

Tilaaaja Oy CrossLam Kuhmo Ltd
Kivikatu 4
88900 Kuhmo

Tilaus 8.6.2017 Timo Toivanen

Yhteyshenkilö **VTT Expert Services Oy**
Ari Kevarinmäki
PL 1001, 02044 VTT
Puh. 020 722 5566
ari.kevarinmaki@vtt.fi

Tehtävä **Asiantuntijalausunto - CrossLam Kuhmo CLT**

Tämä lausunto korvaa aikaisemmin annetun lausunnon nro VTT-S-03591-17

Johdanto Oy CrossLam Kuhmo Ltd:llä on ristiinliimatulle massiivipuuelementille (CLT) VTT:n tuotesertifikaatti nro VTT-C-11272-14. Tämä lausunto on laadittu sertifikaatin päivittämistä varten.

CrossLam Kuhmo CLT valmistetaan pohjoismaisesta havupuusta, kuusesta (*Picea abies*) tai männystä (*Pinus sylvestries*). CrossLam Kuhmo CLT on tarkoitettu käytettäväksi rakenteellisena tai ei-rakenteellisena elementtinä rakennuksissa ja puurakenteissa, kuten seinä-, lattia- tai kattoelementtinä, Eurokoodi 5 (EN 1995-1-1) mukaisissa käyttöluokissa 1 ja 2.

CrossLam Kuhmo CLT on massiivipuulevy, joka valmistetaan liimaamalla päällekkäin kohtisuorasti toisiinsa nähden ristikkäin olevia havupuulautakerroksia. Lamellikerroksien lukumäärä on 3, 5 tai 7. Massiivipuulevy on symmetrinen keskilinjatasoon nähden.

Jokainen lamellikerros koostuu lujuuslajitellusta sahatavarasta höylätyistä rinnakkain asennetuista laudoista. Kerroksen paksuus on vähintään 20 mm ja enintään 60 mm. Lamellien leveys on vähintään $\max(80 \text{ mm}, 3t)$, kun t on laudan paksuus. Rinnakkaisia lamelleja ei liimata toisiinsa syrjäpinnoista. Sahatavaran täytyy täyttää EN 338:2016 standardin mukaisen lujuusluokan C24 vaatimukset. Kaikki lamellit voivat olla sormijatkettuja. Sormijatkosten on oltava standardin EN 16351:2015 mukaisia.

Massiivipuuelementtiä voidaan valmistaa enintään 3,20 m leveänä ja 12,00 m pitkänä. Levyn paksuus on vähintään 60 mm ja enintään 300 mm.

Tämä asiantuntijalausunto sisältää massiivipuuelementin mekaanisten ominaisuuksien määrittämistä varten tehtyjen kokeiden tulosten analysoinnin ja ehdotuksen tuotteen rakennesuunnittelussa noudatettavista ohjeista ja mitoitusparametreista.

Tämä lausunto perustuu seuraaviin dokumentteihin:

- Research Report No. VTT-S-04475-14, “Bending and shear tests of cross laminated timber“, VTT Expert Services Ltd, Espoo, 30.09.2014.
- Research Report No. VTT-S-05239-14, “Flatwise bending and shear tests of Cross Laminated Timber“, VTT Expert Services Ltd, Espoo, 13.11.2014.
- Research Report No. VTT-S-01267-16, “Bending and shear tests of cross laminated timber“, VTT Expert Services Ltd, Espoo, 22.03.2016.

- CUAP Nr. 03.04/06, "Solid wood slab elements to be used as a structural element in buildings".
- EAD 130005-00-0304, CUAP Nr. 03.04/06, "Solid wood slab elements to be used as a structural element in buildings". EOTA, 25.08.2014.
- Blaß, Hans Joachim; Görlacher, Rainer: Zum Trag- und Verformungsverhalten von Brettsperrholzelementen bei Beanspruchung in Plattenebene. Bauen mit Holz 104 (2002) H. 11 S. 34-41, H. 12 S. 30-34.
- Blaß, Hans Joachim; Fellmoser, Peter: Bemessung von Mehrschichtplatten. Bauen mit Holz 105 (2003) H. 8 S. 36-39, H. 9 S. 37-39.
- Jöbstl, Robert-August; Bogensperger, Thomas; Schickhofer, Gerhard: In-Plane Shear Strength of Cross Laminated Timber. Proceedings of CIB-W18 Meeting 41, St. Andrews, Canada 2008, Paper 41-12-3.
- Unterwieser, Helene; Schickhofer, Gerhard: Characteristic Values and Test Configurations of CLT with Focus on Selected Properties. Proceedings of COST Action FP1004 meeting 21- 22nd May 2013, Graz, Austria.
- Blaß, Hans Joachim; Uibel, Thomas: Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz. Bauen mit Holz 111 (2009) H. 2 S. 46-53.
- SFS-EN 1995-1-1:2004+A1:2009+A2:2014,"Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt". Suomen Standardoimisliitto SFS.
- RIL 205-1-2017, "Puurakenteiden suunnitteluohje – eurokoodi EN 1995-1-1". Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- SFS-EN 16351:2015, "Timber structures – Cross laminated timber – Requirements". Suomen Standardoimisliitto SFS.

Massiivipuulaatan mitat ja spesifikaatiot

Taulukko 1. Mitat ja spesifikaatiot

Ominaisuus		Spesifikaatio
CrossLam Kuhmo CLT massiivipuulaatta		
Paksuus	mm	60 – 300
Leveys	m	≤ 3,20
Pituus	m	≤ 12,00
Kerrosten lukumäärä	-	3, 5 tai 7
Lamellit		
Pinta	-	Höylätty
Paksuus <i>t</i>	mm	20 – 60
Leveys	mm	≥ max (80, 3 <i>t</i>)
Rako rinnakkaisten lautojen välissä		
- joka toisessa saumassa	mm	max 2
- 10 % saumoista	mm	max 5
Lamellien lujuusluokka		C24
Sormijatkokset		EN 16351

Arviointi CrossLam Kuhmo CLT massiivipuulaatan sopivuudesta käytettäväksi sille tarkoitetuissa käyttökohteissa on tehty mekaanisen kestävyuden ja vakauden suhteen noudattaen kaikkia CUAP ETA No. 03.04/06 esitettyjä vaatimuksia sekä soveltaen EAD 130005-00-0304 ja standardin SFS-EN 16351:2015 vaatimuksia. Massiivipuulaatan suunnitelluksi käyttöiäksi on oletettu 50 vuotta.

Olennaisten mekaanisten ominaisuuksien todentaminen

1. Kantavuus ja jäykkyys laatan tasoon nähden kohtisuoraan kohdistuvien kuormien suhteen

Taivutus lappeellaan

Taivutuskokeet on suoritettu standardin EN 408 mukaan. Koekappaleet ja kuormitusmenettelyt noudattivat standardissa SFS-EN 16351:2015 alkutestaukselle asetettuja vaatimuksia. Koetulokset on esitetty taulukossa 2. Käytetyt symbolit ovat seuraavat:

h_{tot}	=	laatan paksuus
b	=	koekappaleen leveys
n	=	kerrosten lukumäärä
l	=	jänneväli
EI_{ef}	=	tehollinen taivutusjäykkyys määritettynä kokonaistaipumasta
M_u	=	taivutusmomentti murtokuormalla

Taivutusjäykkyys määritetään suhteessa tehollisen jäyhyysmomenttiin I_{ef} . Tehollinen jäyhyysmomentti laskettiin EN 1995-1-1 liitteen B mukaisella joustavasti yhdistettyjen palkkien analogialla. Ristilamellien muodonmuutosten vaikutus otettiin huomioon olettamalla poikittaisen lamellikerroksen tasoleikkauksen ("rolling shear") liukumoduulille EN 14080 standardin mukainen arvo $G_R = 65 \text{ N/mm}^2$.

Taivutuslujuus f_m laskettiin murtokuormaa vastaavan taivutusmomentin aiheuttama pintalamellin reunajännityksenä. Koekappalekohtaiset kimmomoduulit ja taivutuslujuudet on esitetty taulukossa 3.

Ehdotus lapetaivutuskestävyyden mitoitusohjeeksi:

CrossLam Kuhmo CLT laatan jännitys jakauma voidaan laskea Eurokoodi 5 liitteen B mukaisella joustavasti kootun kerrosalkin teoriolla seuraavin oletuksin:

$$- s_i/K_i = d_i/(G_{R,\text{mean}} \cdot b)$$

missä d_i = poikittaislamellin paksuus
 $G_{R,\text{mean}}$ = tasoleikkauksen liukumoduuli, $G_{R,\text{mean}} = 65 \text{ N/mm}^2$
 b = poikittaiskerroksen leveys (laatan leveys)

- poikittaislamellien pituussuuntaista jäykkyyttä ei huomioida
- määritettäessä etäisyyttä a_i pituussuuntaisten lamellien välinen etäisyys otetaan huomioon.

Massiivipuelementin taivutuskestävyyden mitoituksessa ulkolamellien reunajännitystä vastaavan taivutuslujuuden voidaan olettaa vastaavan sahatavaran lujuusluokan C24

taivutuslujuutta (24 N/mm^2). Taivutuslujuutta voidaan korottaa Eurokoodi 5 kuvan 6.12 mukaisella rinnakkaisten pituussuuntaisten lamellin lukumäärästä riippuvalla kuormanjakokertoimella k_{sys} . Tällöin taivutuslujuus on $28,8 \text{ N/mm}^2$, kun rinnakkaisten lamellien lukumäärä on 8 tai enemmän. Pituussuuntaisten lamellikerrosten keskimääräisenä kimmomoduulina voidaan käyttää arvoa 11500 N/mm^2 , mikä vastaa EN 14080 standardin mukaista GL24h lujuusluokan kimmomoduulia.

Taulukko 2. Lapetaivutuskokeiden koekappaleet ja koetulokset

Koesarja	h_{tot} [mm]	b [mm]	n	l [mm]	EI_{ef} [Nmm ²]	M_u [kNm]
A VTT-S-04475-14	60	500	3	1440	8,056E+10	13,10
					8,853E+10	12,53
					8,656E+10	13,54
					8,693E+10	13,69
					8,632E+10	13,75
B VTT-S-04475-14	80	500	3	1920	1,837E+11	21,35
					1,964E+11	19,22
					1,967E+11	23,62
					1,878E+11	20,45
					1,925E+11	24,37
BU VTT-S-05239-14	80	500	3	1920	2,065E+11	25,29
					2,139E+11	26,78
					2,026E+11	25,05
					2,159E+11	26,42
					2,081E+11	23,00
Q VTT-S-01267-16	80	500	3	1920	1,884E+11	21,48
					1,819E+11	21,06
					1,864E+11	21,15
					1,856E+11	22,15
					1,783E+11	19,04
C VTT-S-04475-14	160	500	3	3840	1,727E+12	79,78
					1,726E+12	89,28
					1,734E+12	94,61
					1,723E+12	59,04
					1,743E+12	68,98
D VTT-S-04475-14	160	500	5	3840	1,635E+12	76,18
					1,626E+12	68,69
					1,710E+12	89,42
					1,714E+12	98,06
					1,731E+12	87,98

Taulukko 3. Lapetaivutuskokeiden tulosten tarkastelu: koekappaleiden kimmomuodullit E ja taivutuslujuudet f_m

Koesarja	h_{tot} [mm]	n	I_{ef} [mm ⁴]	E [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
A VTT-S-04475-14	60	3	7,591E+06	10612	47,11
			7,486E+06	11826	45,19
			7,511E+06	11524	48,86
			7,507E+06	11580	49,43
			7,515E+06	11487	49,59
B VTT-S-04475-14	80	3	1,577E+07	11650	47,62
			1,557E+07	12615	43,03
			1,556E+07	12639	52,86
			1,570E+07	11959	45,65
			1,563E+07	12314	54,48
BU VTT-S-05239-14	80	3	1,541E+07	13400	56,74
			1,530E+07	13980	60,19
			1,547E+07	13095	56,14
			1,526E+07	14145	59,42
			1,539E+07	13525	51,62
Q VTT-S-01267-16	80	3	1,570E+07	12005	48,13
			1,580E+07	11515	46,90
			1,573E+07	11850	47,30
			1,574E+07	11790	49,49
			1,584E+07	11250	42,23
C VTT-S-04475-14	160	3	1,492E+08	11572	39,42
			1,492E+08	11565	44,12
			1,492E+08	11625	46,76
			1,493E+08	11542	29,17
			1,491E+08	11693	34,10
D VTT-S-04475-14	160	5	1,393E+08	11736	40,86
			1,394E+08	11666	36,83
			1,387E+08	12327	48,00
			1,387E+08	12358	53,64
			1,386E+08	12493	47,24
keskiarvo				12111	47,40
minimi				10612	29,17

Veto- ja puristuskestävyydet

Laatan veto- ja puristuskestävyydet voidaan mitoittaa Eurokoodi 5 mukaan käyttäen lamelleille EN 338 mukaisia sahatavaran lujuusluokan C24 lujuusarvoja. Laataan kohtisuorasti kohdistuvia vetorasiuksia tulee välttää.

Leikkaus

Leikkaus lappeellaan kuormituskokeet on suoritettu standardin EN 408 mukaan. Koekappaleet ja kuormitusmenettelyt noudattivat standardissa EN 16351:2015 alkutestaukselle asetettuja vaatimuksia. Tulokset on esitetty taulukossa 4. Käytetyt symbolit ovat seuraavat:

h_{tot}	=	laatan paksuus
t	=	poikittaislamellin paksuus
b	=	laatan leveys
n	=	lamellikerrosten lukumäärä
l	=	jänneväli
V_u	=	murtokuormaa vastaava leikkausvoima
f_R	=	tasoleikkauslujuus ("rolling shear")

Poikittaiskerroksessa vaikuttava murtokuormaa vastaava leikkausjännitys laskettiin EN 1995-1-1 liitteen B mukaisella joustavasti yhdistettyjen palkkien menetelmällä. Ristilamellien muodonmuutosten vaikutus otettiin huomioon olettamalla ristilamellien tasoleikkauksen liukumoduuliksi $G_R = 65 \text{ N/mm}^2$ ja pituussuuntaisten lamellien kimmomoduuliksi $E = 11500 \text{ N/mm}^2$.

Ehdotus lapeleikkauskestävyyden mitoitusohjeeksi:

Lappeellaan kuormitetun CrossLam Kuhmo CLT laatan leikkauskestävyys voidaan mitoittaa Eurokoodi 5 mukaan olettaen poikittaislamellin tasoleikkauslujuuden ominaisarvoksi $f_{R,k} = 1,3 \text{ N/mm}^2$, kun poikittaislamellin paksuus on enintään 40 mm. Paksumpien lamellien tasoleikkauslujuus $f_{R,k} = (2,1 - 0,02t) \text{ N/mm}^2$, kun t on poikittaislamellin paksuus millimetreinä.

Lamellin syyn suuntaisena liukumoduulina voidaan käyttää lujuusluokan C24 arvoa $G_{\text{mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$ ja tasoleikkauksen liukumoduulina arvoa $G_{R,\text{mean}} = 65 \text{ N/mm}^2$.

Taulukko 4. Leikkauskokeiden tarkastelu: tasoleikkauslujuudet f_R .

Koesarja	t [mm]	h_{tot} [mm]	b [mm]	n	l [mm]	V_u [kN]	f_R [N/mm ²]
E VTT-S-04475-14	20	60	500	3	720	55,67	2,44
						53,51	2,35
						53,69	2,36
						59,28	2,60
						58,30	2,56
H VTT-S-04475-14	20	160	500	5	1920	145,2	2,25
						142,3	2,20
						135,2	2,09
						146,5	2,27
						135,1	2,09
T VTT-S-01267-16	20	160	500	5	1920	140,5	2,18
						131,0	2,03
						144,9	2,24
						128,8	1,99
						120,2	1,86
F VTT-S-04475-14	40	80	500	3	960	51,18	1,60
						42,88	1,34
						49,74	1,56
						44,35	1,39
						46,48	1,45
FU VTT-S-05239-14	40	80	500	3	960	52,69	1,65
						48,02	1,50
						44,26	1,39
						48,69	1,52
						49,00	1,53
S VTT-S-01267-16	40	80	500	3	960	43,15	1,35
						48,87	1,53
						46,38	1,45
						47,62	1,49
						44,55	1,39
G VTT-S-04475-14	40	160	500	3	1920	134,0	2,01
						122,0	1,83
						132,7	1,99
						106,5	1,60
						121,1	1,82
keskiarvo							1,85
minimi							1,34

2. Kantavuus ja jäykkyys levyn tason suuntaisten kuormien suhteen

Taivutus syrjällään

Taivutuskokeet on suoritettu standardin EN 408 mukaan. Koekappaleet ja kuormitusmenettelyt noudattivat standardissa EN 16351:2015 alkutestaukselle asetettuja vaatimuksia. Koetulokset esitetty taulukossa 5. Käytetyt symbolit ovat seuraavat:

- h_{tot} = levyn paksuus
- b = koekappaleen korkeus (elementin leveys)
- n = kerrosten lukumäärä
- l = jänneväli
- EI_{local} = paikallinen taivutusjäykkyys määritettynä vakiomomentin alueelta
- EI_{global} = taivutusjäykkyys määritettynä keskikohdan taipumasta
- M_u = taivutusmomentti murtokuormalla

Taulukko 5. Syrjätaivutuskokeiden tulokset

Koesarja	h_{tot} [mm]	b [mm]	n	l [mm]	EI_{local} [Nmm ²]	EI_{global} [Nmm ²]	M_u [kNm]
I VTT-S-04475-14	60	300	3	5400	9,909E+11	9,359E+11	28,44
					1,171E+12	9,885E+11	25,20
					9,839E+11	9,664E+11	27,36
					9,083E+11	8,832E+11	23,04
					1,076E+12	1,052E+12	31,14
J VTT-S-04475-14	100	300	3	5400	2,154E+12	2,051E+12	43,38
					2,158E+12	2,016E+12	48,24
					1,859E+12	1,798E+12	41,04
					1,937E+12	1,884E+12	43,02
					2,087E+12	1,923E+12	41,94
K VTT-S-04475-14	200	300	5	5400	3,457E+12	3,387E+12	81,00
					3,386E+12	3,241E+12	80,82
					3,138E+12	3,128E+12	66,24
					2,640E+12	3,121E+12	71,46
					3,465E+12	3,284E+12	68,04
L VTT-S-04475-14	300	350	7	6300	8,902E+12	8,214E+12	165,06
					8,416E+12	8,150E+12	188,16
					9,757E+12	8,897E+12	199,92
					9,380E+12	8,746E+12	172,62
					1,004E+13	9,289E+12	171,78

Koetulosten tarkastelussa palkkien jäyhyysmomentti I_{net} laskettiin ottaen huomioon vain pituussuuntaiset lamellikerrokset. Taivutuslujuus f_m laskettiin murtokuorman aiheuttamana pituussuuntaisten lamellien reunajännityksenä. Netto-poikkileikkauksella lasketut taivutuslujuudet ja paikallista taivutusjäykkyyttä vastaavat kimmomoduulit on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Taivutuskokeiden tulosten tarkastelu: koekappaleiden kimmomoduulit E ja taivutuslujuudet f_m

Koesarja	h_{tot} [mm]	n	I_{net} [mm ⁴]	E_{local} [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
I VTT-S-04475-14	60	3	9,000E+07	11010	47,40
				13011	42,00
				10932	45,60
				10092	38,40
				11956	51,90
J VTT-S-04475-14	100	3	1,800E+08	11967	36,15
				11989	40,20
				10328	34,20
				10761	35,85
				11594	34,95
K VTT-S-04475-14	200	5	2,700E+08	12804	45,00
				12541	44,90
				11622	36,80
				9778	39,70
				12833	37,80
L VTT-S-04475-14	300	7	8,575E+08	10381	33,69
				9815	38,40
				11378	40,80
				10939	35,23
				11708	35,06
keskiarvo				11372	39,70
minimi				9778	33,69

Ehdotus syrjätaivutuskestävyyden ja taivutusjäykkyyden mitoitusohjeeksi:

Massiivipuelementin syrjätaivutuskestävyyden ja -jäykkyyden laskennassa huomioidaan vain pituussuuntaiset lamellikerrokset, joiden taivutuslujuuden voidaan olettaa vastaavan sahatavaran lujuusluokan C24 taivutuslujuutta (24 N/mm²). Taivutuslujuutta voidaan korottaa Eurokoodi 5 kuvan 6.12 mukaisella pituussuuntaisten lamellikerrosten lukumäärästä riippuvalla kuormanjakokertoimella k_{sys} . Pituussuuntaisten lamellikerrosten keskimääräisenä kimmomoduulina voidaan käyttää arvoa 11500 N/mm².

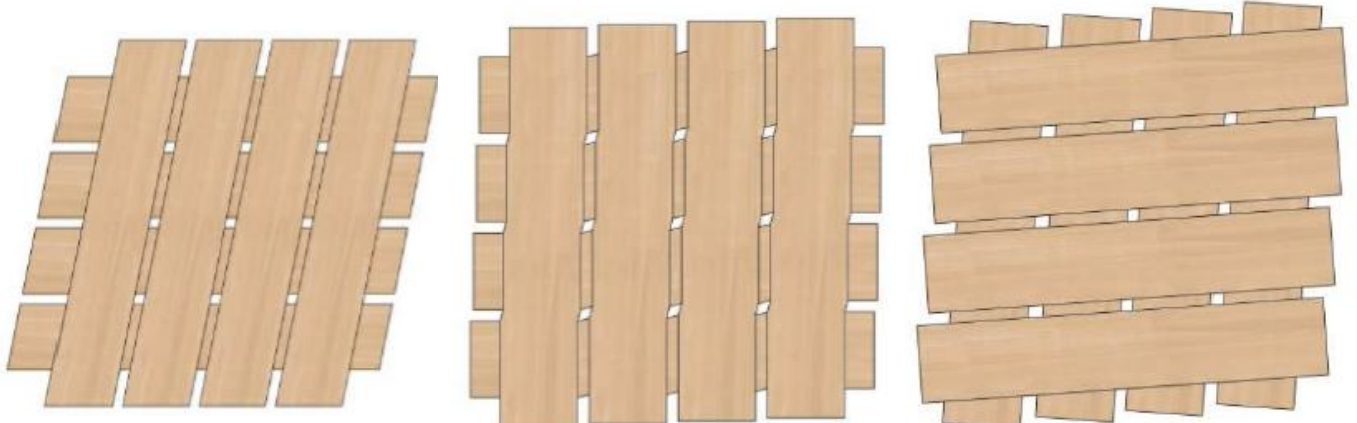
Veto ja puristus

Ristiinliimatun massiivipuelevyn veto- ja puristuskestävyydet ja -jäykkyydet voidaan laskea Eurokoodi 5 mukaan ottaen huomioon vain kuorman suuntaiset lamellikerrokset ja käyttäen lamelleille EN 338 mukaisia sahatavaran lujuusluokan C24 lujuusarvoja.

Leikkaus

Syrjäsuunnan leikkauskokeet on suoritettu standardin EN 408 mukaan. Koekappaleet ja kuormitusmenettelyt noudattivat standardissa SFS-EN 16351:2015 alkutestaukselle asetettuja vaatimuksia. Reunimmaisiet lamellikerrokset olivat koekappaleen pituussuuntaisia ja koekappaleen keskikorkeudella sijainneet ulkolamellien väliset saumat oli sahattu auki koko palkin pituudelta mahdollisten liimapurse- ja kitkavaikutusten eliminoimiseksi.

Koetulosten tarkastelussa on käsitelty kuvassa 1 esitetyt kolme erilaista leikkausmurtotapaa.



Murtotapa 1:
leikkausmurto sekä pituussuuntaisissa että poikittaisissa kerroksissa

Murtotapa 2:
leikkausmurto lamelleissa liitossaumojen kohdalla (syrjäpinnat liimaamattomia)

Murtotapa 3:
leikkausmurto risteävien lamellien liitospinnassa (liitossauman vääntöleikkaus)

Kuva 1. Syrjäsuunnassa kuormitetun ristiinliimatun massiivipuulevyn leikkausmurtotavat.

Eri murtotapojen mukaiset murtokuormaa vastaavat leikkauslujuudet on esitetty taulukossa 7. Käytetyt symbolit ovat seuraavat:

h_{tot}	=	levyn paksuus
b	=	levyn korkeus (elementin leveys)
n	=	lamellikerrosten lukumäärä
l	=	jänneväli
V_u	=	murtokuormaa vastaava leikkausvoima
$f_{v,\text{gross}}$	=	murtotapaa 1 vastaava leikkauslujuus
$f_{v,\text{net}}$	=	murtotapaa 2 vastaava leikkauslujuus
$f_{v,\text{tor}}$	=	murtotapaa 3 vastaava leikkauslujuus
G	=	ristianturipareilla mitatuista muodonmuutoksista laskettu liukumoduuli

Taulukko 7. Leikkauskokeiden tarkastelu: syrjäleikkauslujuudet f_v ja liukumoduuli G . Laskennollisesti määräävimmän leikkausmurtotavan arvot on lihavoitu.

Koesarja	h_{tot} [mm]	b [mm]	n	l [mm]	V_u [kN]	$f_{v,gross}$ [N/mm ²]	$f_{v,net}$ [N/mm ²]	$f_{v,tor}$ [N/mm ²]	G [N/mm ²]
M VTT-S-04475-14	60 *)	300	3	3600	29,6	2,47	7,40	2,01	1112
					28,2	2,35	7,05	1,92	987
					31,1	2,59	7,78	2,11	1039
					31,8	2,65	7,95	2,16	1025
					29,3	2,44	7,33	1,99	1124
N VTT-S-04475-14	100	300	3	3600	52,0	2,60	13,00	3,58	940
					36,4	1,82	9,10	2,50	753
					40,8	2,04	10,20	2,81	751
					50,3	2,52	12,58	3,46	728
					50,8	2,54	12,70	3,49	766
W VTT-S-01267-16	140 *)	300	5	3600	61,3	2,19	7,66	2,09	836
					74,4	2,66	9,30	2,54	943
					62,7	2,24	7,84	2,14	751
					70,0	2,50	8,75	2,39	1104
					59,8	2,14	7,48	2,04	1127
O VTT-S-04475-14	200 *)	300	5	3600	77,5	1,94	4,84	1,82	1153
					88,4	2,21	5,53	2,07	911
					92,1	2,30	5,76	2,16	802
					90,2	2,26	5,64	2,11	1016
					95,7	2,39	5,98	2,24	1126
P VTT-S-04475-14	300	350	7	4200	207,4	2,96	14,81	2,84	777
					167,4	2,39	11,96	2,33	958
					156,7	2,24	11,19	2,18	845
					157,9	2,26	11,28	2,20	840
					145,1	2,07	10,36	2,02	837
keskiarvo						2,35	8,94	2,37	930
minimi						1,82	4,84	1,82	728
leikkauksesta kriittisten keskiarvo						2,34	11,72	2,74	
leikkauksesta kriittisten minimi						1,82	9,10	2,02	

*) Koesarjan kriittisenä murtotapana taivutusmurto

Kirjallisuuslähteissä esitetään seuraavia ominaislujuuksia eri murtotavoille:

- murtotapa 1: $f_{v,gross,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$ (Blass & Fellmoser, 2003)
- murtotapa 2: $f_{v,net,k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$ (Jöbstl & al., 2008)
- murtotapa 3: $f_{v,tor,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ (Unterwieser & Schickhofer, 2013)

Näiden arvojen määrittelemää kriittisintä leikkausmurtotapaa vastaavat kokeelliset leikkausjännitykset on esitetty lihavoituna taulukossa 7. Murtotapaa 2 vastaavat leikkausjännitykset olivat selkeästi ominaisarvoa $8,0 \text{ N/mm}^2$ suurempia koesarjoissa joissa se oli laskennollisesti määräävin leikkausmurtotapa ja joissa leikkauskestävyys oli taivutusmurtokestävyyttä pienempi (keskiarvo $11,7$ ja minimi $9,1 \text{ N/mm}^2$).

Murtotapa 3 oli laskennollisesti määräävin leikkausmurtotapa yhdessä koesarjassa $1,82 - 2,24 \text{ N/mm}^2$ leikkausjännityksellä, mutta siinä koesarjassa murtotapana oli taivutusmurto (murtomomentti ylitti vastaavan taivutuskoesarjan keskiarvon). Leikkauksesta murtuneiden koesarjojen murtotapaa 3 vastaava leikkausjännitysten keskiarvo oli $2,74 \text{ N/mm}^2$ minimin ollessa $2,02 \text{ N/mm}^2$. Koesarjoilla ei pystytty kuitenkaan varmuudella osoittamaan, että murtotapaa 3 vastaava kirjallisuudessa esitetty ominaisarvo $2,5 \text{ N/mm}^2$ saavutettaisiin CrossLam Kuhmo CLT:llä.

Taulukoissa 8a ja 8b on esitetty CrossLam Kuhmo CLT:n eri valmistuskombinaatioille lasketut koko poikkileikkausta vastaavat leikkauslujuudet $f_{v,k}$, kun eri murtotapoja vastaavina ominaislujuuksina on käytetty arvoja $f_{v,gross,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$, $f_{v,net,k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$ ja $f_{v,tor,k} = 2,0 \text{ N/mm}^2$. Käytetyt symbolit ovat seuraavat:

- h_{tot} = levyn paksuus
- n = kerrosten lukumäärä
- C = poikittaisen kerroksen paksuus
- L = pituussuuntaisen lamellikerroksen paksuus
- b_L = pituussuuntaisten lamellien leveys
- b_C = poikittaisten lamellien leveys
- $f_{v,1,k}$ = murtotapaa 1 vastaava laskennollinen koko poikkileikkauksen leikkauslujuus
- $f_{v,2,k}$ = murtotapaa 2 vastaava laskennollinen koko poikkileikkauksen leikkauslujuus
- $f_{v,3,k}$ = murtotapaa 3 vastaava laskennollinen koko poikkileikkauksen leikkauslujuus
- $f_{v,k}$ = laskettujen leikkauslujuuksien $f_{v,i,k}$ minimi

Kokeissa määritettyjen liukumoduulien G keskiarvo on 930 N/mm^2 pienimmän arvon ollessa 728 N/mm^2 . EN 338 standardin mukainen lujuusluokan C24 sahatavaran keskimääräinen liukumoduuli $G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$.

Ehdotus syrjäleikkauskestävyyden mitoitusohjeeksi:

Syrjällään kuormitetun CrossLam Kuhmo CLT levyn leikkauskestävyys voidaan mitoittaa Eurokoodi 5 mukaan massiivisena poikkileikkauksena käyttäen CLT:n leikkauslujuutena taulukoissa 8a ja 8b esitettyjä ominaislujuuksia $f_{v,k}$.

Syrjällään kuormitetun CrossLam Kuhmo CLT levyn liukumoduulina voidaan käyttää lujuusluokan C24 arvoa $G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$.

Taulukko 8a. CrossLam Kuhmo CLT:n *C Panel* -tuotteiden leikkauslujuudet laskettuna koko poikkileikkaukselle. *C Panel*-tuotteissa pintakerrokset ovat valmistuslinjassa poikittain.

Tuote nro	h_{tot} (mm)	n	C	L	C	L	C	L	C	b_L (mm)	b_C (mm)	$f_{v,1,k}$ (N/mm ²)	$f_{v,2,k}$ (N/mm ²)	$f_{v,3,k}$ (N/mm ²)	$f_{v,k}$ (N/mm ²)
C3-60-20	60	3	20	20	20					80	80	3,50	2,67	2,67	2,67
C3-70-20	70	3	20	30	20					90	80	3,50	3,43	2,30	2,30
C3-80-20	80	3	20	40	20					120	80	3,50	4,00	2,17	2,17
C3-80-30	80	3	30	20	30					80	90	3,50	2,00	2,01	2,00
C3-90-20	90	3	20	50	20					150	80	3,50	3,56	2,14	2,14
C3-90-30	90	3	30	30	30					90	90	3,50	2,67	2,00	2,00
C3-100-30	100	3	30	40	30					120	90	3,50	3,20	1,88	1,88
C3-100-40	100	3	40	20	40					80	120	3,50	1,60	1,73	1,60
C3-110-30	110	3	30	50	30					150	90	3,50	3,64	1,85	1,85
C3-120-40	120	3	40	40	40					120	120	3,50	2,67	2,00	2,00
C3-130-50	130	3	50	30	50					90	150	3,50	1,85	1,57	1,57
C3-140-50	140	3	50	40	50					120	150	3,50	2,29	1,76	1,76
C3-160-60	160	3	60	40	60					120	180	3,50	2,00	1,63	1,63
C5-100-20	100	5	20	20	20	20	20			80	80	3,50	3,20	3,20	3,20
C5-120-20	120	5	20	30	20	30	20			90	80	3,50	4,00	2,69	2,69
C5-130-30	130	5	30	20	30	20	30			80	90	3,50	2,46	2,48	2,46
C5-150-30	150	5	30	30	30	30	30			90	90	3,50	3,20	2,40	2,40
C5-160-40	160	5	40	20	40	20	40			80	120	3,50	2,00	2,17	2,00
C5-180-40	180	5	40	30	40	30	40			90	120	3,50	2,67	2,08	2,08
C5-200-40	200	5	40	40	40	40	40			120	120	3,50	3,20	2,40	2,40
C5-220-60	220	5	60	20	60	20	60			80	180	3,50	1,45	1,96	1,45
C5-240-40	240	5	40	60	40	60	40			180	120	3,50	4,00	2,17	2,17
C7-140-20	140	7	20	20	20	20	20	20	20	80	80	3,50	3,43	3,43	3,43
C7-180-30	180	7	30	20	30	20	30	20	30	80	90	3,50	2,67	2,69	2,67
C7-200-20	200	7	20	40	20	40	20	40	20	120	80	3,50	3,20	2,60	2,60
C7-220-40	220	7	40	20	40	20	40	20	40	80	120	3,50	2,18	2,36	2,18
C7-240-30	240	7	30	40	30	40	30	40	30	120	90	3,50	4,00	2,34	2,34
C7-260-50	260	7	50	20	50	20	50	20	50	80	150	3,50	1,85	2,22	1,85
C7-300-60	300	7	60	20	60	20	60	20	60	80	180	3,50	1,60	2,16	1,60

Taulukko 8b. CrossLam Kuhmo CLT:n *L Panel* -tuotteiden leikkauslujuudet laskettuna koko poikkileikkaukselle. *L Panel*-tuotteissa pintakerrokset ovat valmistuslinjassa pituussuuntaan.

Tuote nro	h_{tot} (mm)	n	L	C	L	C	L	C	L	b_L	b_C	$f_{v,1,k}$ (N/mm ²)	$f_{v,2,k}$ (N/mm ²)	$f_{v,3,k}$ (N/mm ²)	$f_{v,k}$ (N/mm ²)
			(mm)						(mm)						
L3-60-20	60	3	20	20	20					80	80	3,50	2,67	2,67	2,67
L3-70-20	70	3	20	30	20					80	90	3,50	3,43	2,30	2,30
L3-80-20	80	3	20	40	20					80	120	3,50	4,00	2,17	2,17
L3-80-30	80	3	30	20	30					90	80	3,50	2,00	2,01	2,00
L3-90-20	90	3	20	50	20					80	150	3,50	3,56	2,14	2,14
L3-90-30	90	3	30	30	30					90	90	3,50	2,67	2,00	2,00
L3-100-30	100	3	30	40	30					90	120	3,50	3,20	1,88	1,88
L3-100-40	100	3	40	20	40					120	80	3,50	1,60	1,73	1,60
L3-110-30	110	3	30	50	30					90	150	3,50	3,64	1,85	1,85
L3-120-40	120	3	40	40	40					120	120	3,50	2,67	2,00	2,00
L3-130-50	130	3	50	30	50					150	90	3,50	1,85	1,57	1,57
L3-140-50	140	3	50	40	50					150	120	3,50	2,29	1,76	1,76
L3-160-60	160	3	60	40	60					180	120	3,50	2,00	1,63	1,63
L5-100-20	100	5	20	20	20	20	20			80	80	3,50	3,20	3,20	3,20
L5-120-20	120	5	20	30	20	30	20			80	90	3,50	4,00	2,69	2,69
L5-130-30	130	5	30	20	30	20	30			90	80	3,50	2,46	2,48	2,46
L5-150-30	150	5	30	30	30	30	30			90	90	3,50	3,20	2,40	2,40
L5-160-40	160	5	40	20	40	20	40			120	80	3,50	2,00	2,17	2,00
L5-180-40	180	5	40	30	40	30	40			120	90	3,50	2,67	2,08	2,08
L5-200-40	200	5	40	40	40	40	40			120	120	3,50	3,20	2,40	2,40
L5-220-60	220	5	60	20	60	20	60			180	80	3,50	1,45	1,96	1,45
L5-240-40	240	5	40	60	40	60	40			120	180	3,50	4,00	2,17	2,17
L7-140-20	140	7	20	20	20	20	20	20	20	80	80	3,50	3,43	3,43	3,43
L7-180-30	180	7	30	20	30	20	30	20	30	90	80	3,50	2,67	2,69	2,67
L7-200-20	200	7	20	40	20	40	20	40	20	80	120	3,50	3,20	2,60	2,60
L7-220-40	220	7	40	20	40	20	40	20	40	120	80	3,50	2,18	2,36	2,18
L7-240-30	240	7	30	40	30	40	30	40	30	90	120	3,50	4,00	2,34	2,34
L7-260-50	260	7	50	20	50	20	50	20	50	150	80	3,50	1,85	2,22	1,85
L7-300-60	300	7	60	20	60	20	60	20	60	180	80	3,50	1,60	2,16	1,60

3. Mekaaniset liitokset

Yleistä

Seuraavassa esitetyt suunnitteluohjeet täydentävät EN 1995-1-1 suunnittelustandardin liitosmitoitushjeita.

Puikkoliitosten leikkauskestävyys – liitokset CLT:n lapepinnassa

Reunapuristuslujuus

CLT:n lapepintaan kohtisuorasti asennettaville nauiloille, itseporautuville ruuveille, tappivaarnoille ja pulteille voidaan käyttää CLT lamellien tiheydestä ja pintalamellin syysuunnasta riippuvaa sahatavaran reunapuristuslujuutta.

Seuraavien ehtojen tulee toteutua:

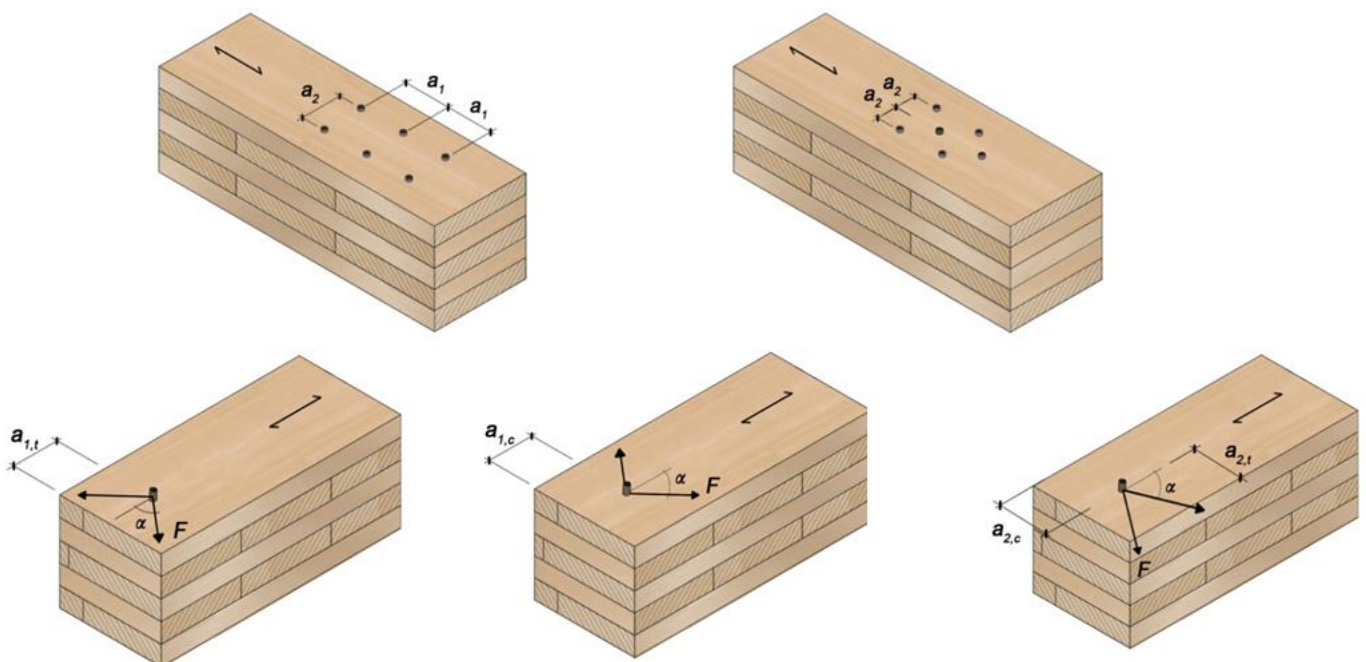
- naulojen halkaisija $d \geq 4$ mm
- itseporautuvien ruuvien halkaisija $d \geq 6$ mm

Liittimien tehollinen lukumäärä:

Mikäli pintalamellin paksuus on suurempi kuin 40 mm, liittimien tehollinen lukumäärä määritetään sahatavaran säännöillä. Muussa tapauksessa $n_{ef} = n$.

Liitinvälit, reuna- ja päätyetäisyydet

Liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot on esitetty taulukossa 9. Etäisyyksien merkinnät ovat kuvan 2 mukaisia, kun a on kuorman ja pintalamellin syysuunnan välinen kulma.



Kuva 2. Etäisyyksien ja liitinvälien määritelmät lapepinnan leikkausliitoksille

Taulukko 9. Liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien minimiarvot leikkauskuorimitetuille lapeliitoksille.

Liitin	a_1	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_2	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$
Naulat	$(3+3 \cos \alpha)d$	$(7+3 \cos \alpha)d$	$6 d$	$3 d$	$(3+4 \sin \alpha)d$	$3 d$
Ruuvit	$4 d$	$6 d$	$6 d$	$2,5 d$	$6 d$	$2,5 d$
Tappivaarnat	$(3+2 \cos \alpha) d$	$5 d$	$\max \begin{cases} 4 d \times \sin \alpha \\ 3 d \end{cases}$	$3 d$	$3 d$	$3 d$
Pultit	$\max \begin{cases} (3+2 \cos \alpha)d \\ 4 d \end{cases}$	$5 d$	$4 d$	$4 d$	$3 d$	$3 d$

Puikkoliitosten leikkauskestävyys – liitokset CLT:n syrjäpinnoissa

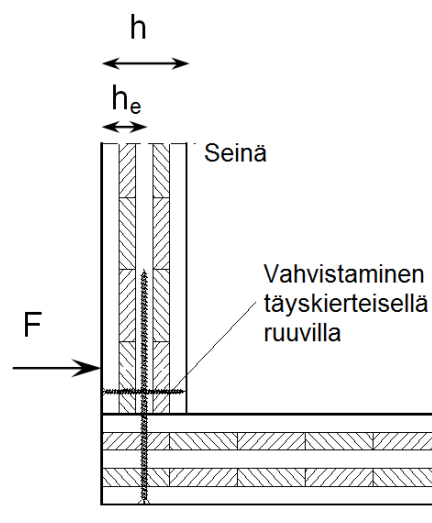
CLT:n syrjäpintojen leikkausliittiminä voidaan käyttää vain itseporautuvia ruuveja.

Reunapuristuslujuus

Itseporautuvien ruuvien, joiden nimellishalkaisija $d \geq 8$ mm, reunapuristuslujuus CLT:n syrjäliitoksissa voidaan laskea kaavalla:

$$f_{h,k} = 20d^{0,5} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Levyn tasoon nähden kohtisuorissa liitosrasituksissa tulee ottaa huomioon poikittaisen vedon aiheuttama halkeaminen. Liitokset pitää vahvistaa täyskierteisillä ruuveilla (ks. kuvan 3 esimerkki), jos liitinetäisyys $h_e < 0,7h$, kun h on levyn paksuus ja h_e on kauimmaisen liittimen etäisyys kuormitetulta reunalta.



Kuva 3. CLT:n liitosalueen vahvistaminen täyskierteisellä ruuvilla.

Liittimien tehollinen lukumäärä

Liittimien tehollinen lukumäärä määritetään sahatavaran säännöillä.

Liitinvälit, reuna- ja päätyetäisyydet

Itseporautuvilla ruuveilla toteutettavien syrjäliitoksien liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot on esitetty taulukossa 10. Taulukossa 11 on esitetty vaadittavat CLT:n ja lamellien paksuudet sekä vaadittava ruuvin tunkeumasyvyys. Etäisyyksien ja mittojen merkinnät ovat kuvan 4 mukaisia.

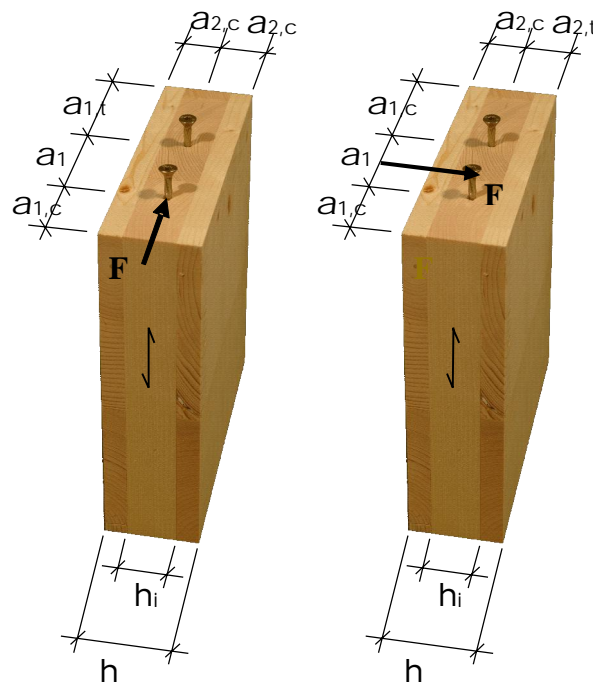
Taulukko 10. Liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien minimiarvot leikkauskuorimitetuille syrjäliitoksille.

Liitin	a_1	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_2	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$
Itseporautuvat ruuvit	$10 d$	$12 d$	$7 d$	$3 d$	$6 d$	$3 d$

Taulukko 11. Syrjäliitoksien paksuusvaatimukset ja liittimien vähimmäistunkeumat.

Liitin	Lamellin minimipaksuus h_i (mm)	CLT:n minimipaksuus h (mm)	Liittimen vähimmäistunkeuma t_1 tai t_2 (mm) ^{a)}
Itseporautuvat ruuvit	$d > 8$ mm: $3 \cdot d$ $d \leq 8$ mm: $2 \cdot d$	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$

^{a)} t_1 Liittimen vähimmäistunkeuma reunapuissa
 t_2 Liittimen vähimmäistunkeuma keskipuissa



Kuva 4. Etäisyyksien ja liitinvälien määritelmät syrjäpinnan leikkausliitoksille

Pituussuunnassa kuormitetut naulat

Pituussuunnassa kuormitettujen nauhojen tulee olla profiloituja. Profiloitujen nauhojen ulosvetokestävyyden ominaisarvo lasketaan CLT:n lapeliitoksissa kaavalla:

$$R_{ax,k} = 14d^{0,6} l_{ef} \quad [N]$$

missä d on naulan halkaisija ja l_{ef} on profiloituneen osuuden tunkeumasyyvyys.

Seuraavien ehtojen tulee toteutua:

- liitoksessa tulee olla vähintään 2 naulaa
- naulan halkaisija $d \geq 4$ mm
- profiloituneen osuuden tunkeumasyyvyys $l_{ef} \geq 8 d$
- naulalle ilmoitettu ulosvetolujuuden ominaisarvo sahatavaran lujuusluokassa C24 $f_{ax,k} \geq 6$ N/mm²

Pituussuunnassa kuormitetut itseporautuvat ruuvit

Ulosvetokestävyyden:

Itseporautuvien ruuvien ulosvetokestävyyden ominaisarvo lasketaan CLT:n lape- ja syrjäliitoksissa kaavalla:

$$R_{ax,k} = \mathring{a} \prod_{i=1}^n f_{ax,i,k} \times l_{ef,i} \times d \quad [N]$$

missä

- d = ruuvin nimellishalkaisija, joka on lapeliitoksissa vähintään 6 mm ja syrjäliitoksissa vähintään 8 mm
- $f_{ax,i,k}$ = ruuvien ulosvetolujuuden ominaisarvo sahatavaran lujuusluokan C24 mukaan riippuen ruuvien akselin ja puun syysuunnan välisestä kulmasta lamellikerroksessa i
- $l_{ef,i}$ = ruuvien kierteisen osan tartuntapituus lamellikerroksessa i
- n = ruuvien kierteisellä osalla olevien lamellikerrosten lukumäärä

Seuraavien ehtojen tulee toteutua:

- ruuvien tartuntapituus $l_{ef,i} \geq 4 d$
- ruuvien pituussuunnan ja puun syysuunnan välinen kulma $\alpha \geq 30^\circ$
- ruuvit, jotka ovat yhdensuuntaisia CLT:n lapepinnan kanssa, tulee asentaa siten, että ne ovat aina kokonaan yhdessä lamellikerroksessa (ruuvi ei saa olla lamellikerrosten saumassa).

Ruuvien kannan läpivetojuuutena CLT:ssä voidaan käyttää sahatavaran lujuusluokan C24 mukaista arvoa.

4. Muut suunnitteluparametrit

Eurokoodien kansallisissa liitteissä annetaan kansallisesta varmuustasovaatimuksesta ja paikallisista olosuhteista riippuvien parametrien arvot. VTT suosittelee, että EN 1995-1-1 suunnittelustandardin Suomen kansallisessa liitteessä annettuja materiaaliakohtaisia parametreja sovellettaisiin CLT:lle seuraavasti:

- materiaalin osavarmuusluku $g_M = 1,25$ (sama kuin liimapuulla)
- leikkausmitoituksen halkeilukerroin $k_{cr} = 1,0$ (sama kuin puulevyillä)
- alkukaarevuudesta johtuva poikittaisjäykistyksen muunnoskerroin $k_{f,2} = 80$ (sama kuin liimapuulla ja LVL:llä)
- lohkeamismurron mitoituskäävassa (A.1) leikkauslujuutena $f_{v,k}$ käytetään CLT:n tasoleikkauslujuutta $f_{R,k}$ (vastaavasti kuin LVL:llä)

Muiden materiaaliakohtaisten suunnitteluparametrien osalta käytetään tässä lausunnossa CrossLam Kuhmo CLT:lle ehdotettuja arvoja ja laskentaohjeita tai jos niitä ei ole esitetty sovelletaan Eurokoodi 5:ttä seuraavin täydennyksin

- lappeellaan kuormitetun CLT -laatan virumalukuna k_{def} käytetään vanerille annettuja arvoja (kuten ristiinviilutetulla LVL:llä)
- nurjahdusmitoituksessa käytettävälle käyritysmätoleransseista riippuvalle kertoimelle b_c voidaan käyttää liimapuulle ja LVL:lle annettua arvoa 0,1
- suorakaiteen muotoiselle havupuupalkille annettu kriittisen taivutusjännityksen $s_{m,crit}$ laskentakaava (6.32) ei päde CLT:lle
- laattapalkeissa CLT -laipan tehollinen leveys määritetään taulukossa 9.1 vanerille esitettyjen sääntöjen mukaan pintaviilun syysuunnan vastatessa ulkolamellin syysuuntaa
- puristusvoiman kuormittaman poikittaistuettavan CLT -rakenneosan alkupoikkeama tukien välillä tulee rajoittaa liimapuun- ja LVL-sauvoille annettuun arvoon $a/500$, jossa a on kenttävälin pituus (ks. EC5 kohta 9.2.5.2(1) ja kuva 9.9)
- alkukäyryys mitattuna tukien puolivälin kohdalta tulee poikittaiselle epästabiiliudelle alttiissa puristetussa CLT-rakenneosissa rajoittaa liimapuun- ja LVL-sauvoja vastaavasti arvoon $1/500$ rakenneosan pituudesta (vrt. EC5 kohta 10.2(1))

Huomautettakoon, että tämä lausunto ei koske Eurokoodi 5 sovellusohjeiden, kuten RIL 205-1-2017 ohjeen, käyttämistä CLT rakenteiden mitoittamisessa. Kaikki sovellusohjeissa esitetyt eurokoodi -mitoitussääntöjen yksinkertaistukset, tulkinnat ja lisäohjeet eivät päde CLT:lle eikä niitä pidä ilman erilliselvityksiä käyttää massiivipuulevyrakenteiden suunnittelussa.

Yhteenveto

Tässä asiantuntijalausunnossa on määritetty kantavissa rakenteissa käytettävälle CrossLam Kuhmo CLT:lle hyväksyttävänä pidettävät mekaaniset ominaisuudet ja mitoitusperusteet VTT:n tuotesertifikaattia varten. Olennaiset lujuus- ja jäykkyysominaisuudet perustuvat VTT Expert Services Oy:n tekemiin CLT-levyjen ja -laattojen murtokuormituskokeisiin. Ehdotetut liitosmitoitushjeet perustuvat

kirjallisuuslähteissä julkaistuihin raollista CLT:tä koskeviin kokeellisesti varmennettuihin liitosmitoitussuosituksiin. Tuotteen valmistuksen alkutestaukseen kuuluvat sormijatkos- ja delaminointikokeet on raportoitu testausselesteissa VTT-S-05325-14 ja VTT-S-05665-14.

Tämä lausunto on voimassa toistaiseksi, kuitenkin enintään 31.10.2022 asti.

Espoo, 24.10.2017

Ari Kevarinmäki
Johtava asiantuntija

Jakelu

Tilaaaja
VTT Expert Services Oy / Arkisto
VTT Expert Services Oy / Sertifiointi

Alkuperäinen, sähköisesti allekirjoitettu
Alkuperäinen
Kopio