{mod,fi}$ käytetään arvoa 1,0, paitsi kun tarkastellaan kantavuutta rakenteille, joiden ontelotila on täytetty eristeellä. Suomessa käytetään materiaalin palotilanteen osavarmuusluvulle arvoa 1,0. (RIL 205-2-2019 2019, 16-21.)

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,20}}{\gamma_{m,fi}} \quad (43)$$

missä $f_{m,20}$ taivutuslujuuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa, joka lasketaan kaavasta (44)

$k_{\text{mod,fi}}$ muunnoskerroin palotilanteessa

$\gamma_{\text{m,fi}}$ materiaalin osavarmuusluku palotilanteessa

$$f_{m,20} = k_{fi} \cdot f_{m,k} \quad (44)$$

missä $f_{m,k}$ taivutuslujuuden ominaisarvo, joka saadaan taulukosta 8

k_{fi} kerroin, joka muuntaa ominaisarvot 20 %:n fraktiiliarvoiksi.
CLT:lle kerroin on 1,15 (CLT – Cross Laminated Timber -
Fire protection 2016, 13.)

$$\sigma_{m,d,fi} \leq f_{m,d,fi} \quad (45)$$

missä $\sigma_{m,d,fi}$ palotilanteen taivutusjännityksen mitoitusarvo

$f_{m,d,fi}$ palotilanteen taivutuslujuuden mitoitusarvo

Laatan leikkausmitoitusta ei tarvitse tarkastella palotilanteessa (RIL 205-2-2019 2019, 33).

5 CLT-SEINÄN MITOITUS

5.1 Taivutus ja puristus

Seinäelementtiä voi rasittaa yhtäaikaaisesti tuulesta aiheutuva taivutus sekä puristus yläpuolisilta rakenteilta. Seinän mitoituksessa täytyy tarkastella taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus. Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksen mitoitusehto on esitetty kaavassa (53). (RIL 205-1-2017 2017, 78.)

Seinään aiheutuva puristusjännitys lasketaan kaavasta (46). Puristusjännityksen laskennassa huomioidaan vain pystysuuntaiset lamellikerrokset. (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 105; Seinän nurjahduskestävyys 2015, 1-3.)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{eff}} \quad (46)$$

missä N_d puristusvoiman mitoitusarvo

A_{eff} pystysuuntaisten lamellikerrosten poikkipinta-ala

CLT-rakenteen puristuslujuus mitoitetaan samalla tavalla kuin sahatavarankin. Rakenteen puristuslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla (47). Puristuslujuuden suuruuteen vaikuttaa materiaalin puristuskestävyyden ominaislujuus, materiaaliominaisuuden osavarmuusluku sekä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin. Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku γ_m saadaan taulukosta 7 sekä kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin k_{mod} taulukosta 6. Materiaalin kestävyden ominaislujuuteen vaikuttaa lamellikerroksissa käytetty sahatavaran lujuusluokka. Havupuun ominaislujuudet on esitetty taulukossa 8. (RIL-205-1-2017 2017, 46-51.)

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad (47)$$

missä k_{mod} kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin

γ_m materiaalin osavarmuusluku

$f_{c,0,k}$ materiaalin syysuuntainen puristuslujuuden ominaisarvo

Rakenteen puristuslujuuden mitoitusarvoa pienennetään nurjahduskertoimella k_c taivutus- ja puristusmitoituksessa. Nurjahduskerroin lasketaan kaavasta (48). Nurjahduskertoimen arvo ei saa olla suurempi kuin 1. (RIL 205-1-2017 2017, 82.)

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1 \quad (48)$$

missä k_y kerroin, joka lasketaan kaavasta (49)

$\lambda_{rel,y}$ rakenteen suhteellinen hoikkuus y-akselin suhteen, joka lasketaan kaavasta (50)

Nurjahduskertoimen laskennassa tarvitaan k_y kerrointa. Kerroin lasketaan kaavasta (49). Kertoimen k_y laskennassa otetaan huomioon rakenteen alkukäyrydestä riippuva kerroin β_c . CLT:lle kertoimen arvona on 0,1. (RIL 205-1-2017 2017, 82.)

$$K_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (49)$$

missä β_c rakenteen alkukäyrydestä riippuva kerroin

$\lambda_{rel,y}$ rakenteen suhteellinen hoikkuus y-akselin suhteen, joka lasketaan kaavasta (50)

Nurjahduskertoimen sekä k_y -kertoimen laskennassa tarvitaan rakenteen suhteellista hoikkuutta y-akselin suhteen. Rakenteen suhteellinen hoikkuus lasketaan kaavasta (50). Suhteellisen hoikkuuden laskennassa tarvitaan materiaalin puristuslujuuden ominaisarvoa ja syysuuntaista kuormitusta vastaavaa kimmokertoimen ominaisarvoa, joiden arvot saadaan taulukosta 8. (RIL 205-1-2017 2017, 80-82.)

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (50)$$

missä λ_y hoikkuusluku y-akselin suhteen, joka lasketaan kaavasta (51)

$f_{c,0,k}$	materiaalin syysuuntaisen puristuslujuuden ominaisarvo
$E_{0,05}$	materiaalin syysuuntaista kuormitusta vastaava kimmokertoimen ominaisarvo

Suhteellisen hoikkuuden laskennassa tarvitaan rakenteen hoikkuuslukua y-akselin suhteen. Rakenteen hoikkuusluku lasketaan kaavasta (51). Hoikkuusluvun laskennassa tarvitaan rakenteen nurjahduspituutta z-akselin suuntaan. Nurjahduspituus saadaan taulukosta 12. Nurjahduspituuden arvoon vaikuttaa rakenteen tuentatapa. (RIL 205-1-2017 2017, 79-80.)

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \quad (51)$$

missä	$L_{c,z}$	rakenteen nurjahduspituus z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa
	i_y	poikkileikkauksen jäyhyys säde y-akselin suhteen

Taulukko 12. Puristetun sauvan nurjahduspituuksia (RIL 205-1-2017 2017, 80).

Tuentatapa	Nurjahduspituus L_c
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään sivusiirtymätön rakenne	0,85 L
Sauva on nivelöity molemmista päistään	1,0 L
Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein a	1,0 a
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään ("mastopilari")	2,5 L ^{*)}
^{*)} Liimaruuviliitoksilla kiinnitetyn mastopilarin nurjahduspituutena voidaan tietyin edellytyksin käyttää mitta 2,2L (VTT-S-05679-14).	

Rakenteen hoikkuusluvun laskennassa tarvitaan poikkileikkauksen jäyhyys sädettä y-akselin suhteen. Poikkileikkauksen jäyhyys säde lasketaan kaavasta (52).

Laskennassa huomioidaan vain pystysuuntaiset lamellikerrokset. (RIL 205-1-2017 2017, 79; Seinän nurjahduskestävyys 2015, 3.)

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{eff,L}}{A_{eff}}} \quad (52)$$

missä $I_{eff,L}$ poikkileikkauksen tehollinen jäyhyysmomentti jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (18)

A_{eff} pystysuuntaisten lamellikerrosten poikkipinta-ala

Mahdollisesta tuulikuormasta aiheutuu seinään taivutusmomenttia. Seinän taivutuslujuus ja taivutusjännitys lasketaan samalla tavalla kuin laatallekin. Taivutuslujuuden laskenta on esitetty kaavassa (20). Taivutusjännityksen laskenta on esitetty kaavassa (19). (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Seinän nurjahduskestävyys 2015, 3.)

Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksessa kaavassa (53) esitetyn mitoitus ehdon tulee toteutua. Mitoituksessa lasketaan yhteen puristusjännityksen mitoitusarvon suhde puristuslujuuden mitoitusarvoon ja taivutusjännityksen mitoitusarvon suhde taivutuslujuuden mitoitusarvoon. Kaavassa (48) lasketulla kertoimella $k_{c,y}$ pienennetään puristuslujuutta. Tässä mitoituksessa tarkasteltiin nurjahdus ainoastaan yhteen suuntaan. Mikäli nurjahdus on mahdollinen molempiin suuntiin, täytyy se ottaa huomioon. Mitoitussuhteiden yhteenlaskettu arvo ei saa ylittää arvoa 1. (RIL 205-1-2017 2017, 82.)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (53)$$

missä $\sigma_{c,0,d}$ puristusjännityksen mitoitusarvo

$k_{c,y}$ nurjahduskerroin y-akselin suhteen

$f_{c,0,d}$ puristuslujuuden mitoitusarvo

$\sigma_{m,y,d}$ taivutusjännityksen mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta (19)

$f_{m,y,d}$ taivutuslujuuden mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta (20)

5.2 Leikkaus

Seinään voi aiheutua tuulikuormasta leikkausvoimaa. Leikkausmitoitus laskennassa ei ole eroja laatan leikkausmitoitukseen verrattuna. Leikkaus- ja tasoleikkausmitoituksen laskenta on esitetty laatan leikkausmitoituksessa. (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 104; Seinän nurjahduskestävyys 2015, 3.)

5.3 Taipuma

Käyttörajatilamitoituksessa tulee ottaa huomioon seinään kohdistuvasta tuulikuormasta aiheutuva taipuma. Seinän taipumien arvot tulee rajoittaa taulukon 9 mukaisiksi tai muihin raja-arvoihin, jotka aiheuttavat haittaa rakennuksen toimintaan tai ulkonäkövaatimukseen. (RIL 205-1-2017 2017, 225.)

Seinän taipumaan vaikuttaa ainoastaan tuulikuorma, joten sen laskenta poikkeaa vähän laatan taipumamitoituksesta. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa rakennuksen sijainti, maaston kaltevuus ja rakennuksen korkeus. Tuulikuorman laskenta on esitetty kaavassa (11). Tuulikuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma lasketaan kaavasta (54). (EC5 Sovelluslaskelmat -Asuinrakennus 2010, 69.)

$$W_{inst,w} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{w,k}(h) \cdot L^4}{(EI)_{eff,L}} \quad (54)$$

missä $q_{w,k}(h)$ kokonaistuulikuorma seinälle [kN/m], joka lasketaan kaavasta (11)

L seinäelementin jänneväli

$(EI)_{eff,L}$ poikkileikkauksen tehollinen taivutusjäykkyys jännevälin suunnassa, joka lasketaan kaavasta (14)

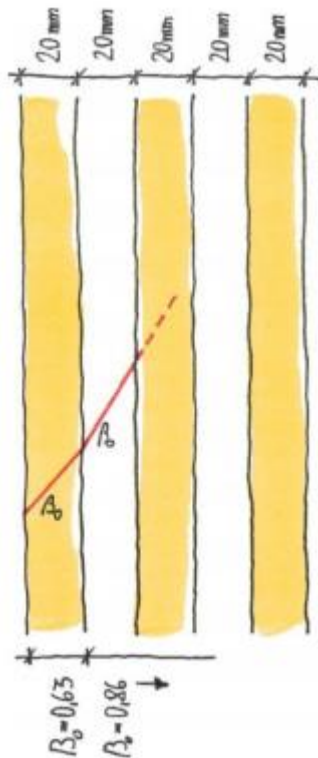
Seinän lopputaipumaan vaikuttaa tuulikuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma sekä rakenteen virumaluku. Virumaluku saadaan taulukosta 10. Seinän lopputaipuma lasketaan kaavasta (55). Koska seinän taipumaan vaikuttaa ainoastaan tuulikuorma, laatan taipuman mitoituksessa esitetty lopputaipuman kaava (34) pelkistyy kaavan (55) mukaiseksi. (EC5 Sovelluslaskelmat - Asuinrakennus 2010, 69.)

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,w} \quad (55)$$

missä	k_{def}	virumaluku
	$w_{inst,w}$	tuulikuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma

5.4 Palo

CLT-seinän hiiltymismitoituksessa erona laatan hiiltymismitoitukseen on ainoastaan rakenteen hiiltymisnopeudet. Ensimmäisen lamellikerroksen hiiltymisnopeus on 0,63 mm/min. Jos palo saavuttaa seuraavia lamellikerroksia käytetään hiiltymisnopeutena 0,86 mm/min. Seinärakenteissa hiiltymisnopeus ei palaa alkuperäiseen arvoon 25 mm:n hiiltymisen jälkeen. Lamellikerrosten hiiltymisnopeudet pystysuuntaisessa CLT-rakenteessa on esitetty kuviossa 8. (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 14-15.)



Kuvio 8. Lamellikerrosten hiiltymisnopeudet pystysuuntaisessa CLT-rakenteessa (CLT – Cross Laminated Timber – Fire protection 2016, 15).

Tehollisen poikkileikkauksen menetelmään perustuvat hiiltymissyvyyden ja tehollisen hiiltymissyvyyden laskenta on esitetty laatan palomitoitus osiossa kaavoissa (40) ja (41) (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 14-23).

Kantaville seinille, joilla on osastointivaatimus tulee hiiltymämitoitus tarkastella ainoistaan yhdeltä puolelta. Kantavilla seinillä, joilla ei ole osastointivaatimusta, tulee hiiltymämitoitus tarkastella molemmilta puolilta. (RIL 205-2-2019 2019, 34.)

Seinäelementtiä voi rasittaa yhtäaikaaisesti tuulesta aiheutuva taivutus, sekä puristus yläpuolisilta rakenteilta. Seinän palomitoituksessa täytyy tarkastella taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus. Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksen mitoitusehto palotilanteessa on esitetty kaavassa (59). (RIL 205-1-2017 2017, 78.)

Seinän puristusjännityksen mitoitusarvo palotilanteessa lasketaan kaavasta (57). Puristusjännityksen laskenta palotilanteessa poikkeaa hieman normaalin puristusjännityksen laskennasta, sillä siinä käytetään puristusvoiman mitoitusarvon tilalla palotilanteen puristusvoiman mitoitusarvoa. (CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 23.) Puristusjännityksen laskennassa huomioidaan vain

pystysuuntaiset lamellikerrokset, jotka ovat jäljellä vaaditun palokestoajan jälkeen (SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC 2014, 105; CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection 2016, 23).

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{eff,fi}} \quad (56)$$

missä $N_{d,fi}$ palotilanteen puristusvoiman mitoitussarvo

$A_{eff,fi}$ pystysuuntaisten lamellikerrosten poikkipinta-ala palotilanteessa

Palotilanteen puristuslujuuden mitoitussarvo lasketaan kaavasta (57). Puristuslujuuden laskennassa tarvitaan palotilanteen muunnoskerrointa, palotilanteen materiaalin osavarmuuslukua, sekä taivutuslujuuden 20 % fraktiilia normaalilämpötilassa. Taivutuslujuuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa saadaan kaavasta (58). Palotilanteen mitoituksissa muunnoskerroimelle $k_{mod,fi}$ käytetään arvoa 1,0. Suomessa käytetään materiaalin palotilanteen osavarmuusluvulle arvoa 1,0. (RIL 205-2-2019 2019, 16-21.)

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,20}}{\gamma_{m,fi}} \quad (57)$$

missä $f_{c,20}$ puristuslujuuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa, joka lasketaan kaavasta (58)

$k_{mod,fi}$ muunnoskerroin palotilanteessa

$\gamma_{m,fi}$ materiaalin osavarmuusluku palotilanteessa

$$f_{c,20} = k_{fi} \cdot f_{c,0,k} \quad (58)$$

missä $f_{c,0,k}$ materiaalin syysuuntaisen puristuslujuuden ominaisarvo, joka saadaan taulukosta 8

k_{fi} kerroin, joka muuntaa ominaisarvot 20 %:n fraktiiliarvoiksi. CLT:lle kerroin on 1,15 (CLT – Cross Laminated Timber - Fire protection 2016, 13.)

Palotilanteen nurjahduskertoimen k_c laskenta eroaa hieman normaalitilanteen nurjahduskertoimen laskennasta. Laskennassa käytetään palotilanteen lujuusominaisuuksien arvoja, sekä palotilanteen poikkileikkauksen arvoja. Nurjahduskertoimen laskenta on esitetty seinän taivutus- ja puristusmitoituksen osiossa kaavassa (48). (RIL 205-2-2019 2019, 31)

Mahdollisesta tuulikuormasta aiheutuu seinälle taivutusmomenttia. Seinän palotilanteen taivutuslujuuden ja taivutusjännityksen mitoitusarvojen laskenta ei eroa laatan palotilanteen taivutuslujuuden ja ja taivutusjännityksen laskennasta. Palotilanteen taivutuslujuuden laskenta on esitetty laatan palomitoituksessa kaavassa (43). Palotilanteen taivutusjännityksen laskenta on esitetty kaavassa (42). (RIL 205-2-2019 2019, 16-21.)

Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksessa kaavassa (59) esitetyn mitoitus ehdon tulee toteutua. Mitoituksessa lasketaan yhteen palotilanteen puristusjännityksen mitoitusarvon suhde palotilanteen puristuslujuuden mitoitusarvoon ja palotilanteen taivutusjännityksen mitoitusarvon suhde palotilanteen taivutuslujuuden mitoitusarvoon. Kertoimella $k_{c,y}$ pienennetään puristuslujuutta. Tässä mitoituksessa tarkasteltiin nurjahdus ainoastaan yhteen suuntaan. Mikäli nurjahdus on mahdollinen molempiin suuntiin, täytyy se ottaa huomioon. Mitoitussuhteiden yhteenlaskettu arvo ei saa ylittää arvoa 1. (RIL 205-1-2017 2017, 82.)

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} \leq 1 \quad (59)$$

missä $\sigma_{c,0,d,fi}$ palotilanteen puristusjännityksen mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta (56)

$k_{c,y}$ nurjahduskerroin y-akselin suhteen

$f_{c,0,d,fi}$ palotilanteen puristuslujuuden mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta (57)

$\sigma_{m,y,d,fi}$ palotilanteen taivutusjännityksen mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta (42)

$f_{m,y,d,fi}$ palotilanteen taivutuslujuuden mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta (43)

Seinän leikkausmitoitusta ei tarvitse tarkastella palotilanteessa (RIL 205-2-2019 2019, 33).

6 LASKENTAPOHJAT

Kuormien- ja lujuuslaskentapohjien haluttiin olevan mahdollisimman selkeät ja helppokäyttöiset. Niistä haluttiin saada selkeät tulosteet rakennusvalvontaa varten. Laskentapohjissa on esitetty käytetyt laskentakaavat ja niiden lähteet tulosteissa.

CLT-rakenteiden mitoituspohjat rajattiin laskemaan 3-, 5- ja 7-lamellisia CLT-levyjä, joissa uloimmat kerrokset ovat jännevälin suunnassa. Yrityksen toivomuksena oli että rakenteiden mitoituspohjilla pystyttäisiin mitoittamaan useiden eri CLT-valmistajien tuotteita, mikä huomioitiin laskentapohjaan annettavissa lähtöarvoissa.

CLT-rakenteiden mitoituspohjissa ensimmäiselle sivulle syötettiin lähtötiedot, kuormat sekä rakenteen tiedot, minkä jälkeen saatiin tulokset mitoituksille. Tulokset antoivat käyttöasteet mitoituksille, joista näki hyvin, miten lujalle rakenne joutuu tarkasteltavissa mitoituksissa. Käyttöaste kertoo prosentteina, kuinka suuri osa rakenteen kapasiteetista on käytössä. Pohjissa oli mahdollista tarkastella rakenteita eri kuorman aikaluokissa sekä eri käyttöluokissa.

Laskentapohjat suojattiin salasanalla, jotta siihen sisällytetyt kaavoja tai taulukkoja ei vahingossa pääse muuttamaan. Salasanalla suojaus estää myös laskentapohjien käytön yrityksen ulkopuolisessa toiminnassa.

6.1 Kuormien laskentapohja

Kuormanlaskentaan tehtiin kolme erillistä laskentapohjaa. Laskentapohjat tehtiin yleisimmille 1-10-kerroksisille parveketornitapauksille. Laskentapohjista saatiin kuormat perustuksille sekä niiden yläpuolisille rakenteille. Rakenteisiin kohdistuvat kuormat saadaan normaali- ja palotilanteessa eurokoodin mukaisten kuormitusyhdistelmien mukaisesti. Laskentapohja mahdollistaa myös kinostuneen lumikuorman laskennan, mikäli suunniteltavassa kohteessa parveke on korkeamman rakennuksen vieressä.

Kuormanlaskentapohjasta saatuja tuloksia voitiin käyttää CLT-rakenteiden laskentapohjissa. Yksi kuormanlaskentapohjista on esitetty liitessä 1.

6.2 Laatan mitoituspohja

Laatan mitoitukseen tehtiin kaksi erillistä laskentapohjaa. Toisella laskentapohjalla pystyttiin mitoittamaan yksiaukkoinen laatta ja toisella jatkuva laatta. Yksiaukkoisen laatan mitoitus eroaa hieman jatkuvan palkin mitoituksesta. Jatkuvan laatan mitoitus täytyy laskentapohjassa tarkastella jänneväli kerrallaan. Yksiaukkoisen CLT-laattarakenteen laskentapohjan etusivu on esitetty liitessä 2.

Laatan mitoituspohjaan sisällytettiin rakenteen taivutus-, leikkaus-, taipuma-, värähtely- ja palomitoitus. Palomitoitus oli mahdollista tarkastella yhdeltä puolelta vaikuttavalta palolta palonkestovaatimusluokissa R15 ja R30.

6.3 Seinän mitoituspohja

CLT-seinärakenteen mitoitus eroaa huomattavasti laatan mitoituksesta, joten niille tehtiin erilliset laskentapohjat. CLT-seinärakenteen laskentapohjan etusivu on esitetty liitteessä 3.

Seinän laskentapohjaan sisällytettiin CLT-seinärakenteen taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus-, leikkaus-, taipuma- ja palomitoitus. Seinän mitoituspohjassa oli mahdollista tarkastella rakenteen kestävyyttä useilla eri tuentatavoilla. Palomitoitus oli mahdollista tarkastella yhdeltä tai molemmilta puolilta vaikuttavalta palolta palonkestovaatimusluokissa R15, R30, R60, R90 ja R120.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksellä Puuidea Oy:llä oli useita eri opinnäytetyön aiheita tarjolla. Tähän työhön kuitenkin päädyttiin oman kiinnostukseni ja osaamiseni pohjalta. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin pääasiassa CLT-rakenteiden mitoitukseen. Yritys kuitenkin halusi Excel-laskentapohjat yleisimmille torniparveketapauksille CLT-rakenteiden mitoituspohjien lisäksi.

Excelin laskentapohjista luotiin yksinkertaiset ja nopeakäyttöiset 4-5 A4-arkille mahtuvat torniparvekkeiden kuorman laskentapohjat ja CLT-rakenteiden mitoituspohjat. CLT-rakenteiden mitoituspohjilla pystyttiin mitoittamaan CLT-laatta- ja seinärakenteille taivutus-, leikkaus-, taipuma-, värähtely- ja palomitoitus. Kuorman laskentapohjista saatiin kuormat ja kuormitusyhdistelyt rakenteille sekä perustuksille.

Tässä opinnäytetyössä toteutetun laskentapohjien laskennan oikeellisuudesta vastaa laskentapohjia käyttävä suunnittelija. Suunnittelijan on tapauskohtaisesti tarkastettava, että laskentapohja soveltuu laskentaan tai mitoitukseen. Ennen laskentapohjien käyttöä suunnittelijan on hyvä perehtyä pohjan laskennan etenemiseen. Laskentapohjissa on esitetty laskennassa käytetyt kaavat, jotta käyttäjän on helpompi perehtyä laskennan etenemiseen. Laskentapohjien laatija ei vastaa ohjelmalla laskettujen tulosten oikeellisuudesta.

CLT-rakenteiden mitoituspohjien tuloksia vertailtiin Stora Enson CLT-rakenne laskentapohjien tuloksiin työtä tehdessä. Verrattujen laskentapohjien tulokset eivät juurikaan eronneet toisistaan, mikä vahvisti laskentapohjien toimivuuden. Kuorman laskentapohjien tuloksia vertailtiin yrityksen senhetkisten kohteiden kuorman laskennan tuloksiin sekä omiin käsin laskemalla saatuihin tuloksiin.

Laskentapohjia on mahdollista kehittää eteenpäin tulevaisuudessa mitoitustarpeiden mukaan. Esimerkiksi CLT-rakenteiden palomitoitusta voisi kehittää, koska mitoituspohjissa palomitoitus tarkasteltiin tilanteessa, jossa CLT-levy altistuu välittömästi palolle. Mitoituspohjiin voitaisiin lisätä mahdollisuus antaa tiedot palon suojaavista rakennekerroksista, jotta rakenteelle saataisiin paremmat kestävyysominaisuudet palotilanteen mitoituksessa.

Opinnäytetyötä tehdessäni oma käsitykseni puurakenteiden ja CLT-rakenteiden mitoituksesta kasvoi huomattavasti. Opinnoistani saama tieto antoi hyvän pohjan työn tekemiseen. CLT-rakenteiden mitoitus poikkeaa kuitenkin hieman yleisestä puurakenteiden mitoituksesta, joten lisää tietoa joutui kuitenkin hakemaan useista eri lähteistä. Mekaanisesti liittimin kootut palkit -teoria, jota CLT-rakenteiden mitoituksessa sovelletaan, vaati erityisen paljon perehtymistä ja sisäistämistä. Toimeksiantaja yritykseltä sain huomattavasti apua tiedonhakuun ja mahdollisiin ongelmiin.

LÄHTEET

- CLT – Cross Laminated Timber -Fire protection. 2016. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Stora Enso. [Viitattu 5.5.2020]. Saatavana: <https://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/CLT-Documentation-on-fire-protection-EN.pdf>
- EC5 Sovelluslaskelmat -Asuinrakennus. 2010. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Puuinfo. [Viitattu 27.4.2020]. Saatavana: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>
- Gustafsson, A. 2019. The CLT handbook. [Verkkokirja]. Stockholm: Svenskt Trä. [Viitattu 22.4.2020]. Saatavana: <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdf/er/clt-handbook-2019-eng-m-svensk-standard-2019.pdf>
- Monikerroslevy (CLT). Ei päivystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Puuinfo. [Viitattu 13.5.2020]. Saatavana: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy>
- Paloturvallinen puutalo. 2018. Asuin- ja toimitilarakentaminen. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Puuinfo. [Viitattu 30.4.2020]. Saatavana: https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Palokirja_LOW_p%C3%A4ivitetty%2021.2.20.pdf
- RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 205-2-2019. 2019. Puurakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Seinän nurjahduskestävyys. 2015. [Verkkajulkaisu]. Kuhmo: Oy CrossLam Kuhmo Ltd. [Viitattu 28.4.2020]. Saatavana: <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/mitoituslaskelmat-1-seinn-cc-83n-nurjahduskestn-cc-83vyys.pdf>
- SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2014. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- Välipohjan kestävyys. 2015. [Verkkajulkaisu]. Kuhmo: Oy CrossLam Kuhmo Ltd. [Viitattu 28.4.2020]. Saatavana: <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/mitoituslaskelmat-4-vn-cc-83lipohjan-kestn-cc-83vyys.pdf>

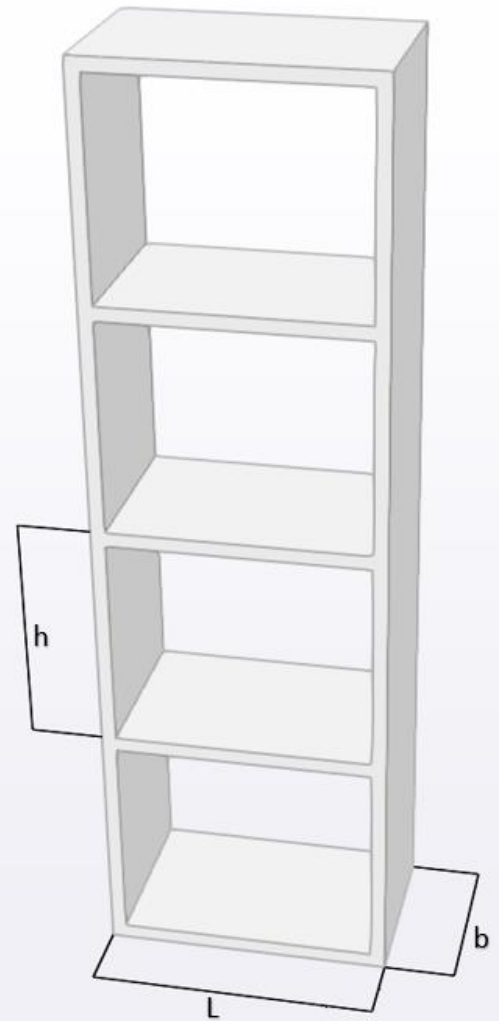
LIITTEET

Liite 1. Kuormanlaskentapohja CLT-elementtiparvekkeille

Liite 2. Yksiaukkoisen laatan mitoituspohjan etusivu

Liite 3. Seinän mitoituspohjan etusivu

Kuormanlaskentapohja CLT-elementtiparvekkeille 1-10 kerrosta			V1.0
Lähtötiedot			
Rakennuksen tyyppi	Asuintila		
kerroksia	10	(poislukien YP)	
Seuraamusluokka	CC2		
Kerrosvähenitys	Ei käytetä		
Suunniteltu käyttöikä	50 vuotta		
lumikuorma maassa s_k	2	kN/m ²	
Mittatiedot			
Parvekkeen pituus L	3160	mm	
Parvekkeen syvyys b_1	2500	mm	
Kerroskorkeus h	3160	mm	
Seinän paksuus	160	mm	
Laatan paksuus	160	mm	
Katon pinta-ala	7,9	m ²	
Parvekkeen katon kaltevuus	0	°	
Viereisen katon kaltevuus	20	°	
Pituus harjalta räystäälle b_y	8	m	(kts. Kuva oikealla)
Kattojen tasoero h	2	m	
Rakennuksen pituus b_2	16	m	
Kinostumismahdollisuus	Kyllä		
liukumismahdollisuus	Kyllä		
kuormien ominaisarvot			
Pysyvät			
Omapaino laatta	0,8	kN/m ²	
Omapaino seinä	0,8	kN/m ²	
Muut katolla		kN/m ²	
Muut kerroksilla		kN/m ²	
Muuttuvat			
Hyötykuorma katolla	0,4	kN/m ²	
lumikuorma katolla	5,45	kN/m ²	
hyötykuorma	2,5	kN/m ²	
Tuuli	2,5	kN/m ²	(Laskenta huomioi luonnonkuormien korotuskertoimen)
Kuormakerroin K_{E1}	1		
Pienennykerroin α_n	0,76		



Tulokset									
Kuormat laatoille									
	g_k [kN/m ²]	$q_{k,HK}$ [kN/m ²]	$q_{k,L}$ [kN/m ²]	L [m]	Pd [kN/m]	Pd_{fi} [kN/m]	M_d [kNm]	V_d [kN]	$M_{d,fi}$ [kNm]
Yläpohja									
Laatta	0,8	0,4	5,45	3	9,10	2,98	10,23	13,64	3,35
1-10. Krs									
Laatta	0,8	2,5	0	3	4,67	1,55	5,25	7,01	1,74
Kuormat Seinille (seinälinja 1/2)				Kuormitusleveys		1,58 m			
	g_k [kN/m]	$q_{k,HK}$ [kN/m]	$q_{k,L}$ [kN/m]	L [m]	N_d [kN/m]	$N_{d,fi}$ [kN/m]	Pd [kN/m ²]	M_d [kNm]	V_d [kN]
10. Krs									
Seinä	1,26	0,63	8,61	3,00	14,37	4,90	3,75	4,22	5,63
9. Krs									
Seinä	4,93	4,58	8,61	3,00	23,39	9,75	3,75	4,22	5,63
8. Krs									
Seinä	8,59	8,53	8,61	3,00	31,76	14,60	3,75	4,22	5,63
7. Krs									
Seinä	12,26	12,48	8,61	3,00	41,86	17,72	3,75	4,22	5,63
6. Krs									
Seinä	15,92	16,43	8,61	3,00	52,00	22,57	3,75	4,22	5,63
5. Krs									
Seinä	19,58	20,38	8,61	3,00	62,14	27,42	3,75	4,22	5,63
4. Krs									
Seinä	23,25	24,33	8,61	3,00	72,27	32,27	3,75	4,22	5,63
3. Krs									
Seinä	26,91	28,28	8,61	3,00	82,41	37,12	3,75	4,22	5,63
2. Krs									
Seinä	30,58	32,23	8,61	3,00	92,55	41,97	3,75	4,22	5,63
1. Krs									
Seinä	34,24	36,18	8,61	3,00	102,69	46,82	3,75	4,22	5,63
Kuormat maahan									
	g_k [kN/m]	$q_{k,HK}$ [kN/m]	$q_{k,L}$ [kN/m]	N_d [kN/m]	$N_{d,fi}$ [kN/m]				
Seinälinja 1	37,90	40,13	8,61	112,83	51,6658				
Seinälinja 2	37,90	40,13	8,61	112,83	51,6658				

Yksiaukkoisen laatan mitoitus		V1.0	3/5/7 Lamellia		
Lähtöarvot					
Pituus L	3000 mm	(laatan jänneväli)			
Leveys b	1000 mm	(tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys)			
CLT-levyn leveys B	2500 mm				
Paino	64 kg/m ²	(neliöpaino)			
G _{R,mean}	50 N/mm ²	(valmistajan ilmoittama tasoleikkauksen liukumoduuli)			
f _{r,k} /f _{y,9090,k}	1,1 N/mm ²	(valmistajan ilmoittama tasoleikkauksen lujuus)			
Suurin sivumitta	3000 m	(huoneen/tilan suurin sivumitta)			
Laatan rakenne					
Kerros	paksuus [mm]	Laatu	Mitoitukseen soveltuvat poikkileikkaukset:		
1	40	C24			
2	20	C14			
3	40	C24			
4	20	C14			
5	40	C24			
6					
7					
h	160				
Aikaluokka		Keskipitkä			
Käyttöluokka		2			
Palonkestovaatimus		R30			
Tilan tyyppi		Asuintila			
Kuormat					
Taivutuksen mitoitusarvo		M _d	5,25 kNm		
Leikkaavan kuorman mitoitusarvo		V _d	7,01 kN		
Pysyvän kuorman ominaisarvo		g _k	0,8 kN/m	(laatan omapaino mukaanlukien)	
Hyötykuorman ominaisarvo		q _k	2,5 kN/m		
Lumikuorman ominaisarvo (laatalla)		S	0 kN/m		
Palotilanteen taivutuksen mitoitusarvo		M _{d,fi}	1,74 kNm		
Tulokset					
	Lujuus [N/mm ²]	Jännitys[N/mm ²]	Käyttöaste [%]	Tulos	
Taivutusmitoitus	15,36	1,43	9,33	OK	
Leikkausmitoitus	2,56	0,060	2,35	OK	
Tasoleikkausmitoitus	0,704	0,055	7,78	OK	
	Taipuma[mm]	Taipumaraja[mm]	Käyttöaste [%]	Tulos	
Taipumamitoitus					
Hetkellinen	1,23	7,50	16,39	OK	(Taipumaraja L/400)
Lopputaipuma	1,81	10,00	18,07	OK	(Taipumaraja L/300)
	Ominaistaajuus[Hz]	Rajoitus[Hz]	Käyttöaste [%]	Tulos	
Värähtelymitoitus	30,29	9	29,71	OK	
	Painuma [mm]	Rajoitus [mm]	Käyttöaste [%]	Tulos	
Hetkellinen painuma (1kN:n pistekuormasta)	0,14	0,50	28,03	OK	
	Lujuus [N/mm ²]	Jännitys[N/mm ²]	Käyttöaste [%]	Tulos	
Palomitoitus					
Taivutus	27,6	0,76	2,75	OK	

Seinän mitoitus		V1.0	3/5/7 Lamellia	
Lähtöarvot				
Pituus L	3000 mm	(Seinän korkeus)		
Leveys b	1000 mm	(tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys)		
$G_{R,mean}$	50 N/mm ²	(valmistajan ilmoittama tasoleikkauksen liukumoduuli)		
$f_{r,k}/f_{y,9090,k}$	1,1 N/mm ²	(valmistajan ilmoittama tasoleikkaukslujuus)		
Laatan rakenne				
Kerros	paksuus [mm]	Laatu	Mitoitukseen soveltuvat poikkileikkaukset:	
1	40	C24		
2	20	C14		
3	40	C24		
4	20	C14		
5	40	C24		
6				
7				
h	160			
Aikaluokka	Keskipitkä			
Käyttöluokka	2			
Palonkestovaatimus	R30			
Palo molemmilta puolilta	Ei			
Kuormat				
Puristavan kuorman mitoitusarvo	N_d	102,69 kN	(tarkasteltavalle leveydelle)	
Leikkaavan kuorman mitoitusarvo	V_d	5,63 kN	(tuuli)	
Taivutuksen mitoitusarvo	M_d	4,22 kNm	(tuuli)	
Tuulikuorman ominaisarvo	$q_{w,k}$	2,5 kN/m		
Puristavan kuorman mitoitusarvo palotilanteessa	$N_{d,fi}$	46,82 kN		
Tulokset				
Nurjahdusmitoitus (taivutus ja puristus)		Mitoitus[N/mm ²]	Käyttöaste [%]	Tulos
		0,17	16,80	OK
Leikkausmitoitus		Lujuus [N/mm ²]	Jännitys[N/mm ²]	Käyttöaste [%]
		2,56	0,05	1,89
Tasoleikkausmitoitus		0,704	0,04	6,25
Taipumamitoitus		Taipuma[mm]	Taipumaraja[mm]	Käyttöaste [%]
Hetkellinen		0,93	7,50	12,42
Lopputaipuma		1,86	10,00	18,62
				OK (Taipumaraja L/400)
				OK (Taipumaraja L/300)
Palomitoitus (palo yhdeltä puolelta)		Mitoitus[N/mm ²]	Käyttöaste [%]	Tulos
Nurjahdusmitoitus (taivutus ja puristus)		0,11	11,16	OK