

Janne Hyttinen

# **LVL:N VALMISTAJAKOHTAISET EROT MITOITUKSEN SUHTEEN**

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastaja: Henri Salonen  
Tarkastaja: Sami Pajunen  
Tammikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Janne Hyttinen: LVL:n valmistajakohtaiset erot mitoituksen suhteen  
Kandidaatintyö Differences between LVL manufacturers regarding sizing  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan kandidaattiohjelma  
Tammikuu 2021

---

LVL on insinööripuutuote, jota voidaan käyttää kantavana rakenteena pientalojen lisäksi myös isommissa hankkeissa. Tämän työn tavoitteena oli tarkastella suomalaisten LVL-valmistajien tuotteita ja etsiä mahdollisia mitoituksen kannalta olennaisia eroja. Tämän vertailun avuksi määriteltiin myös LVL:n yleiset lujuusluokat. Tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimuksena, jossa olennaisia lähteitä olivat valmistajien tuotetiedot sekä LVL:stä yleisesti saatavilla oleva kirjallisuus.

Työn alkuosassa kerrottiin LVL:stä yleisellä tasolla. Käsiteltyjä asioita olivat sen koostumus, valmistus, perusominaisuudet sekä yleiset käyttökohteet. Lisäksi esiteltiin LVL:n harmonisoitu tuotestandardi SFS-EN 14374, jossa määritellään materiaalia koskevat vaatimukset, testaus- ja arviointimenetelmät sekä CE-merkintä. Lopuksi esiteltiin LVL:n yleiset lujuusluokat, jotka sisältävät tuotteilta vaaditut lujuus-, jäykkyys- ja tiheysarvot.

Työn seuraavassa osassa esiteltiin suomalaisten valmistajien LVL-tuotteet ja verrattiin niitä edellä mainittuihin yleisiin lujuusluokkiin. Suomessa LVL:ää valmistavat Metsä Wood ja Stora Enso, joiden molempien tuotteiden ilmoitettuja ominaisuuksia verrattiin yleisiin vaatimuksiin. Lopputuloksena havaittiin, että valmistajien tuotteet olivat standardinmukaisia, ja niiden materiaaliominaisuuksille löytyi vastineet yleisistä lujuusluokista.

Seuraavassa osassa verrattiin valmistajia toisiinsa. Verrattavia asioita olivat LVL-tuotevalikoima, saatavilla olevat lujuusluokat ja standardikoot sekä jatkokäsittelymahdollisuudet. Eryityspaino vertailussa annettiin tuotteiden lujuus-, jäykkyys- ja tiheysarvoille, sillä ne olivat rakenteiden mitoituksen kannalta olennaisimmat asiat. Vertailun tuloksena oli, että molempien valmistajien tuotevalikoimasta löytyi toisiaan vastaavat, mitoitusominaisuuksiltaan ja lujuusluokiltaan lähes identtiset tuotteet. Ainoa merkittävä ero oli, että Metsä Woodilla oli Stora Ensoa suurempi valikoima eri lujuusluokkia sekä jatkokäsittelymahdollisuuksia.

Molemmilla valmistajilla on saatavilla oma mitoitushjelmistonsa, jonka avulla heidän LVL-tuotteitaan voi mitoittaa. Työn lopussa molempien ohjelmien toimintaa esiteltiin yksinkertaisen mitoitusesimerkin avulla.

Avainsanat: LVL, lujuusluokka, mitoitus, materiaaliominaisuudet

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. LVL RAKENNUSMATERIAALINA.....	2
2.1 Koostumus.....	2
2.2 Perusominaisuudet ja käyttökohteet.....	3
2.3 Valmistus .....	4
2.4 Tuotestandardi .....	5
2.5 Lujusluokat.....	6
3. LVL-VALMISTAJIEN TUOTTEET .....	11
3.1 Metsä Wood.....	11
3.1.1 Tuotevalikoima.....	11
3.1.2 Ominaisuuksien vertailu standardeihin.....	13
3.2 Stora Enso .....	19
3.2.1 Tuotevalikoima.....	19
3.2.2 Ominaisuuksien vertailu standardeihin.....	20
4. VALMISTAJIEN VERTAILU KESKENÄÄN.....	24
4.1 Tuotevalikoima.....	24
4.2 Lujus- jäykkyys- ja tiheysarvot.....	25
5. LVL:N MITOITUSOHJELMAT .....	29
5.1 Finnwood .....	30
5.2 Calculatis .....	31
6. YHTEENVETO.....	34
LÄHTEET .....	35
LIITE A: LUJUUSLUOKKATAULUKOT .....	38
LIITE B: FINNWOOD-OHJELMAN TULOSTE.....	40
LIITE C: CALCULATIS-OHJELMAN TULOSTE .....	45

# 1. JOHDANTO

Puu on yksi maailman vanhimmista rakennusmateriaaleista, mutta nykyajan suurissa rakennuksissa sen käyttö oli pitkään vähäistä. Rakennusten kasvaessa isommiksi ja jännemittojen pidentyessä tavallinen sahatavara ei enää riittänyt kannattelemaan rakenteita. Nykyään kuitenkin ilmastotietoisuuden lisääntyessä ja kiertotalouden suosion kasvaessa puurakentamisesta on jälleen kiinnostuttu. Puusta on nykyajan tekniikalla ja tietotaidolla pystytty kehittämään niin sanottuja insinööripuu-tuotteita, jotka poistavat sen luonnollisia epätäydellisyyksiä rakennusmateriaalina ja mahdollistavat suurempien rakenteiden tekemisen. Yksi näistä uusista tuotteista on LVL (laminated veneer lumber).

LVL (tunnetaan myös nimillä kertopuu ja viilupuu) on nimensä mukaisesti materiaali, joka koostuu useista yhteen liimatuista puuviiluista. Puurakennusalalla LVL:stä on pitkään käytetty monenlaisia eri nimikkeitä, ja mitoituksessa oli luotettava lähinnä valmistajien omiin tietoihin. Kokonaiskuvaa tuotteiden eri lujuusluokista ja ominaisuuksista valmistajien välillä oli vaikea hahmottaa. Vasta 2010-luvun lopulla, puurakentamisen ollessa nousussa, on pyritty luomaan yhtenäistä termistöä LVL-tuotteille mitoituksen helpottamiseksi.

Tässä tutkimuksessa perehdytään LVL:ään ensin yleisellä tasolla, jonka jälkeen keskitytään suomalaisten LVL-valmistajien tuotteisiin. Suomessa on 2 merkittävää LVL-tuotteiden valmistajaa, Metsä Wood ja Stora Enso. Tutkimuksen päätavoitteena on vertailla valmistajien tuotteita keskenään, löytää niistä yhtenäisyydet ja eroavaisuudet, ja selvittää, onko tuotteen valinnalla merkitystä mitoitusyössä. Vertailun avuksi tutkimuksessa määritellään myös LVL:n yleiset standardit, erityisesti mitoituksen kannalta olennaiset ominaisuudet ja merkinnät. Lopuksi tarkastellaan valmistajien tarjoamia mitoitusohjelmia, joiden avulla LVL-rakenteita voi suunnitella.

Tutkimus rajataan suomalaisiin LVL-valmistajiin sekä Suomessa voimassa oleviin mitoitusohjeisiin. Valmistajien tuotannon suuruudesta, markkinaosuuksista tai hinnastosta ei työssä kerrota, vaan keskitytään itse tuotteiden ominaisuuksiin. LVL:n rakennusfyysisiä ominaisuuksia ei myöskään käsitellä, vaan vertailu rajataan tuotteiden lujuus-, jäykkyys- ja tiheysarvoihin. Tutkimus toteutetaan kirjallisuustutkimuksena, jossa pääasiallisina lähteinä käytetään valmistajien tuotetietoja sekä alan kirjallisuutta.

## 2. LVL RAKENNUSMATERIAALINA

### 2.1 Koostumus

LVL on insinööripuutuote, joka valmistetaan useasta 3 mm paksuisesta puuviilusta. Yleisin materiaali tuotteen valmistukseen on havupuu, Suomessa erityisesti kuusi ja mänty. Yksittäiset viilut liimataan toisiinsa kiinni fenolipohjaisella liimalla korkeissa lämpötiloissa, jolloin saadaan yhtenäinen puutuote, jota voidaan leikata haluttuun pituuteen (Hakkarainen 2019, s.9). Suomessa LVL:n valmistustekniikka mahdollistaa 2,5 metriä leveiden ja 25 metriä pitkien tuotteiden valmistuksen (Puuinfo 2020).

LVL-tuotteet voidaan yleisesti jakaa kahteen lajiin kuvan 1 mukaisesti: LVL-P, jossa kaikki viilut on liimattu syiden suuntaisesti, sekä LVL-C, jossa osa viiluista liimataan kohtisuoraan pintaviiluja vastaan. LVL-P on vahva ja jäykkä materiaali, ja sitä voidaan käyttää muun muassa kantavissa palkki- ja pilarirakenteissa. LVL-C:llä on sen ristiinliimattujen viilujen vuoksi alempi kestävyys syiden suuntaan, mutta se on vahvempaa ja jäykempää pintaviilujen syitä kohtisuoraan suuntaan. Se soveltuu hyvin muun muassa erilaisiin laatta- sekä paneelirakenteisiin. (Hakkarainen 2019, s. 10-11)



**Kuva 1:** Vasemmalla LVL-C, oikealla LVL-P (Puuinfo 2020)

LVL-tuotteiden paksuus riippuu siitä, kuinka monta viilua on liimattu yhteen. Useimmissa rakenteissa viilujen määrä on 8-25 kpl, jolloin paksuus on välillä 24-75 mm. LVL-C-tuotteissa noin 20 % viiluista on liimattu kohtisuoraan muita vastaan (Hakkarainen 2019, s. 11). Taulukossa 1 on esitetty eripaksuisten tuotteiden viilujen määrät, sekä niiden asetelu kerroksittain. LVL:ää on helppo leikata, joten kokoja on mahdollista myös kustomoida. LVL-P-palkkien paksuuden ja korkeuden standardisuhde on rajoitettu 1:8:aan,

jotta normaaleista kosteusolosuhteista johtuvat muodonmuutokset eivät nouse haitalliseksi. LVL-C-tuotteilla tätä rajoitusta ei ole, sillä niiden kohtisuorat viilut estävät sen dimensioiden kosteusmuodonmuutoksia. (Hakkarainen 2019, s.39)

**Taulukko 1:** LVL-tuotteiden standardipaksuudet ja yksittäisten viilujen asetelut (Hakkarainen 2019, s.39)

Thickness [mm]	Number of veneers	Layup of LVL-P	Layup of LVL-C	Number of cross veneers in LVL-C
24	8		II-II-II	2
27	9		II-III-II	2
30	10		II-III-II	2
33	11		II-III-II	2
39	13		II-III-III-II	3
42	14			-
45	15		II-III-III-II	3
48	16			-
51	17		II-III-III-II	3
57	19		II-III-III-III-II	4
63	21		II-III-III-III-II	5
69	23		II-III-III-III-II	5
75	25		II-III-III-III-II	5

Tarpeen vaatiessa LVL-palkkeja ja -laattoja voidaan liimata yhteen, jolloin saadaan standardituotteita paksumpia kokoja. Näitä kutsutaan nimellä GLVL. Valmistusprosessi GLVL-tuotteille ei ole yhtä tehokas kuin standardikoille, ja niiden saatavuus tarkastetaan joka kohteelle tapauskohtaisesti.

## 2.2 Perusominaisuudet ja käyttökohteet

LVL-tuotteiden valmistus on tavalliseen sahatavaraan verrattuna kalliimpaa, mutta sen käyttämisellä on monia etuja. Sen laminoitu koostumus antaa sille hyvin tasaiset materiaaliominaisuudet. Yksittäisten viilujen luonnolliset epätäydellisyydet, kuten oksakohdat, häviävät laminoinnin seurauksena, joten materiaalin kestävyys pysyy tasaisena sen joka kohdassa. Luonnollisten heikkouksien eliminoinnin lisäksi LVL kuitenkin säilyttää puurakenteiden luontaiset edut, kuten helpon käsiteltävyyden, keveyden sekä ympäristöystävällisyyden. Suomessa käytettävä puumateriaali on täysin jäljitettävää ja uusiutuvaa Euroopan Unionin puutavara-asetuksen (EU 995/2010) mukaisesti. (Hakkarainen 2019, s.9)

Tehdasvalmistuksen ansiosta LVL voidaan valmistaa juuri haluttuihin dimensioihin, mikä vähentää turhan sahausjätteen syntymistä ja helpottaa sen asennustyötä. Alkuperäisen

tukin koko ei ole este. Tehdasvalmistus myös lyhentää rakennusaikaa. Tehtaalta tuleva tuote on kuivattu 8-10 % kosteuteen, mikä on lähellä käyttöluokan 1 lopullista kosteusarvoa (Hakkarainen 2019, s.9). Säältä suojatussa ympäristössä tuotteen kosteudesta johtuvat dimensioiden muutokset ovat siis vähäisiä. LVL:n käsittely työmaalla ei vaadi erikoiskalustoa, vaan sitä voidaan työstää tavallisilla puutyökaluilla. (Hakkarainen 2019, s.9)

LVL:ää voidaan käyttää kaikissa tavanomaisissa rakenteissa, sekä kantavana että ei-kantavana rakenteena. Yleisiä käyttökohteita ovat muun muassa pientalot, kerrostalot sekä hallit. Kapeampia LVL-P-tuotteita käytetään usein palkki- pilari- ja ristikkorakenteissa, kun taas leveämpiä LVL-C-tuotteita käytetään pysty- sekä vaakasuuntaisissa laatoissa ja paneeleissa kuormaa siirtävinä tai jäykistävinä rakenteina. Helpon työstettävyyden vuoksi materiaalista voi tehdä myös erikoisempia rakenteita, kuten kuvassa 2. Kantavien ja ei-kantavien rakenteiden lisäksi sitä voidaan käyttää työmaalla muihinkin tarkoituksiin, esimerkiksi telineisiin, betonivalun muotteihin tai ovi- ja ikkunakarmeihin. Koska LVL valmistetaan tehtaassa, siitä voidaan tehdä valmiita työmaille tuotavia elementtejä. Sitä on helppo käyttää myös osana muita rakenteita, esimerkiksi kattoelementeissä. (Hakkarainen 2019, s. 10-11)



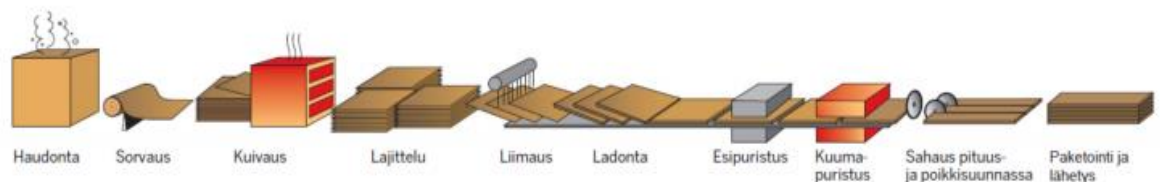
**Kuva 2:** Dome of Visions 3.0, Aarhus, Tanska (Metsä Wood 2017a)

## 2.3 Valmistus

Valmistusprosessin alussa tehtaalle tuodut tukit kastellaan vedellä, jonka avulla poistetaan tuholaiset sekä vältetään tukin kuivumista ja halkeilua (Metsä Wood 2017b). Sen

jälkeen tukit katkaistaan linjastolle sopivaan mittaan, jonka jälkeen ne sorvataan ohueksi, tyypillisesti 3 mm viilumatoksi. Viilumatto leikataan arkeiksi, jotka kuivataan liimaamiselle sopivaan kosteuteen (alle 5 %). Kuivatut arkit analysoidaan koneellisesti, ja niistä mitataan kosteus, tiheys ja lujuus. Analysoinnin tuloksena arkit lajitellaan visuaalisen laadun ja lujuuden perusteella. (Hakkarainen 2019, s. 30)

Prosessin seuraavassa vaiheessa viilut liimataan yhteen. Liimana käytetään tyypillisesti säänkestävää fenoliformaldehydiä, joka sekoitetaan paikan päällä (Hakkarainen 2019, s. 31). Viilut ladotaan päällekkäin jatkuvaksi aihiksi, joka sen jälkeen kulkee esipuristuksen ja kuumapuristuksen läpi. Esipuristuksessa viilut painetaan tiukasti yhteen, jolloin liima leviää tasaisesti viilujen välille, ja kuumapuristuksessa liimasaumat kovettuvat (Hakkarainen 2019, s.32). Lopuksi aihio katkaistaan ja sahataan haluttuihin mittoihin, ja tuote on valmis joko jälkikäsiteltäväksi tai pakattavaksi sellaisenaan. LVL:n valmistusprosessi kokonaisuudessaan on esitetty kuvassa 3.



**Kuva 3:** LVL:n valmistusprosessi vaiheittain (Metsä Wood 2017b)

## 2.4 Tuotestandardi

Suomessa käytettävälle LVL:lle on voimassa eurooppalainen harmonisoitu tuotestandardi SFS-EN 14374:2004. Se määrittelee rakenteissa käytettävää LVL:ää koskevat vaatimukset. Lisäksi asiakirjassa esitetään materiaalin testausmenetelmät sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenetelmät. Standardi määrittelee myös LVL-tuotteiden CE-merkinnän, joka kaikista rakentamisessa käytetyistä materiaaleista tulee löytyä. CE-merkinnästä on löydettävä tiedot muun muassa valmistajasta, tuotteen suunnittelusta käytöstä sekä tiedot sen merkityksellisistä olennaisista ominaisuuksista (SFS-EN 14374:2004). Kuvassa 4 on esimerkki LVL-tuotteen CE-merkinnästä ja siihen vaadittavista tiedoista.

<b>CE</b>	
01234	
<b>LVL Company Ltd, PL 12, IS-1234</b>	
03	
01234-CPD-3210	
EN 14374	
Rakenteellinen viilupuu (LVL), tiheys 450 kg/m <sup>3</sup> , tarkoitettu rakennuksiin ja siltoihin	
Taivutuslujuus:	
Syrjällään	40 N/mm <sup>2</sup>
Kokoparametri	0,15
Lappeellaan	40 N/mm <sup>2</sup>
Vetolujuus:	
Syysuuntaan	30 N/mm <sup>2</sup>
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan, syrjällään	NPD
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan, lappeellaan	NPD
Puristuslujuus:	
Syysuuntaan	30 N/mm <sup>2</sup>
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan, poikittain	5 N/mm <sup>2</sup>
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan, lappeellaan	3 N/mm <sup>2</sup>
Leikkauslujuus:	
Syrjällään	5 N/mm <sup>2</sup>
Lappeellaan	4 N/mm <sup>2</sup>
Taivutuskimmokerroin:	
Syysuuntaan (keskiarvo)	11 000 N/mm <sup>2</sup>
Syysuuntaan (5 %:n fraktiiliarvo)	9 000 N/mm <sup>2</sup>
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan, syrjällään (keskiarvo)	NPD
Kohtisuoraan syysuuntaa vastaan, lappeellaan (keskiarvo)	NPD
Liukukerroin:	
Syrjällään (keskiarvo)	600 N/mm <sup>2</sup>
Lappeellaan (keskiarvo)	400 N/mm <sup>2</sup>
Palokäyttätymisluokka	D-s1,d0
Formaldehydipäästöluokka	E1
Pitkäaikaiskestävyysluokka	4

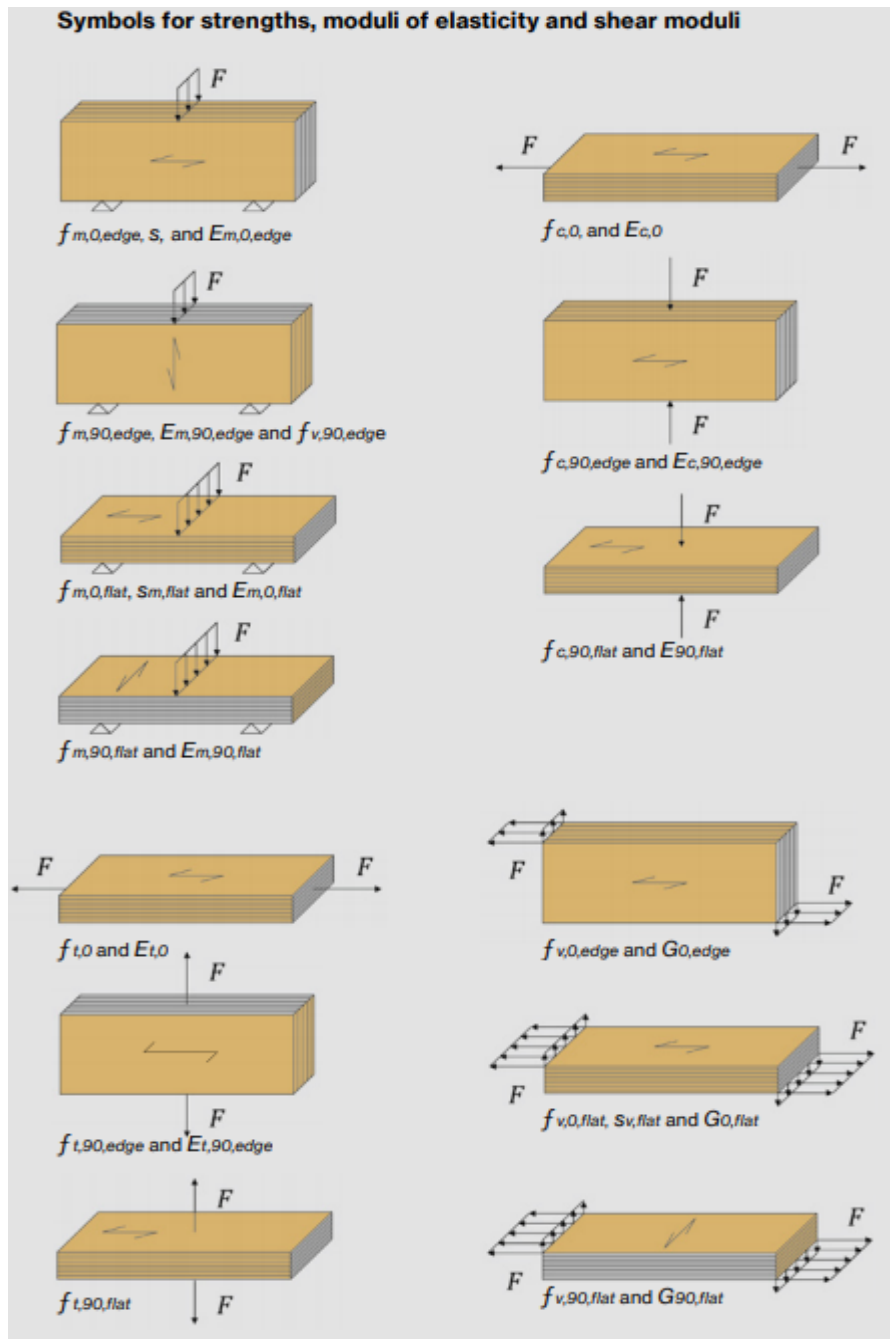
**Kuva 4:** Esimerkki LVL-tuotteen CE-merkinnästä (SFS-EN 14374:2004)

Tuotestandardin nykyinen voimassa oleva versio on vuodelta 2004, ja puurakentamisen suosion kasvamisen myötä siitä ollaan tekemässä päivitettyä versiota. Uudessa versiossa tullaan määrittelemään edellä mainittujen asioiden lisäksi muun muassa yksityiskohtaisemmat LVL-tuotekategoriat. Tämän tutkimuksen aikana vuonna 2020 standardin kehitys on vielä kesken, eikä uuden standardin lausuntoversiota olla julkaistu. Tässä työssä sitä ei siis kokonaisuudessaan pystytä käsittelemään.

## 2.5 Lujuusluokat

Syyskuussa 2019 julkaistussa LVL Bulletin-lehtisessä (Puutuoteteollisuus, 2019) esitellään LVL-tuotteiden päivitettyt lujuusluokat. Nämä samat luokat tulevat olemaan myös tuotestandardin EN 14374 päivitettyssä versiossa. Lujuusluokkiin sisältyvät materiaalin

taivutus-, jännitys-, puristus- ja leikkauslujuudet, kimmo- ja leikkausmoduulit sekä tiheysarvot. Selitykset lujuusluokkataulukoissa esiintyville merkinnöille löytyvät kuvasta 5. Suureiden alaindekseissä  $0$  tarkoittaa syiden suuntaista ja  $90$  syitä vastaan kohtisuoraa kuormitusta. Alaindeksi *edge* tarkoittaa syrjää ja *flat* tarkoittaa lapetta.



**Kuva 5:** Lujuusmerkintöjen selitykset (Puutuoteteollisuus 2019)

Materiaalien erilaisen koostumuksen perusteella lujuusluokat on jaettu erikseen LVL-P -kategoriaan ja LVL-C -kategoriaan (Puutuoteteollisuus 2019). Lujuusluokat eivät aina määrittele täsmällisesti tietyn suureen vaadittua arvoa, vaan osa jätetään valmistajien itsensä ilmoitettavaksi. Arvot pysyvät samana kaikissa käyttöluokissa lukuunottamatta syiden suuntaista puristuslujuutta  $f_{c,0,k}$ , jonka arvo laskee mentäessä käyttöluokasta 1 (SC1) käyttöluokkaan 2 (SC2). Taulukkoon 2 on koottu LVL-P-tuotteiden lujuusluokat.

**Taulukko 2:** Lujuusluokat LVL-P:lle (Perustuu lähteeseen Puutuoteteollisuus 2019)

		Lujuusluokka					
	Symboli	Yksikkö	LVL 32 P	LVL 35 P	LVL 48 P	LVL 50 P	LVL 80 P
	$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	27	30	44	46	75
	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	32	35	48	50	80
Taivutuslujuus	$s$		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	22	35	36	60
Vetolujuus	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,8	0,9	1,5
(SC1)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	26	30	35	42	69
(SC2)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	21	25	29	35	57
	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	6	6	8,5	14
Puristuslujuus	$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,8	2,2	2,2	3,5	12
	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	3,2	3,2	4,2	4,8	8
Leikkauslujuus	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2,0	2,3	2,3	3,2	8
	$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	9600	12000	13800	15200	16800
	$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8000	10000	11600	12600	14900
	$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	430	430	470
Kimmomoduuli	$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	350	350	400
	$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	500	600	650	760
	$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	300	350	400	450	630
	$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	320	380	380	600	850
Leikkausmoduuli	$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	240	270	270	400	760
	$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	510	510	580	800
Tiheys	$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	480	480	550	730

\* Valmistajien itse antamat arvot

Kuten taulukosta huomataan, on lujuusluokat nimetty niiden lappeen syiden suuntaisen taivutuslujuuden  $f_{m,o,flat,k}$  mukaan. Lujuusluokat LVL-P-tuotteille pienimmästä suurimpaan ovat LVL 32 P, 35 P, 48 P, 50 P ja 80 P. Osalle lujuus- ja jäykkyysominaisuuksista on määritelty sekä keskiarvo (alaindeksi *mean*) että ominaisarvo (alaindeksi *k*). Lujuusluokissa kerrotaan myös tuotteiden kokovaikutuskerroin *s*, jota käytetään taivutuslujuuden laskennassa Eurokoodi 5:n mukaisesti (SFS-EN 1995-1-1, s. 30).

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 3 on esitetty LVL-C-tuotteiden vastaavat lujuusluokat. Ristiinliimattujen viilujen vuoksi LVL-C ei ole yhtä vahvaa syiden suuntaan kuin LVL-P, mutta se on vahvempaa pinnan syitä kohtisuoraan suuntaan (Hakkarainen 2019, s.39). LVL-C -tuotteita käytettäessä syitä vastaan kohtisuora lujuus on usein tärkeä tekijä mitoituksessa, joten tämän kategorian lujuusluokkiin sisältyy enemmän syiden vastaisia lujuuksia (alaindeksi 90). Lujuusluokat tässä kategoriassa ovat LVL 22 C, 25 C, 32 C, 36 C, 70 C ja 75 C.

**Taulukko 3:** Lujuusluokat LVL-C:lle (Perustuu lähteeseen Puutuoteteollisuus 2019)

Lujuusluokka							
Symboli	Yksikkö	LVL 22 C	LVL 25 C	LVL 32 C	LVL 36 C	LVL 70 C	LVL 75 C
$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	19	20	28	32	54	60
$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	25	32	36	70	75
$s$		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
$f_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	7	8	32	20
$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	14	15	18	22	45	51
$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	4	5	5	16	8
$f_{c,0,k}$	(SC1) N/mm <sup>2</sup>	18	18	18	26	54	64
$f_{c,0,k}$	(SC2) N/mm <sup>2</sup>	15	15	15	21	45	53
$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8	8	9	9	45	23
$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1	1	2.2	2.2	16	16
$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	3,6	3,6	4,5	4,5	7,8	7,8
$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1,1	1,1	1,3	1,3	3,8	3,8
$f_{v,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	0,6	0,6	*	*
$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	6700	7200	10000	10500	11800	13200
$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	5500	6000	8300	8800	10900	12200
$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	2400	2400	*	*
$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	2000	2000	*	*
$E_{m,90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	1200	200	*	*
$E_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	1000	1700	*	*
$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	500	600	600	820	820
$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	300	300	400	400	660	660
$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	70	70	80	120	430	430
$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	55	55	60	100	380	380
$G_{90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	22	22	*	*
$G_{90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	16	16	*	*
$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	440	510	510	800	800
$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	410	480	480	730	730

## 3. LVL-VALMISTAJIEN TUOTTEET

Euroopassa on yhteensä 7 tehdasta, jotka valmistavat rakenteissa käytettävää LVL:ää. Eurooppalaisia valmistajia ovat suomalaiset Metsä Wood ja Stora Enso, ruotsalainen MLT, saksalaiset Steico ja Pollmeier sekä venäläinen LVL-Ugra. Muita merkittäviä LVL:n valmistajia löytyy Pohjois-Amerikasta, Aasiasta ja Australiasta. (Hakkarainen 2019, s. 18-19). Moni ulkomainen valmistaja myy tuotteitaan myös Suomeen, mutta tässä työssä tarkastelu rajataan vain suomalaisten yritysten tuotteisiin.

### 3.1 Metsä Wood

#### 3.1.1 Tuotevalikoima

Metsä Woodin LVL-tuote on nimeltään Kerto® LVL. Tuotteet valmistetaan suomalaisesta kuusesta ja männystä. Suomessa Metsä Woodilla on 2 LVL:ää valmistavaa tehdasta, Lohjalla ja Punkaharjulla. Yrityksen tuotevalikoimasta löytyy sekä LVL-P- että LVL-C-kategoriaan kuuluvia tuotteita. Tuotteita on saatavana standardikoissa, joiden lisäksi niitä voi tilauksesta valmistaa myös kustomoiduissa mitoissa. (Metsä Wood 2017c)

#### **Kerto® LVL S-beam**

LVL-P -luokkaan kuuluva tuote, jossa kaikki viilut on liimattu samansuuntaisesti. Metsä Woodin mukaan tuote soveltuu kantaviksi palkeiksi niin puurunkoihin kuin kiviainesrunkoihin rakennuksiin, muun muassa alapohja- välipohja-, aukko-, katto-, ja tukipalkeiksi. S-palkkia (kuvassa 6) on saatavana 27...75 mm:n paksuna ja 200...600 mm:n korkuisena. Maksimipituus palkille on 25 m. (Metsä Wood 2020a).



**Kuva 6:** Kerto® LVL S-beam (Metsä Wood 2020a)

### **Kerto® LVL Q-panel ja L-panel**

Q- ja L-paneeleissa noin viidennes viiluista on liimattu poikittain, joten ne kuuluvat LVL-C-kategorian tuotteisiin. Ristiviiluilla lisätään tuotteen poikittaista lujuutta ja jäykkyyttä. Q-paneeli on Metsä Woodin mukaan tarkoitettu kantaviin ja jäykistäviin katto-, lattia- ja seinälevyihin. Sitä voidaan myös käyttää palkkina kohteissa, joissa tarvitaan hyvää poikittaista vetolujuutta. Q-paneelia (kuvassa 7) toimitetaan 200...2500 mm levyisenä. Paksuus vaihtelee välillä 21...69 mm. (Metsä Wood 2020b)



**Kuva 7:** Kerto® LVL Q-panel ja L-panel (Metsä Wood 2020b)

Kerto® L-paneeli on Q-paneelin kevyempi versio. Se soveltuu pääasiassa kevyisiin ja ei-kantaviin rakenteisiin. Yleisiä käyttökohteita ovat muun muassa väliseinät, huonekalut, ovet ja ikkunankarmit. Tuotteen mitat vaihtelevat 200...2500 mm leveyden ja 21...69 mm paksuuden välillä. (Metsä Wood 2020b)

### **Kerto® LVL T-stud**

T-stud-rakenteessa (kuvassa 8) kaikkien viilukerrostojen syysuunta on pitkittäinen. Metsä Woodin mukaan tuote soveltuu hyvin pilarirakenteisiin, sekä ulko- ja väliseinien kantaviin runkotolpaksi että keveiden seinien seinärangaksi. T-studin vakiopituudet vaihtelevat 2550...6000 mm välillä, ja jälleenmyyjien varastokoot ovat 36x66 sekä 39x92 mm. (Metsä Wood 2020c)



**Kuva 8:** Kerto® LVL T-stud (Metsä Wood 2020c)

### **Kerto® LVL QP-beam**

QP-beam (kuvassa 9) on erityisesti kattorakenteisiin suunniteltu tuote, jossa on 2 poikittaista viilukerrosta suoruuden ja stabiiliuden lisäämiseksi. Ristiviilujen ansiosta QP-palkki voidaan valmistaa korkeampana ja hoikempuna kuin S-beam. QP-palkkia voidaan käyttää sekä uudis- että korjauskohteiden kattorakenteissa. Palkkia on saatavilla 20m pituuteen saakka, vakiomitoilla 42x500, 51x620 ja 63x830 mm. (Metsä Wood 2020d)



**Kuva 9:** Kerto® LVL QP-beam (Metsä Wood 2020d)

### **3.1.2 Ominaisuuksien vertailu standardeihin**

Metsä Woodin mukaan kaikille Kerto® -tuotteilla on LVL:n harmonisoidun standardin SFS-EN 14374 mukainen CE-merkintä. Vertaamalla tuotteiden ilmoitettuja lujuus- ja jäykkyyssarvoja huomataan, että lähes kaikille tuotteille löytyy vastineet yleisistä lujuusluokista. Kaikki Metsä Woodin ilmoittamat arvot joko vastaavat standardissa määritellyjä

arvoja tai ylittävät ne. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty rinnakkain Kerto®-tuotteiden lujuus-, jäykkyys- ja tiheysarvot sekä niitä vastaavat, taulukoista 2 ja 3 löytyvät LVL:n yleiset lujuusluokat. Metsä Woodin tuotteiden tiedot on saatu niiden viimeisimmistä suoritustasoilmoituksista vuodelta 2019. Tuotteiden ja lujuusluokkien väliltä löytyvät eroavaisuudet on alleviivattu.

**Taulukko 4:** LVL-P -luokan tuotteiden lujuus- ja jäykkyysarvojen vertailu (Perustuu lähteisiin Puu-tuoteteollisuus 2019; Metsä Wood 2019a; Metsä Wood 2019b)

			LVL 32 P	LVL 48 P	Kerto® T	Kerto® S
	$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	27	44	27	44
	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	32	<u>48</u>	32	<u>50</u>
Taivutuslujuus	$s$		0,15	<u>0,15</u>	0,15	<u>0,12</u>
	$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	35	22	35
Jännituslujuus	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,5	0,8	NPD*	0,8
(SC1)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	26	35	26	35
(SC2)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	21	29	21	29
	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	6	4	6
Puristuslujuus	$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,8	2,2	0,8	2,2
	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>3,2</u>	4,2	<u>3,6</u>	4,2
Leikkauslujuus	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2,0	2,3	2,0	2,3
	$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	9600	13800	9600	13800
	$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8000	11600	8000	11600
	$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	430	NPD	430
Kimmomoduuli	$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	350	NPD	NPD
	$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	600	500	600
	$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	300	400	330	400
	$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	320	380	320	380
Liukumoduuli	$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	240	270	240	270
	$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	510	440	510
Tiheys	$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	480	410	480

\*NPD = No performance determined

LVL-P -luokan tuotteita vertaamalla huomataan, että Kerto® S vastaa yleistä lujuusluokkaa 48 P, ja Kerto® T luokkaa 32 P. Kevyempi, kantavien seinien runkotolpaksi sekä keveiden seinien seinärangaksi tarkoitettu T-stud on ominaisuuksiltaan täysin sama kuin standardi lukuunottamatta syiden suuntaista syrjän leikkauslujuutta  $f_{v,o,edge,k}$ , joka on hie- man vaadittua parempi. Vahvempi, kantavaksi palkiksi soveltuva S-beam täyttää myös kaikki lujuusluokan 48 P vaaditut suoritustasot, jonka lisäksi sillä on pienempi kokovai- kutuskerroin  $s$  sekä korkeampi syiden suuntainen lappeen taivutuslujuus  $f_{m,o,flat,k}$ .

**Taulukko 5:** LVL-C -tuotteiden vertailu (Perustuu lähteisiin Puutuoteteollisuus 2019; Metsä Wood 2019c; Metsä Wood 2019d)

					21-24 mm	27-69 mm	21-24 mm	27-75 mm	
					Kerto® L-panel		Kerto® Q-panel		
		LVL 22 C	LVL 25 C	LVL 32 C	LVL 36 C				
$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	19	20	28	32	19	20	28	32
$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	25	32	36	22	25	32	36
$s$		0,15	0,15	<u>0,15</u>	<u>0,15</u>	0,15	0,15	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>
$f_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	7	8	5.5	7	7	8
$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>14</u>	<u>15</u>	<u>18</u>	<u>22</u>	<u>15</u>	<u>17</u>	<u>19</u>	<u>26</u>
$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	4	<u>5</u>	<u>5</u>	4	4	<u>6</u>	<u>6</u>
$f_{c,0,k} (SC1)$	N/mm <sup>2</sup>	18	<u>18</u>	<u>18</u>	26	18	<u>19</u>	<u>19</u>	26
$f_{c,0,k} (SC2)$	N/mm <sup>2</sup>	15	15	15	21	15	15	15	21
$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8	8	9	9	8	8	9	9
$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1,0	1,0	2,2	2,2	2,0	2,0	2,2	2,2
$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>3,6</u>	<u>3,6</u>	4,5	4,5	<u>4,0</u>	<u>4,0</u>	4,5	4,5
$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>1,1</u>	<u>1,1</u>	1,3	1,3	<u>1,2</u>	<u>1,2</u>	1,3	1,3
$f_{v,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6
$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	6700	<u>7200</u>	10000	10500	6700	<u>7500</u>	10000	10500
$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	5500	<u>6000</u>	8300	8800	5500	<u>6500</u>	8300	8800
$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	2400	2400	1700	1700	2400	2400
$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	2000	2000	1400	1400	2000	2000
$E_{m,90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	1200	2000	700	1300	1200	2000
$E_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	1000	1700	600	1100	1000	1700
$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	500	600	600	500	500	600	600
$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>300</u>	<u>300</u>	400	400	<u>330</u>	<u>330</u>	400	400
$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	70	70	80	120	70	70	80	120
$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	55	55	60	100	55	55	60	100
$G_{90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	22	22	18	18	22	22
$G_{90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	16	16	14	14	16	16
$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	440	510	510	440	440	510	510
$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	410	480	480	410	410	480	480

Kerto® Q- ja L-paneeleille on annettu kahdet lujuusarvot pienemmälle ja suuremmalle paksuudelle. Vahvempi, kantaviin rakenteisiin tarkoitettu Q-paneeli vastaa yleisiä lujuusluokkia 32 C ja 36 C. Taulukosta nähdään, että sen lujuus- ja jäykkyysarvot täyttävät kaikki lujuusluokkien vaatimukset, ja monelta osin ylittävät ne. Kevyempiin, ei-kantaviin käyttökohteisiin tarkoitettu L-paneeli vastaavasti täyttää lujuusluokkien 22 C ja 25 C vaatimukset, ja sen syiden suuntainen jännitys- puristus- ja leikkauslujuus osalta on vaadittua korkeampi. Lisäksi L-paneeli on hieman standardia jäykempää.

Ainoa Metsä Woodin LVL-tuote, jolle ei löydy suoraa vastinetta yleisistä lujuusluokista on Kerto® QP-palkki. Sen erikoisen koostumuksen vuoksi sitä ei voi luokitella varsinaiseksi LVL-P- eikä LVL-C-tuotteeksi. Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon 6 on koottu QP-palkin lujuus- ja jäykkyysarvot sekä vertailuksi niitä lähimpänä olevat lujuusluokat P- ja C-kategorioista.

LVL:n lujuusluokista lähimpänä QP-palkin arvoja ovat 36 C sekä 35 P, mutta näistä kumpikaan ei tarkasti sovi kuvaamaan kyseistä tuotetta. Taulukosta 6 huomataan, että ominaisuuksiltaan QP-palkki on lähes joka kategoriassa LVL-P- ja LVL-C-luokkien väli-muoto. Tuote on suunniteltu hyvin tiettyyn käyttötarkoitukseen (tavallista korkeammat kattopalkit ja erityisrakenteet), joten sillä on myös paljon ei-määriteltyjä arvoja.

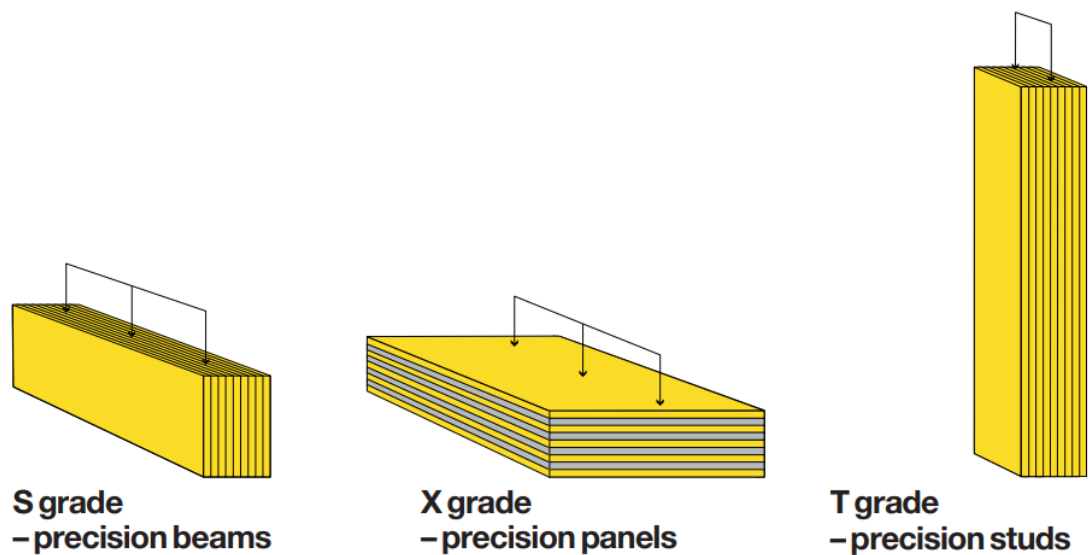
**Taulukko 6:** Kerto® QP-beamin lujuus- ja jäykköysarvot sekä lähimmät lujuusluokat (Perustuu lähteisiin Metsä Wood 2019e; Puutuoteteollisuus 2019)

				39-51 mm	54-75 mm
		LVL 36 C	LVL 35 P	Kerto® QP-beam	
$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	32	30	36	38
$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	36	35	36	36
$s$		0.15	0.15	0.12	0.12
$f_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8	NPD	NPD	NPD
$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	22	28	30
$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	5	0,5	3,0	2,5
$f_{c,0,k}$ (SC1)	N/mm <sup>2</sup>	26	30	28	30
$f_{c,0,k}$ (SC2)	N/mm <sup>2</sup>	21	25	23	25
$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	9	6	6	6
$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2.2	2.2	1.8	1.8
$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4,5	3,2	4,1	4,1
$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1,3	2,3	1,3	1,3
$f_{v,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,6	NPD	NPD	NPD
$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	10500	12000	11700	12300
$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8800	10000	9800	10300
$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	2400	NPD	NPD	NPD
$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2000	NPD	NPD	NPD
$E_{m,90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	2000	NPD	NPD	NPD
$E_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1700	NPD	NPD	NPD
$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	600	500	600	600
$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	400	350	400	400
$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	120	380	120	120
$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	100	270	100	100
$G_{90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	22	NPD	NPD	NPD
$G_{90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	16	NPD	NPD	NPD
$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	510	510	510	510
$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	480	480	480	480

## 3.2 Stora Enso

### 3.2.1 Tuotevalikoima

Stora Enson LVL-tuotteet valmistetaan Varkauden tehtaalla suomalaisesta kuusesta. Valmistajan LVL-tuotevalikoimaan kuuluu 3 tuotetta: S-, X-, ja T-luokka (Stora Enso 2020a). Samoin kuin Metsä Woodilla, Stora Enso tarjoaa sekä LVL-P että LVL-C -luokkiin kuuluvia tuotteita. Tuotteiden kuvat on esitetty kuvassa 10. Kaikkia tuotteita on saatavana standardikoissa, ja niiden dimensioita voi myös tilauksesta muokata haluttuun kokoon (Stora Enso 2020a).



**Kuva 10:** Stora Enson LVL-tuotteet (Stora Enso 2020a)

#### LVL-S

S-luokka on Stora Enson nimike LVL-P:lle, jonka kaikki viilut on liimattu samansuuntaisesti. Stora Enson (2018) mukaan tämä tuotetta voidaan käyttää monipuolisesti rakennusalan eri käyttötarkoituksiin, runkorakenteista palkkeihin ja kattokomponenteista muotteihin. S-luokkaa on saatavilla paksuuksilla 27...75 mm, leveyksillä 200...600 mm ja maksimipituudella 24,5 m (Stora Enso 2018).

#### LVL-X

X-luokan tuotteissa osa viiluista on liimattu ristiin muiden kanssa, mikä tekee niistä hyviä vaihtoehtoja paneeleiksi ja levyiksi. Stora Enson mukaan X-luokka soveltuu erityisesti

leveisiin rakenteisiin sekä kohteisiin, jossa leikkauslujuus on mitoittava tekijä. Paneeleja on saatavilla paksuuksilla 27...75 mm, leveyksillä 1200...2500 mm ja maksimipituudella 24 m. (Stora Enso 2018)

### **LVL-T**

Stora Enson T-luokka on kevyempi versio sen S-luokasta, eli sen kaikki viilut on liimattu samansuuntaisesti. Se soveltuu rakenteisiin, joissa vaaditaan mittasuhteiden vakautta, suoruutta sekä kevyttä painoa. Tyypillinen käyttökohde T-luokan tuotteille on väliseinien runko. T-luokkaa on saatavilla standardimitoilla 39x66 sekä 39x92 mm. (Stora Enso 2018)

### **3.2.2 Ominaisuuksien vertailu standardeihin**

Myös Stora Enson kaikilla tuotteilla on LVL:n harmonisoidun standardin EN 14374 mukaiset CE-merkinnät. Valmistajan tuotevalikoimaan kuuluu 3 eri tuotetta, joista kaikista löytyy vastineet yleisistä lujuusluokista. LVL-P -kategoriaan kuuluvia tuotteita ovat Stora Ensolta S- ja T-luokat, kun taas X-luokka kuuluu LVL-C -kategoriaan. Taulukkoihin 7 ja 8 on koottu Stora Enson tuotteiden lujuus-, jäykkyys- ja tiheysominaisuudet sekä niitä vastaavat, taulukoista 2 ja 3 löytyvät harmonisoidut lujuusluokat. Tuotteiden ominaisuudet on kerätty valmistajan viimeisimmistä tarjoamista tiedoista (Stora Enso 2020a; Stora Enso 2018).

**Taulukko 7:** Stora Enson LVL-P -tuotteiden ja vastaavien lujuusluokkien ominaisuudet (Perustuu lähteisiin Puutuoteteollisuus 2019; Stora Enso 2020a; Stora Enso 2018)

			LVL 32 P	LVL 48 P	LVL-T	LVL-S
	$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	27	44	27	44
	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	32	<u>48</u>	32	<u>50</u>
Taivutuslujuus	$s$		0,15	<u>0,15</u>	0,15	<u>0,12</u>
	$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>22</u>	35	<u>24</u>	35
Jännityslujuus	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,5	0,8	NPD	0,8
(SC1)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	26	35	26	35
(SC2)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	21	29	21	29
	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	6	NPD	6
Puristuslujuus	$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,8	2,2	NPD	2,2
	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	3,2	4,2	NPD	4,2
Leikkauslujuus	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2,0	2,3	NPD	2,3
	$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	9600	13800	10000	13800
	$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8000	11600	8800	11600
	$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	430	NPD	NPD
Kimmomoduuli	$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	350	NPD	NPD
	$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	600	NPD	600
	$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	300	400	NPD	400
	$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	320	<u>380</u>	NPD	<u>460</u>
Liukumoduuli	$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	240	<u>270</u>	NPD	<u>250</u>
	$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	510	440	510
Tiheys	$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	480	410	480

Taulukosta huomataan, että Stora Enson tuotteet vastaavat lähes täysin LVL-P:n yleisiä lujuusluokkia 32 P ja 48 P. Lisäksi kantaviin rakenteisiin tarkoitettu S-luokka on standardiin verrattuna pienempi kokovaikutuskerroin  $s$  sekä korkeampi syiden suuntainen lappeen taivutuslujuus  $f_{m,0,flat,k}$  ja liukumoduuli  $G_{0,flat,mean}$ . S-luokkaan verrattuna kevyempi, ei-kantaviin rakenteisiin tarkoitettu T-luokan ilmoitetut arvot vastaavat tarkasti lujuusluokkansa arvoja, tosin monia sen ominaisuuksia ei ole ilmoitettu. T-luokan syiden suuntainen jännityslujuus on hieman vaadittua isompi.

**Taulukko 8:** Stora Enson LVL-C -tuotteen ja vastaavan lujuusluokan ominaisuudet (Perustuu lähteisiin Puutuoteteollisuus 2019: Stora Enso 2020a)

	LVL 36 C	LVL-X	
	$f_{m,0,edge,k}$	32	32
	$f_{m,0,flat,k}$	36	36
	$s$	<u>0,15</u>	<u>0,12</u>
Taivutuslujuus	$f_{m,90,flat,k}$	8	8
	$f_{t,0,k}$	22	26
Vetolujuus	$f_{t,90,edge,k}$	<u>5</u>	<u>6</u>
(SC1)	$f_{c,0,k}$	26	26
(SC2)	$f_{c,0,k}$	21	21
	$f_{c,90,edge,k}$	9	9
Puristuslujuus	$f_{c,90,flat,k}$	2,2	2,2
	$f_{v,0,edge,k}$	4,5	4,5
	$f_{v,0,flat,k}$	1,3	1,3
Leikkauslujuus	$f_{v,90,flat,k}$	0,6	0,6
	$E_{0,mean}$	10500	10500
	$E_{0,k}$	8800	8800
	$E_{c,90,edge,mean}$	2400	2400
	$E_{c,90,edge,k}$	2000	2000
	$E_{m,90,flat,mean}$	2000	2000
Kimmomoduuli	$E_{m,90,flat,k}$	1700	1700
	$\hat{G}_{0,edge,mean}$	600	600
	$G_{0,edge,k}$	400	400
	$G_{0,flat,mean}$	120	120
	$G_{0,flat,k}$	100	100
	$G_{90,flat,mean}$	22	22
Leikkausmoduuli	$G_{90,flat,k}$	16	16
	$\rho_{mean}$	510	510
Tiheys	$\rho_k$	480	480

Taulukon perusteella huomataan, että Stora Enson LVL-X vastaa lähes täydellisesti yleistä lujuusluokkaa 36 C. Kaikki ilmoitetut arvot täyttävät lujuusluokan vaatimukset, ja syiden suuntainen vetolujuus  $f_{t,0,k}$  on vaadittua suurempi. Lisäksi kokovaikutuskerroin  $s$  on lujuusluokan vaadittua arvoa pienempi.

## 4. VALMISTAJIEN VERTAILU KESKENÄÄN

### 4.1 Tuotevalikoima

Kokonaisuudessaan Metsä Woodin tuotevalikoima on suurempi kuin Stora Enson, ja sillä on isompi kattaus eri lujuusluokkia. Molempien valmistajien tuotteet on valmistettu suomalaisesta havupuusta, ja niiden saatavilla olevat mittasuhteet ovat hyvin samanlaisia. Taulukkoon 9 on koottu molempien valmistajien LVL-tuotteet sekä niiden lujuusluokat ja standardimitat. Lisäksi taulukkoon on koottu vertailun helpottamiseksi valmistajien itsensä antamia esimerkkejä tuotteiden tyypillisistä käyttötarkoituksista. Kuten aiemmissa taulukoissa, Metsä Woodin tuotteet on merkitty taulukkoon vihreällä ja Stora Enson sinisellä.

**Taulukko 9:** Suomalaisen valmistajien LVL-tuotteet, lujuusluokat, standardimitat ja tyypilliset käyttökohteet (Perustuu lähteisiin Metsä Wood 2020a,b,c,d; Stora Enso 2020a)

LVL-P	Lujuusluokka	Paksuus (mm)	Leveys (mm)	Tyypilliset käyttökohteet
LVL-S	48 P	27...75	200...600	Kantavat palkki- ja runkorakenteet
LVL-T	32 P	39x66, 39x92		Kevyet runkorakenteet, esim. väliseinät
Kerto® S	48 P	27...75	200...600	Kantavat palkki- ja runkorakenteet
Kerto® T	32 P	36x66, 39x92		Runko- ja väliseinien tolpat
<b>LVL-C</b>				
LVL-X	36 C	27...75	200...2500	Paneelirakenteet, joissa vaaditaan korkeaa leikkauslujuutta
Kerto® Q	36 C (32 C*)	21...75	200...2500	Kantavat katto-, lattia-, ja seinäelementit
Kerto® L	25 C (22 C*)	21...69	200...2500	Kevyet tai ei-kantavat seinä- ja kattorakenteet
<b>Muu</b>				
Kerto® QP		42x500 51x620 63x830		Tavallista korkeammat kattopalkit, kattorakenteiden erityiskohteet

\*21-24mm paksuisen tuotteen lujuusluokka

LVL-P -kategorian tuotteissa molempien valmistajien valikoima on samanlainen. LVL-C -kategoriassa Metsä Woodilla on vahvemman 36 C-luokan luokan lisäksi kevyempiä vaihtoehtoja lujuusluokissa 22 C, 25 C ja 32 C. Metsä Woodilta löytyy lisäksi erikoistuote Kerto® QP-paneeli, jolle Stora Ensolta ei löydy vastinetta.

Tuotteille on saatavana myös jatkojalostusta. Metsä Woodin vaihtoehtoja ovat muun muassa hionta, palo- ja homesuojaus sekä rakennusaikainen kosteussuojaus. Lisäksi tuotteita voidaan valmistaa syrjäprofiloinnilla sekä työstettynä erityiskokoon ja -muotoon, loveuksien ja reikien kera. (Metsä Wood 2018). Stora Enso puolestaan tarjoaa käsittelemättömän LVL-tuotteen lisäksi optisella tai kalibroivalla hionnalla käsiteltyjä tuotteita (Stora Enso 2020a).

## **4.2 Lujuus- jäykkyys- ja tiheysarvot**

Sopivan LVL-tuotteen valinnassa yksi olennaisimpia asioita on tuotteen lujuus- ja jäykkyysarvot. Mitoitusta tehtäessä on hyvin tärkeää, että valitaan tuote, joka kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Koska LVL-tuotteet jaetaan karkeasti kahteen kategoriaan, LVL-P ja LVL-C, tehdään vertailu erikseen näissä kategorioissa. Alla olevissa taulukoissa Metsä Woodin tuotteet ovat vihreällä pohjalla ja Stora Enson sinisellä.

LVL-P -kategorian tuotteita, joissa kaikki viilut on liimattu samansuuntaisesti, löytyy molemmilta valmistajilta kahta laatua. Metsä Woodilta tähän kategoriaan kuuluvat Kerto® S ja Kerto® T, ja vastaavasti Stora Ensolta löytyviä tuotteita ovat LVL-S sekä LVL-T. Taulukkoon 10 on koottu näiden kaikkien lujuus- jäykkyys- ja tiheysarvot. Kaikki lukuarvot ovat valmistajien itse ilmoittamia, viimeisimpiä tietoja.

Kerto® QP-paneeli on tuote, joka ei kuulu kumpaankaan yleiseen LVL-kategoriaan. Siitä ei myöskään löydy vastinetta Stora Enson valikoimasta. Tämän vuoksi se jätetään ominaisuuksien vertailusta pois.

**Taulukko 10:** Valmistajien LVL-P -tuotteiden vertailu (Perustuu lähteisiin Metsä Wood 2019a; Metsä Wood 2019b; Stora Enso 2020a; Stora Enso 2018)

		Metsä Wood		Stora Enso		
Symboli	Yksikkö	Kerto® T	Kerto® S	LVL-T	LVL-S	
	$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	27	44	27	44
	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	32	50	32	50
Taivutuslujuus	$s$		0,15	0,12	0,15	0,12
	$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>22</u>	35	<u>24</u>	35
Vetolujuus	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	NPD	0,8	NPD	0,8
(SC1)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	26	35	26	35
(SC2)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	21	29	21	29
	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	6	NPD	6
Puristuslujuus	$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,8	2,2	NPD	2,2
	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	3,6	4,2	NPD	4,2
Leikkauslujuus	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2,0	2,3	NPD	2,3
	$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>9600</u>	13800	<u>10000</u>	13800
	$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	<u>8000</u>	11600	<u>8800</u>	11600
	$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	NPD	430	NPD	NPD
Kimmomoduuli	$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	NPD	NPD	NPD	NPD
	$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	600	NPD	600
	$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	330	400	NPD	400
	$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	320	<u>380</u>	NPD	<u>460</u>
Liukumoduuli	$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	240	<u>270</u>	NPD	<u>250</u>
	$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	510	440	510
Tiheys	$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	480	410	480

Taulukosta huomataan, että valmistajien tuotteet ovat ominaisuuksiltaan hyvin lähellä toisiaan. Kerto® T ja LVL-T molemmat vastaavat yleistä lujuusluokkaa 32 P, ja Kerto® S ja LVL-S vastaavat luokkaa 48 P. Taivutus- puristus- ja leikkauslujuuden osalta ilmoitetut arvot ovat identtisiä, tosin Stora Enson LVL-T -tuotteelle ilmoitetuissa arvoissa on puutteita muihin verrattuna. Kerto® T:n vetolujuus syiden suuntaan  $f_{t,0,k}$  on hieman alhai-

sempi kuin sitä vastaavan LVL-T:n. Lisäksi Stora Enson LVL-T:n syiden suuntainen kimmomoduuli  $E_0$  on Kerto® T:tä suurempi. Molemmissa S-tuotteissa on lappeen syiden suuntaisen liukumoduulin  $G_{0,flat}$  osalta pieniä eroavaisuuksia. Tiheyden arvot ovat tuotteilla identtiset.

Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon 11 on kerätty LVL-C -kategoriaan kuuluvien tuotteiden lujuus- jäykkyys- ja tiheysarvot. Kuten ylempänä, kaikki lukuarvot on kerätty valmistajien viimeisimmistä ilmoittamistaan tiedoista. Metsä Woodilta tähän LVL-kategoriaan kuuluu Kerto® Q- ja Kerto® L-paneeli, ja Stora Ensolta LVL-X.

Taulukosta huomataan, että Metsä Woodin valikoima tässä tuotekategoriassa on suurempi kuin Stora Enson. Kerto® L:lle sekä Kerto® Q:n ohuemmalle versiolle ei löydy vastiketta, johon vertailla. Kerto® Q:n paksumpi versio ja LVL-X sen sijaan ovat lujuus-, jäykkyys- ja tiheysominaisuuksiltaan täysin samanlaiset. Molemmat vastaavat yleistä LVL:n lujuusluokkaa 36 C. Ainoana erona on, että LVL-X:stä ei ole ilmoitettu ohuempaa versiota kuten Kerto® Q:sta.

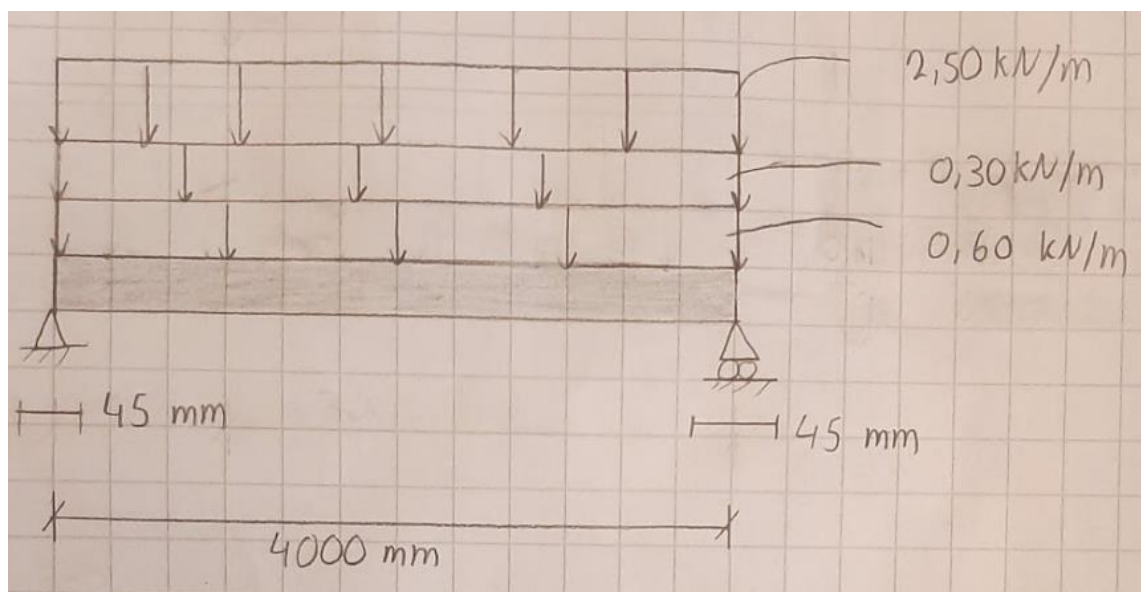
**Taulukko 11:** Valmistajien LVL-C -kategorian tuotteet (Perustuu lähteisiin Metsä Wood 2019c; Metsä Wood 2019d; Stora Enso 2020a)

			21-24 mm	27-69 mm	21-24 mm	27-75 mm	
Symboli	Yksikkö		Kerto® L		Kerto® Q		LVL-X
	$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	19	20	28	32	32
	$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	25	32	36	36
	$s$		0,15	0,15	0,12	0,12	0,12
Taivutuslujuus	$f_{m,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	5,5	7	7	8	8
	$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	15	17	19	26	26
Jännituslujuus	$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	4	6	6	6
(SC1)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	18	19	19	26	26
(SC2)	$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	15	15	15	21	21
	$f_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	8	8	9	9	9
Puristuslujuus	$f_{c,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2
	$f_{v,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	4	4	4,5	4,5	4,5
	$f_{v,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
Leikkauslujuus	$f_{v,90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	6700	7500	10000	10500	10500
	$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	5500	6500	8300	8800	8800
	$E_{c,90,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	1700	1700	2400	2400	2400
	$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	1400	1400	2000	2000	2000
	$E_{m,90,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	700	1300	1200	2000	2000
Kimmomoduuli	$E_{m,90,k}$	N/mm <sup>2</sup>	600	1100	1000	1700	1700
	$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	500	500	600	600	600
	$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	330	330	400	400	400
	$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	70	70	80	120	120
	$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	55	55	60	100	100
	$G_{90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	18	18	22	22	22
Leikkausmoduuli	$G_{90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	14	14	16	16	16
	$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	440	440	510	510	510
Tiheys	$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	410	410	480	480	480

## 5. LVL:N MITOITUSOHJELMAT

Sekä Metsä Wood että Stora Enso tarjoavat LVL:n mitoitukseen omat suunnittelutyökälsä, Finnwood sekä Calculatis. Ohjelmien avulla voidaan mitoittaa muun muassa lat-  
tia- ja kattopalkkeja, pilareita sekä ala- väli- ja yläpohjalaattoja. Lisäksi ohjelmilla voi tar-  
kastella rakenteen rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, kuten palonkestävyyttä. Ohjel-  
mista Calculatis toimii selainpohjaisesti, kun taas Finnwood asennetaan haluttuun lait-  
teeseen. Molemmat ohjelmat ovat ilmaisia, mutta vaativat rekisteröitymistä. (Metsä  
Wood 2020e; Stora Enso 2020b)

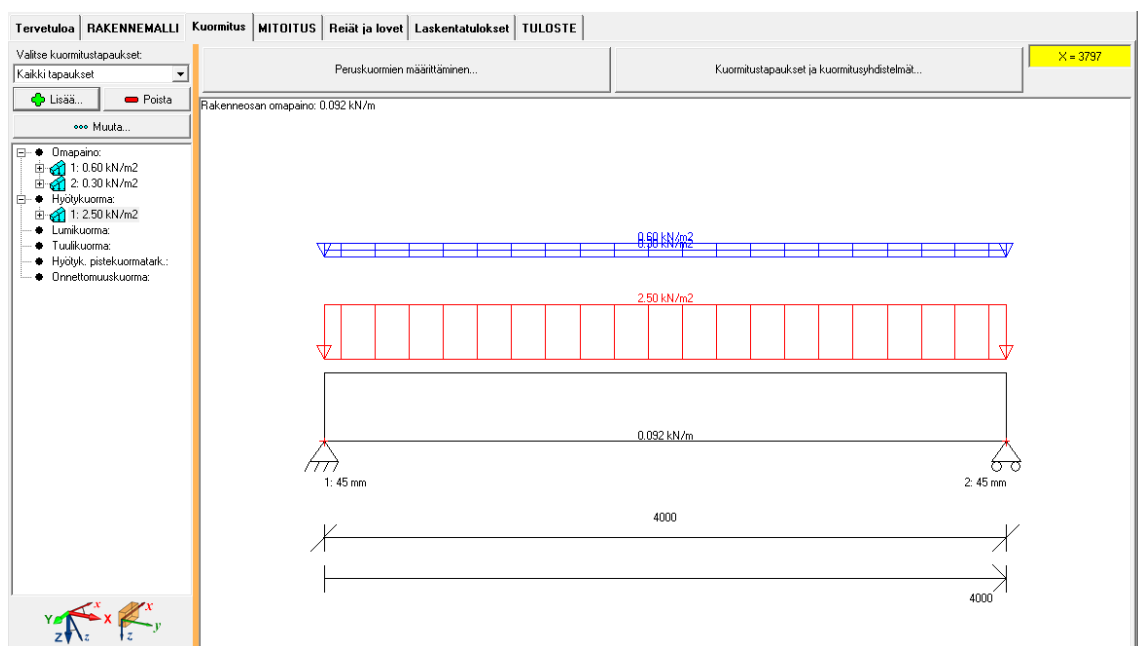
Tarkastellaan mitoitusohjelmia esimerkin avulla. Valitaan mitoitettavaksi rakenteeksi ni-  
veltuetty, yksiaukkoinen välipohjapalkki, jossa ei ole reikiä tai lovia. Materiaaleiksi pal-  
keille valitaan Metsä Woodin Kerto® S sekä Stora Enson LVL-S, molemmat lujuusluok-  
kaa 48 P. Palkkiin kohdistuvia kuormia ovat palkin omapaino, muiden välipohjarakentei-  
den ja väliseinien omapaino sekä standardin SFS-EN 1991-1-1 mukaisen käyttöluokka  
B:n toimistotilan hyötykuorman (SFS-EN 1991-1-1, s.30). Palkin rakennemalli mittoineen  
ja kuormituksineen on esitetty kuvassa 11. Rakenteen käyttöluokka on 1 ja seuraamus-  
luokka CC2. Näiden lähtötietojen perusteella määritellään ohjelmien avulla sopivan ko-  
koinen palkki ja tarkastellaan saatuja tuloksia. Esimerkissä keskitytään rakennemitoituk-  
seen murtoraja- ja käyttörajatilassa, palo- ja onnettomuustilanteiden tarkastelu jätetään  
käsittelemättä.



**Kuva 11:** Esimerkkipalkin mitat ja kuormitukset

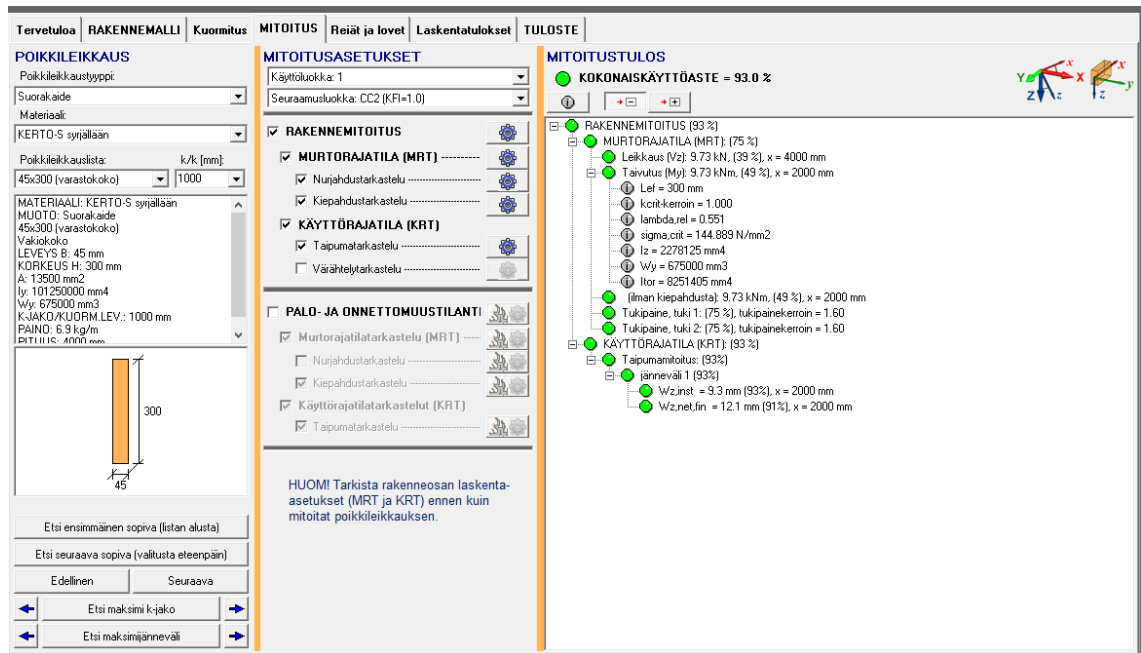
## 5.1 Finnwood

Metsä Woodin laskentaohjelman Finnwoodin alkuvaiheessa ohjelmaan syötetään palkin mittasuhteet ja siihen kohdistuvat kuormat. Kuormat voi syöttää ohjelmaan niiden ominaisarvoina, jonka jälkeen se määrittelee automaattisesti palkkiin kohdistuvien kuormien mitoitusarvot ja niiden eri kuormitusyhdistelmät eurokoodin SFS-EN 1990 mukaisesti (SFS-EN 1990, s. 88). Kuormitusyhdistelmien perusteella ohjelma laskee palkkiin kohdistuvien rasitusten ääriarvot. Tämän jälkeen siirrytään mitoitusvaiheeseen. Kuvassa 12 näkyy ohjelman Kuormitus-ikkuna, johon on syötetty esimerkkitalanteen lähtöarvot.



**Kuva 12:** Finnwood-ohjelmiston Kuormitus-ikkuna (Metsä Wood 2019)

Mitoitusvaiheessa valitaan palkin materiaali sekä poikkileikkauksen muoto ja mittasuhteet. Materiaaliksi syrjällään oleva Kerto® S-palkki suorakaiteen muotoisella poikkileikkauksella. Tämän jälkeen ohjelma tarjoaa listan poikkileikkauksen mittoja, joista voi vapaasti valita haluamansa. Joka kerta kun uusi poikkileikkaus annetaan, ohjelma laskee sille tarvittavat mitoitukset ja ilmoittaa murto- ja käyttörajatilan käyttöasteet sekä kokonaiskäyttöasteen. Ohjelma voi myös automaattisesti etsiä listasta pienimmän poikkileikkauksen, jonka kokonaiskäyttöaste jää alle 100 prosentin. Kuvassa 13 on näkymä ohjelman Mitoitus-ikkunasta.

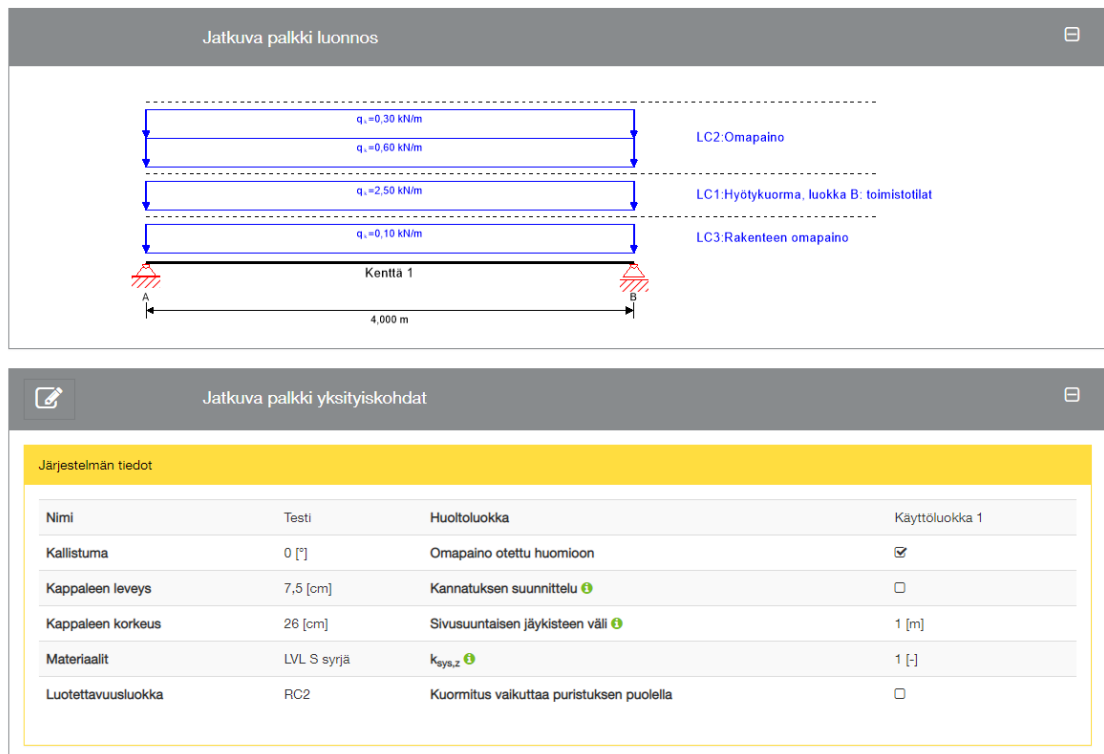


**Kuva 13:** Finnwood-ohjelmiston Mitoitus-ikkuna (Metsä Wood 2019)

Asioita, joita Finnwoodilla voi määrittää ovat muun muassa tukireaktiot, leikkausvoima- ja taivutusmomentti kuvaajat sekä nurjahdus-, kiepahdus-, taipuma- ja värähtelytarkastelu. Ohjelma luo myös käyrät leikkaukselle, taivutukselle ja painumalle. Automaattisen etsinnän tuloksena pienin sopiva poikkileikkaus palkille on 45x300 mm, jolloin kokonaiskäyttöaste on 93 %. Kyseisessä esimerkissä mitoittavaksi asiakki tulee taipumamitoitus. Leikkausvoiman maksimiarvo on 9,73 kN ja taivutusmomentin 9,73 kNm. Tarkempi ohjelman antama tuloste mitoituksen lähtöarvoista, kuormitusyhdistelmistä ja tuloksista on liitteessä B.

## 5.2 Calculatis

Syötetään samat lähtöarvot Stora Enson Calculatis-ohjelmaan. Toisin kuin Finnwood, Calculatis ei automaattisesti tarjoa sopivaa poikkileikkausta rasiusten perusteella, vaan se on itse määriteltävä mitoituksen lähtötiedoissa. Vertailun helpottamiseksi valitaan palkille sama poikkileikkaus 45x300 mm. Palkin materiaalina on syrjällä lepäävä LVL-S, joka vastaa toisessa ohjelmassa käytettyä Kerto® S:ää. Kuvassa 14 on kuvakaappaus Calculatiksesta, jossa näkyy palkin luonnos sekä lähtötiedot.



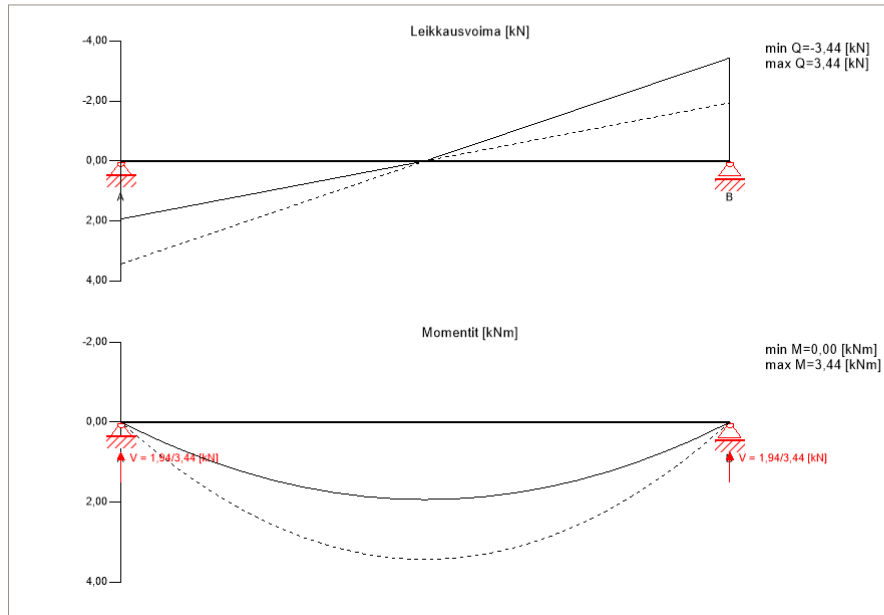
**Kuva 14:** Leikattu kuvakaappaus Calculatis-ohjelman Syöttötiedot-ikkunasta (Stora Enso 2020)

Kuormat voi syöttää ohjelmaan ominisarvoinaan. Ennen mitoitusta ohjelma muodostaa annetuista kuormituista eurokoodin EN 1990 mukaisen kuormitusyhdistelmän (SFS-EN 1990, s.88), ja laskee tämän perusteella rasiusten minimi- ja maksimiarvot. Ohjelma laskee myös nurjahduksen, kiepahduksen, taipuman, värähtelyn sekä ottaa huomioon kannatuksen tuoman tukipaineen. Kuvassa 15 on kuvakaappaus ohjelman Tulokset-sivulta, jossa näkyy palkille lasketut käyttöasteet sekä murtorajatilän leikkausvoima- ja taivutusmomenttikuviot.

Käyttöasteet					
Globaalkäyttöaste					83 %
ULS	61 %	ULS Tulipalo	-	SLS	83 %
Värähtely	-	Kannatus	72 %		

#### Murtorajatila (ULS) palomitoitus - tulokset pääkuormitustapauksista

Yhdistelmä: 1,00/1,00 \* LC2:Omapaino + 1,00/1,00 \* LC3:Rakenteen omapaino + 1,00/0,00 \* 0,30 \* LC1:Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat



**Kuva 15:** Leikattu kuvakaappaus Calculatis-ohjelman Tulokset-sivulta (Stora Enso 2020)

Calculatiksien laskemien tulosten perusteella leikkausvoiman maksimiarvo on 9,72 kN ja taivutusmomentin 9,72 kNm. Kokonaiskäyttöaste LVL-S:stä tehdyille, poikkileikkaukseltaan suorakulmaiselle 45x300 mm palkille on ohjelman mukaan 83 %. Mitoittavana tekijänä on SLS eli käyttörajatilan mitoitus. Palkki siis kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Yksityiskohtaisempi ohjelman tarjoama tuloste tehdystä mitoituksesta löytyy liitteestä C.

## 6. YHTEENVETO

LVL on insinööripuutuote, joka koostuu useasta yhteenliimatusta puuviilusta. Materiaalin etuja ovat muun muassa tasainen koostumus, helppo työstettävyys sekä monipuolisuus. Rakennusmateriaalina sitä voidaan käyttää monipuolisesti eri käyttökohteissa niin kantavissa kuin ei-kantavissa rakenteissa, joko sellaisenaan tai osana muita rakenteita. Esimerkkejä yleisistä käyttökohteista ovat muun muassa palkki- pilari- ja ristikkorakenteet, kantavat ja jäykistävät laatat ja paneelit, sekä elementtirakentaminen.

LVL:lle on olemassa harmonisoitu tuotestandardi EN 14374, joka määrittelee LVL-tuotteita koskevat vaatimukset, niiden testaus- ja arviointimenetelmät sekä CE-merkinnässä vaadittavat tiedot. Standardista ollaan kehittämässä päivitettyä versiota, jossa määritellään LVL-tuotteiden yleiset lujuusluokat. Niiden perusteella LVL jaetaan kahteen kategoriaan: LVL-P, jossa kaikki viilut on liimattu syiden perusteella samansuuntaisesti, sekä LVL-C, jossa osa viiluista on liimattu kohtisuoraan muita vastaan. Lujuusluokat on esitetty kappaleen 2.4 taulukoissa 2 ja 3 sekä liitteessä A.

Tutkimuksessa vertailtiin suomalaisten valmistajien LVL-tuotteita, niiden valikoimaa sekä mitoituksen kannalta olennaisia lujuus- jäykkyys- ja tiheysarvoja. Suomessa LVL:ää valmistaa Metsä Wood ja Stora Enso. Molempien valmistajien tuotteet tehdään suomalaisesta havupuusta, ja niiden tuotevalikoimasta löytyy paljon samankaltaisuuksia. LVL-P -kategoriassa valmistajien tuotteet LVL-S ja -T sekä Kerto® S ja T ovat lähes samanlaiset, ja niiden väliset eroavaisuudet olivat hyvin pieniä. LVL-C-kategoriassa Stora Enson LVL-X on identtinen Metsä Woodin Kerto® Q-paneelin kanssa, jonka lisäksi Metsä Woodilla on kategoriassa laajempi valikoima myös kevyemmän lujuusluokan tuotteita. Kokonaisuudessaan lähes kaikki valmistajien tuotteet vastaavat jotain yleisistä lujuusluokista. Poikkeuksena oli Metsä Woodin Kerto® QP-paneeli, jonka epätavallisen koostumuksen vuoksi sille ei löytynyt sopivaa lujuusluokkaa tai vastaavaa tuotetta Stora Ensolta.

Tutkimuksen lopputuloksena voidaan sanoa, että valmistajien LVL-tuotteiden välillä ei ole merkittäviä mitoituksen kannalta kriittisiä eroavaisuuksia. Liitteeseen A on koottu yhteenvetona taulukot A1 ja A2, jossa on kaikki LVL:n yleiset lujuusluokat sekä suomalaisten valmistajien niitä vastaavat tuotteet.

# LÄHTEET

Calculatis (2020b). Stora Enso. Viitattu 29.11.2020. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/calculatis>

Dome of Visions 3.0 (2017a). Metsä Wood. Viitattu 27.10.2020. Saatavissa: <https://www.metsawood.com/global/news-media/references/Pages/Wooden-Dome-of-visions-made-from-sustainable-building-material.aspx>

Finnwood® (2020e). Metsä Wood. Viitattu 29.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsawood.com/fi/tyokalut/Finnwood/Pages/default.aspx>

Hakkarainen, J. (2019). LVL handbook, Puutuoteteollisuus ry, Helsinki. Viitattu 27.10.2020. Saatavissa: <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/lvl-kasikirja>

Kerto® LVL -käsikirja, Jatkojalostus (2018). Metsä Wood. Viitattu 29.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsawood.com/fi/tyokalut/kerto-kasikirja/Pages/Kerto-kasikirja.aspx>

Kerto® LVL -käsikirja, Toimitusmitat (2017c). Metsä Wood. Viitattu 29.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsawood.com/fi/tyokalut/kerto-kasikirja/Pages/Kerto-kasikirja.aspx>

Kerto® LVL -käsikirja, Valmistus (2017b). Metsä Wood. Viitattu 4.1.2021. Saatavissa: <https://www.metsawood.com/fi/tyokalut/kerto-kasikirja/Pages/Kerto-kasikirja.aspx>

Kerto® LVL L-panel DOP (2019d). Metsä Wood. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: [https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP\\_Kerto-L\\_2019\\_12\\_19\\_fi.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP_Kerto-L_2019_12_19_fi.pdf)

Kerto® LVL Q-panel DOP (2019c). Metsä Wood. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: [https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP\\_Kerto-Q\\_2019\\_12\\_19\\_fi.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP_Kerto-Q_2019_12_19_fi.pdf)

Kerto® LVL Q-panel & L-panel (2020b). Metsä Wood. Viitattu 6.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsawood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto-Q.aspx>

Kerto® LVL QP-beam (2020d). Metsä Wood. Viitattu 6.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsa-wood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto-QP.aspx>

Kerto® LVL Qp-beam DOP (2019e). Metsä Wood. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: [https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP\\_Kerto-Qp\\_2019\\_12\\_19\\_fi.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP_Kerto-Qp_2019_12_19_fi.pdf)

Kerto® LVL S-beam (2020a). Metsä Wood. Viitattu 6.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsa-wood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto-S.aspx>

Kerto® LVL S-beam DOP (2019a). Metsä Wood. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: [https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP\\_Kerto-S\\_2019\\_12\\_19\\_fi.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP_Kerto-S_2019_12_19_fi.pdf)

Kerto® LVL T-stud (2020c). Metsä Wood. Viitattu 6.11.2020. Saatavissa: <https://www.metsa-wood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto-T.aspx>

Kerto® LVL T-stud DOP (2019b). Metsä Wood. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: [https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP\\_Kerto-T\\_2019\\_12\\_19\\_fi.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/DoP/DOPOpenDocuments/DoP_Kerto-T_2019_12_19_fi.pdf)

Laminated veneer lumber (LVL) bulletin, New European strength classes (2019). Puutuoteteollisuus & Studiegemeinschaft für Holzleimbau. Viitattu 15.10.2020. Saatavissa: [https://puutuoteteollisuus.fi/images/pdf/LVL\\_bulletin\\_eng.pdf](https://puutuoteteollisuus.fi/images/pdf/LVL_bulletin_eng.pdf)

LVL factsheet (2018). Stora Enso. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/massive-wood-construction/lvl>

LVL Technical brochure (2020a). Stora Enso. Viitattu 4.11.2020. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/massive-wood-construction/lvl>

Puuinfo (2020). Viilupuu (LVL). Viitattu 14/10/2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/viilupuu-lvl/>

SFS-EN 14374:2004 Rakenteissa käytettävä viilupuu (LVL). Vaatimukset. Suomen Standardisointiliitto SFS ry. Viitattu 5.11.2020.

SFS-EN 1990+A1+AC Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 1.12.2020.

SFS-EN 1991-1-1 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 1.12.2020.

SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 16.12.2020.

# LIITE A: LUJUUSLUOKKATAULUKOT

**Taulukko A1:** LVL-P:n lujuusluokat sekä LVL-valmistajien vastaavat tuotteet (perustuu lähteisiin Puutuoteteollisuus 2019; Metsä Wood 2019a; Metsä Wood 2019b; Stora Enso 2020)

Symboli	Yksikkö	Lujuusluokka							Metsä Wood		Stora Enso	
		LVL 32 P	LVL 35 P	LVL 48 P	LVL 50 P	LVL 80 P	Kerto® T	Kerto® S	LVL-T	LVL-S		
$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	27	30	44	46	75	27	44	27	44		
$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	32	35	48	50	80	32	50	32	50		
Taivutuslujuus	s	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12	0.15	0.12		
$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	22	22	35	36	60	22	35	24	35		
$f_{t,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0.5	0.5	0.8	0.9	1.5	NPD	0.8	NPD	0.8		
(SC1)	$f_{c,0,k}$	26	30	35	42	69	26	35	26	35		
(SC2)	$f_{c,0,k}$	21	25	29	35	57	21	29	21	29		
Puristuslujuus	$f_{c,90,edge,k}$	4	6	6	8.5	14	4	6	NPD	6		
	$f_{c,90,flat,k}$	0.8	2.2	2.2	3.5	12	0.8	2.2	NPD	2.2		
	$f_{v,0,edge,k}$	3.2	3.2	4.2	4.8	8	3.6	4.2	NPD	4.2		
Leikkauslujuus	$f_{v,0,flat,k}$	2	2.3	2.3	3.2	8	2	2.3	NPD	2.3		
	$E_{0,mean}$	9600	12000	13800	15200	16800	9600	13800	10000	13800		
	$E_{0,k}$	8000	10000	11600	12600	14900	8000	11600	8800	11600		
	$E_{c,90,edge,m}$	*	*	430	430	470	NPD	430	NPD	NPD		
Kimmomoduuli	$E_{c,90,edge,k}$	*	*	350	350	400	NPD	NPD	NPD	NPD		
	$G_{0,edge,mea}$	500	500	600	650	760	500	600	NPD	600		
	$G_{0,edge,k}$	300	350	400	450	630	330	400	NPD	400		
	$G_{0,flat,mean}$	320	380	380	600	850	320	380	NPD	460		
Liukumoduuli	$G_{0,flat,k}$	240	270	270	400	760	240	270	NPD	250		
	$\rho_{mean}$	440	510	510	580	800	440	510	440	510		
Tiheys	$\rho_k$	410	480	480	550	730	410	480	410	480		

\* Valmistajien itse ilmoittama arvo

**Taulukko A2:** LVL-C:n lujuusluokat sekä LVL-valmistajien vastaavat tuotteet (Puutuoteteollisuus 2019; Metsä Wood 2019c; Metsä Wood 2019d; Stora Enso 2020)

Symboli	Yksikkö	Lujuusluokka										Metsä Wood		Stora Enso				
		LVL 22 C		LVL 25 C		LVL 32 C		LVL 36 C		LVL 70 C		LVL 75 C		21-24 mm 27-69 mm	21-24 mm 27-75 mm	LVL-X		
		19	20	28	32	54	60	19	20	28	32	19	20	28	32	LVL L-panel	LVL Q-panel	10500
$f_{m,0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12	0.12	8
$f_{m,0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	7	8	32	20	15	17	19	26	26	26	26	26	26	26	26
$s$		*	*	7	8	32	20	15	17	19	26	26	26	26	26	26	26	26
Taivutuslujuus	N/mm <sup>2</sup>	14	15	18	22	45	51	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6
Jännityslujuus	N/mm <sup>2</sup>	4	4	5	5	16	8	18	18	18	26	54	64	64	64	64	64	64
(SC1)	N/mm <sup>2</sup>	15	15	15	21	45	53	8	8	9	9	45	23	23	23	23	23	23
(SC2)	N/mm <sup>2</sup>	1	1	2.2	2.2	16	16	3.6	3.6	4.5	4.5	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
Puristuslujuus	N/mm <sup>2</sup>	1.1	1.1	1.3	1.3	3.8	3.8	*	*	0.6	0.6	*	*	*	*	*	*	*
Leikkauslujuus	N/mm <sup>2</sup>	6700	7200	10000	10500	11800	13200	5500	6000	8300	8800	10900	12200	12200	12200	12200	12200	12200
$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	2400	2400	*	*	*	*	2000	2000	*	*	*	*	*	*	*
$E_{0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	2000	2000	*	*	*	*	1200	2000	*	*	*	*	*	*	*
$E_{c,90,edge,m}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	1000	1700	*	*	500	500	600	600	820	820	820	820	820	820	820
$E_{c,90,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	300	300	400	400	660	660	70	70	80	120	430	430	430	430	430	430	430
$E_{m,90,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	55	55	60	100	380	380	*	*	22	22	*	*	*	*	*	*	*
$E_{m,90,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	16	16	*	*	440	440	510	510	800	800	800	800	800	800	800
$G_{0,edge,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	410	410	480	480	730	730	410	410	480	480	730	730	730	730	730	730	730
$G_{0,edge,k}$	N/mm <sup>2</sup>	440	440	510	510	800	800	500	500	600	600	820	820	820	820	820	820	820
$G_{0,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	300	300	400	400	660	660	70	70	80	120	430	430	430	430	430	430	430
$G_{0,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	55	55	60	100	380	380	*	*	22	22	*	*	*	*	*	*	*
$G_{90,flat,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	16	16	*	*	440	440	510	510	800	800	800	800	800	800	800
$G_{90,flat,k}$	N/mm <sup>2</sup>	*	*	16	16	*	*	410	410	480	480	730	730	730	730	730	730	730
Leikkausmoduuli	N/mm <sup>2</sup>	440	440	510	510	800	800	500	500	600	600	820	820	820	820	820	820	820
$\rho_{mean}$	kg/m <sup>3</sup>	410	410	480	480	730	730	410	410	480	480	730	730	730	730	730	730	730
$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	440	440	510	510	800	800	500	500	600	600	820	820	820	820	820	820	820

\* Valmistajan itse ilmoittama arvo

# LIITE B: FINNWOOD-OHJELMAN TULOSTE

Finwood 2.4.3 (2.4.088)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

**Esimerkki**

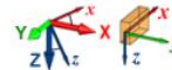
**2.12.2020**

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finwood 2.4.3 (2.4.088)

RIL 205-1-2017 (04.12.2019)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta

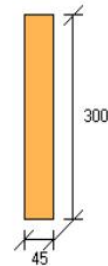


PROJEKTITIEDOT:

Nimi: Esimerkki

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta  
 Materiaali: KERTO-S syrjällään  
 Poikkileikkaus: 45x300 (varastokoko)  
 Lisätietoja: Vakiokoko  
 (B=45 mm, H=300 mm, A=13500 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=101250000 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=675000 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)  
 Jako/kuormituslev.: 1000 mm (pintakuormille)



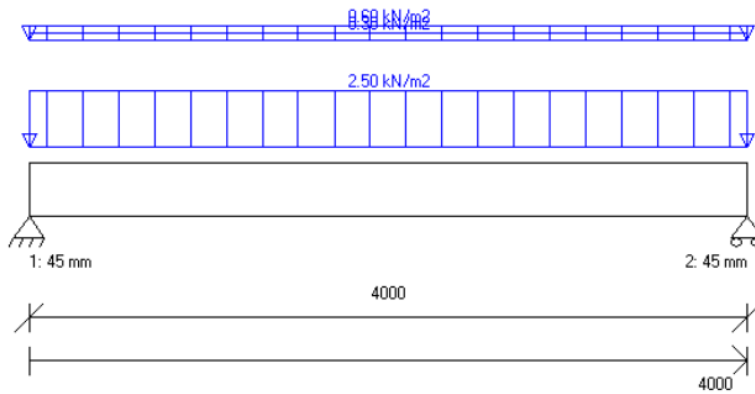
Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 4000.0  
 Yhteensä: 4000.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	45	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	4000	45	Liukutuki (Z)

f <sub>m,k</sub> (M <sub>y</sub> ):	44.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>m,k</sub> (M <sub>z</sub> ):	50.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,0,k</sub> :	35.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,90,k</sub> :	6.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,0,k</sub> :	34.40 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,90,k</sub> :	0.80 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>z</sub> ):	4.20 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>y</sub> ):	2.30 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>mean</sub> :	13800 N/mm <sup>2</sup>
G <sub>mean</sub> :	600 N/mm <sup>2</sup>
E 0.05:	11600 N/mm <sup>2</sup>
G 0.05:	400 N/mm <sup>2</sup>

Tilavuuspaino:	5.10 kN/m <sup>3</sup> (omapainon laskentaa varten)
km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00
-----	
Osavarmuusluku:	1.20
-----	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
-----	
kdef:	0.600

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino: QZ = 0.069 kN/m x = 0 - 4000 mm

Pintakuorma: 1: QZ = 0.600 kN/m<sup>2</sup> x = 0 - 4000 mmPintakuorma: 2: QZ = 0.300 kN/m<sup>2</sup> x = 0 - 4000 mm

Hyötykuorma (Hyötykuorma B, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pintakuorma: 1: QZ = 2.500 kN/m<sup>2</sup> x = 0 - 4000 mm**KUORMITUSYHDISTELMÄT:**

---

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.35\*Omapaino

---

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötykuorma

---

Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)

0.90\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötykuorma

---

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Hyötykuorma

---

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.15\*Omapaino

---

Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)

0.90\*Omapaino

---

Yhdistelmä 13 (KRT)

1.00\*Omapaino

---

Yhdistelmä 14 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötykuorma

---

Yhdistelmä 16 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*0.70\*Hyötykuorma

---

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017

Kokonaiskäyttöaste:

93,0 %

---

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Taipumaraja Wfin: L/200

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus z-suuntaan: Lc = 1.00\*L

Nurjahdus y-suuntaan: Lc = 1.00\*L

Kiepahdus taivutuksesta My (y-askelin suhteen):

Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella: Lk1 = 300.00 mm

Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: Lk2 = Päätukien välimatka

Lef1 = Lk1 ja Lef2 = Lk2 (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)

HUOM! Lk1:ta käytetään, kun My>0 ja Lk2:ta, kun My<0

Värähtelymitoitusta ei ole tehty

---

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	9.73 kN	25.20 kN	38.6 %	4000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus (My):	9.73 kNm	19.80 kNm	49.1 %	2000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	9.73 kNm	19.80 kNm	49.1 %	2000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	9.73 kN	12.96 kN	75.1 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.60					
Tukipaine, tuki 2:	9.73 kN	12.96 kN	75.1 %	4000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.60					
jänneväli 1, Wz,fin:	12.1 mm	20.0 mm	60.3 %	2000 mm	Yhdistelmä 14/1
jänneväli 1, Wz,inst:	9.3 mm	10.0 mm	93.0 %	2000 mm	Yhdistelmä 14/1
jänneväli 1, Wz,net,fin:	12.1 mm	13.3 mm	90.5 %	2000 mm	Yhdistelmä 14/1

---

**ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT**

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 14/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötykuorma

---

**VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:**

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	9.73 kN	4000 mm
My,max	9.73 kNm	2000 mm

---

**TUKIREAKTIOT:**

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	9.73 kN	1.74 kN	6.94 kN	1.94 kN
2:	9.73 kN	1.74 kN	6.94 kN	1.94 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

---

**TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):**

Kuormitustapaus: Omapaino

Tuki:	FZ [kN]:
1:	1.94
2:	1.94

Kuormitustapaus: Hyötykuorma

Tuki:	FZ [kN]:
1:	5.00
2:	5.00

---

**HUOMIOT:**

- 
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
  - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
  - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
  - \*) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
  - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
  - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
  - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
  - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
  - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
  - Rakenneosan koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
  - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja

---

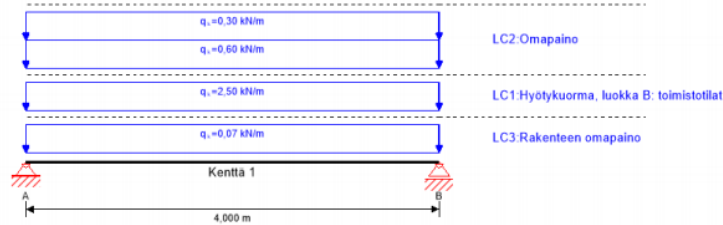
Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisuusjäsentä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

---

# LIITE C: CALCULATIS-OHJELMAN TULOSTE

## Järjestelmä



## Globaalkäyttöaste

ULS	61 %	ULS Tulipalo	13 %	SLS	83 %	SLS Värähtely	0 %	Kannatus	72 %	Tyhjiö	-1 %
-----	------	--------------	------	-----	------	---------------	-----	----------	------	--------	------

## Jakso: Puupalkki 4,5/30

	Kappaleen leveys	Kappaleen korkeus	Alue	I <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>
	[cm]	[cm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]
	4,5	30	13 500	101 250 000	2 278 125

## Jakso Tulipalo: Puupalkki 4,5/30

	Kappaleen leveys	Kappaleen korkeus	Alue	I <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>			
	[cm]	[cm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]			
	4,5	30	13 500	101 250 000	2 278 125			
Paloluokka: R 0			Aika	0 min				
Palonsuojakerrokset : Ei lisäpalonsuojausta			k <sub>0</sub>	d <sub>0</sub>	d <sub>char,0,h</sub>	d <sub>def,h</sub>	d <sub>char,0,v</sub>	d <sub>def,v</sub>
			[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
			1	7	0,0	0,0	0,0	0,0

## Materiaalin arvot

Materiaalit	f <sub>m,k</sub>	f <sub>t,0,k</sub>	f <sub>t,90,k</sub>	f <sub>c,0,k</sub>	f <sub>c,90,k</sub>	f <sub>v,k</sub>	f <sub>v,k min</sub>	E <sub>0,mean</sub>	G <sub>mean</sub>	E <sub>0,5</sub>
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
LVL S syrjä	44,00	35,00	0,80	35,00	6,00	4,10	0,00	13 800,00	600,00	11 600,00

## Kuorma

## Kuormitusryhmät

	Kuormaryhmä	Typ	Kesto aika	Kmod	γ <sub>inf</sub>	γ <sub>sup</sub>	ψ <sub>0</sub>	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>
LC3	Rakenteen omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1
LC1	Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	Q	Keskipitkä	0,8	0	1,5	0,7	0,5	0,3
LC2	Omapaino	G	Pysyvä	0,6	1	1,35	1	1	1

## LC3:Rakenteen omapaino

Jatkuva kuormitus	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	0,07



LC1:Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	
<b>Jatkuva kuormitus</b>	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	2,50

LC2:Omapaino	
<b>Jatkuva kuormitus</b>	
Kenttä	Kuormitus aluksi
	[kN/m]
1	0,60
1	0,30

ULS Yhdistelmät	
	Yhdistämisaäntö
LCO1	$1,35/1,00 * LC2 + 1,35/1,00 * LC3$
LCO2	$1,15/1,00 * LC2 + 1,15/1,00 * LC3 + 1,50/0,00 * LC1$

ULS Yhdistelmät Tulipalo	
	Yhdistämisaäntö
LCO3	$1,00/1,00 * LC2 + 1,00/1,00 * LC3$
LCO4	$1,00/1,00 * LC2 + 1,00/1,00 * LC3 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC1$

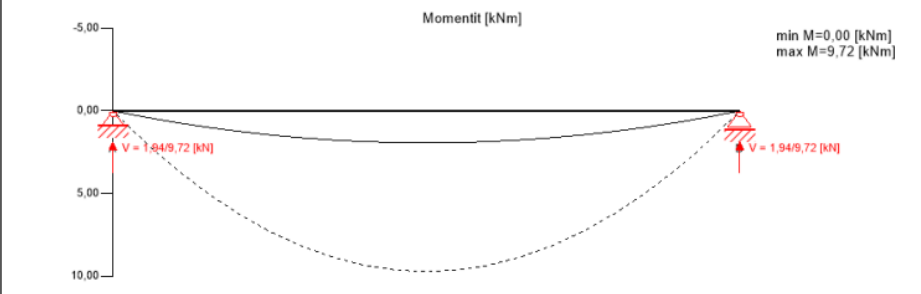
  

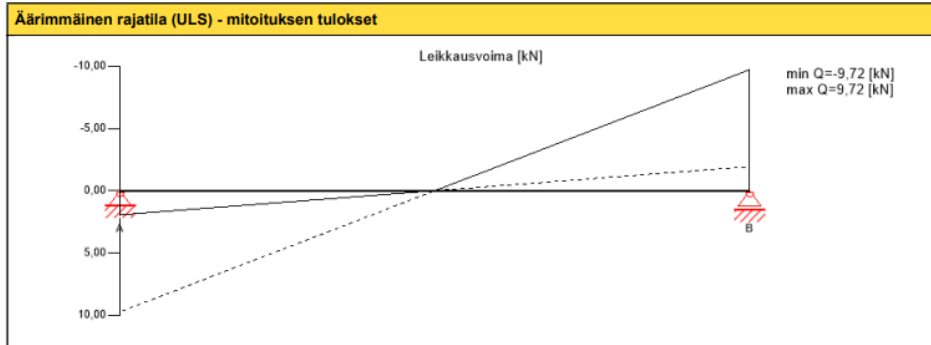
SLS Ominainen Yhdistelmä	
	Yhdistämisaäntö
LCO5	$1,00/1,00 * LC2 + 1,00/1,00 * LC3$
LCO6	$1,00/1,00 * LC2 + 1,00/1,00 * LC3 + 1,00/0,00 * LC1$

SLS Lähes pysyvä Yhdistelmä	
	Yhdistämisaäntö
LCO7	$1,00/1,00 * LC2 + 1,00/1,00 * LC3$
LCO8	$1,00/1,00 * LC2 + 1,00/1,00 * LC3 + 1,00/0,00 * 0,30 * LC1$

Äärimmäinen rajatila (ULS) - mitoituksen tulokset	
	



**ULS Taivutuksen mitoitus**

Kenttä	Etäisyys [m]	$f_{m,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_m$ [-]	$k_{mod}$ [-]	$k_{sys,z}$ [-]	$k_{hm}$ [-]	$f_{m,y,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$M_{y,d}$ [kNm]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Suhde	
1	2,0	44,00	1,20	0,80	1,00	1,00	29,33	9,72	14,41	49 %	LCO2

**ULS Leikkausanalyysi**

Kenttä	Etäisyys [m]	$f_{v,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_m$ [-]	$k_{mod}$ [-]	$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$V_d$ [kN]	$T_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Suhde	
1	0,3	4,10	1,20	0,80	2,73	8,26	0,92	34 %	LCO2

**ULS Kiepahduksen mitoitus**

Kenttä	$M_{y,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Suhde	
1	9,72	0,00	14,41	0,00	61 %	LCO2

**Taivutusjännitysanalyysit**

$M_{y,d} =$	9,72 kNm	$f_{m,k} =$	44,00 N/mm <sup>2</sup>
$N_{c,d} =$	0,00 kN	$\gamma_m =$	1,20 -
		$k_{mod} =$	0,80 -
		$k_{sys,y} =$	1,00 -
		$k_{hm} =$	1,00 -
		$k_i =$	0,98 -
$\sigma_{c,d} =$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,d} =$	22,84 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{m,y,d} =$	14,41 N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,y,d} =$	29,33 N/mm <sup>2</sup>
<b>Käyttöaste</b>			<b>49 %</b>

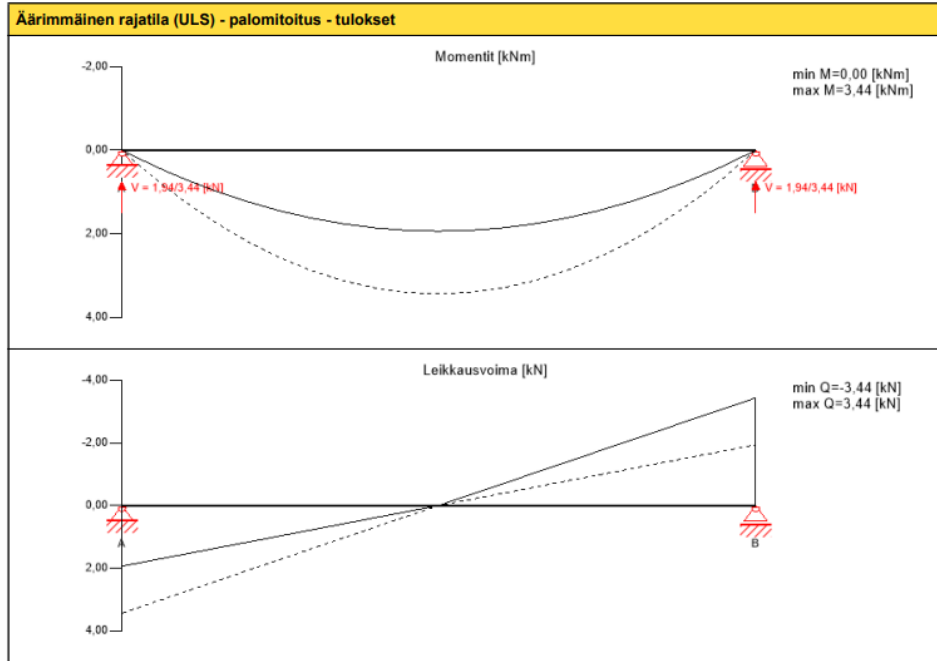
**Leikkausjännitysanalyysi**

$V_d =$	8,26 kN	$f_{v,k} =$	4,10 N/mm <sup>2</sup>
		$\gamma_m =$	1,20 -
		$k_{mod} =$	0,80 -
$T_{v,d} =$	0,92 N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,d} =$	2,73 N/mm <sup>2</sup>
<b>Käyttöaste</b>			<b>34 %</b>

**Kiepahdusanalyysit**

$M_{y,d} =$	9,72 kNm	$f_{m,k} =$	44,00 N/mm <sup>2</sup>
$N_{c,d} =$	0,00 kN	$\gamma_m =$	1,20 -
		$k_{mod} =$	0,80 -
		$k_{sys,y} =$	1,00 -
		$k_{hm} =$	1,00 -
		$k_i =$	1,00 -
$\sigma_{m,y,d} =$	14,41 N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,y,d} =$	29,33 N/mm <sup>2</sup>
<b>Käyttöaste</b>			<b>61 %</b>





**ULS Tulipalo Taivutuksen mitoitus**

Kenttä	Etäisyys [m]	$f_{m,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_m$ [-]	$k_{mod}$ [-]	$k_{sys,z}$ [-]	$k_{\xi}$ [-]	$f_{m,y,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$M_{y,d}$ [kNm]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Suhde	
1	2,0	44,00	1,00	1,00	1,00	1,10	48,40	3,44	5,09	11 %	LCO4

**ULS Tulipalo Leikkausanalyysi**

Kenttä	Etäisyys [m]	$f_{v,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_m$ [-]	$k_{mod}$ [-]	$k_{\xi}$ [-]	$f_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$V_d$ [kN]	$T_{v,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Suhde	
1	3,7	4,10	1,00	1,00	1,10	4,51	2,92	0,32	7 %	LCO4

**ULS Tulipalo Kiepahduksen mitoitus**

Kenttä	$M_{y,d}$ [kNm]	$N_{c,d}$ [kN]	$\sigma_{m,y,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{c,d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Suhde	
1	3,44	0,00	5,09	0,00	13 %	LCO4

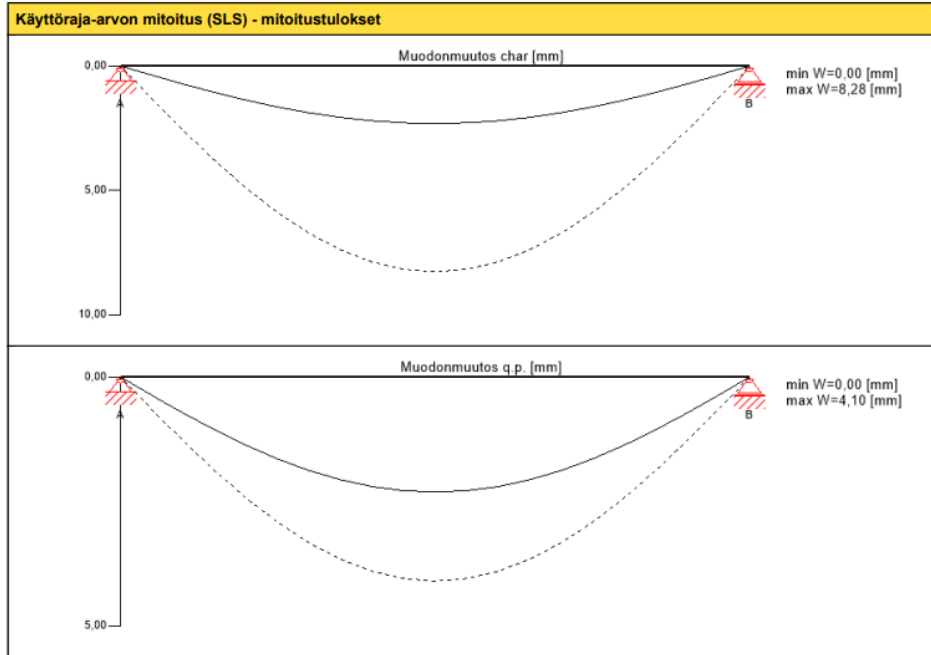
**Taivutusjännitysanalyysit Tulipalo**

$M_{y,d} =$	3,44 kNm	$f_{m,k} =$	44,00 N/mm <sup>2</sup>
$N_{c,d} =$	0,00 kN	$\gamma_m =$	1,00 -
		$k_{mod} =$	1,00 -
		$k_{sys,y} =$	1,00 -
		$k_{tim} =$	1,00 -
		$k_{\xi} =$	0,98 -
		$k_{\xi} =$	1,10 -
$\sigma_{c,d} =$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,d} =$	37,68 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{m,y,d} =$	5,09 N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,y,d} =$	48,40 N/mm <sup>2</sup>
<b>Käyttöaste</b>			11 %



Leikkausjännitysanalyysi Tulipalo					
$V_{d}$	=	2,92	kN	$f_{v,k}$	= 4,10 N/mm <sup>2</sup>
				$\gamma_m$	= 1,00 -
				$K_{mod}$	= 1,00 -
				$k_{\alpha}$	= 1,10 -
$\tau_{v,d}$	=	0,32	N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,d}$	= 4,51 N/mm <sup>2</sup>
					<
Käyttöaste					7 %

Kiepahdusanalyysit Tulipalo					
$M_{y,d}$	=	3,44	kNm	$f_{m,k}$	= 44,00 N/mm <sup>2</sup>
$N_{c,d}$	=	0,00	kN	$\gamma_m$	= 1,00 -
				$K_{mod}$	= 1,00 -
				$k_{sys,y}$	= 1,00 -
				$K_{\alpha}$	= 1,00 -
				$K_{\xi}$	= 1,00 -
				$k_{\xi}$	= 1,10 -
$\sigma_{m,y,d}$	=	5,09	N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,y,d}$	= 48,40 N/mm <sup>2</sup>
					<
Käyttöaste					13 %



$w_{\text{mit}} = w[\text{char}]$					
Kenttä	$K_{\text{def}}$	Raja	$w_{\text{mit}}$	$w_{\text{calc}}$	Suhde
		[ - ]	[mm]	[mm]	
1	0,6	L/400	10,0	8,3	83 %

$w_{\text{fin}} = w[\text{char}] + w[\text{q.p.}] \cdot k_{\text{def}}$					
Kenttä	$K_{\text{def}}$	Raja	$w_{\text{mit}}$	$w_{\text{calc}}$	Suhde
		[ - ]	[mm]	[mm]	
1	0,6	L/200	20,0	10,7	54 %



$W_{net,fin} = w[q.p.] + w[q.p.] \cdot k_{def}$					
Kenttä	$K_{def}$	Raja	$W_{lim}$	$W_{calc}$	Suhde
		[-]	[mm]	[mm]	
1	0,6	L/300	13,3	6,6	49 %

Kannatuksen suunnittelu												
nro	Tyyppi	Leveys	Alue	$k_{mod}$	$\gamma_m$	$k_{c,90,k}$	$f_{c,k}$	$f_{c,d}$	$V_{max}$	$V_{min}$	$\sigma_{c,d}$	Suhde
		[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
A	Jäykkä levy	45	33,75	0,80	1,20	1,00	6,00	4,00	9,72	0,00	2,88	LCO2 72 %
B	Jäykkä levy	45	33,75	0,80	1,20	1,00	6,00	4,00	9,72	0,00	2,88	LCO2 72 %

Kannatuksen vaikutus			
Kuormaryhmä	$k_{mod}$	$A_v$	$B_v$
			[kN]
Hyötykuorma, luokka B: toimistotilat	0,8	5,00	5,00
		0,00	0,00
Omapaino	0,6	1,80	1,80
		1,80	1,80
Rakenteen omapaino	0,6	0,14	0,14
		0,14	0,14

Viiteasiakirjat tätä analyysiä varten	
Arvonimi englanniksi	Kuvaus
EN 338	EN 338 - Kantavat puurakenteet — Lujuusluokat
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus
EN 14080	EN 14080 - Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset
EN 1990	EN 1990 - Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu – Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Paloturvallisuus puurakennuksissa - tekninen ohje Eurooppaan; julkaisija SP Ruotsin tekninen tutkimuslaitos
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - Kansalliset määritelmät liittyen ÖNORM EN 1995-1-2, kansalliset huomautukset ja kansalliset täydennykset luvussa 12
SFS EN 1995-1-2_NA	SFS EN 1995-1-2 - Suomi - Kansallinen liite - Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu - Osa 1-2: Yleistä - Puurakenteiden palomitoitus - Kansalliset määritelmät liittyen SFS EN 1995-1-2, kansalliset kommentit ja kansalliset täydennykset
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Suomi - Kansallinen liite - Kansalliset määritelmät liittyen Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
ÖNORM EN 1995-1-1_NA, chapter 7.3	ÖNORM EN 1995-1-1 - Itävalta - Kansallinen liite - Kansallisesti määritetyt parametrit – Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu – Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, luku 7.3

#### Vastuuvapauslauseke

Ohjelmisto on suunniteltu auttamaan insinöörejä heidän jokapäiväisessä työssään. Ohjelmiston käyttäjien tulee olla taitavia ja kokeneita insinöörejä, joilla on laajaymmärrys rakennesuunnittelusta ja puurakenteisiin liittyvästä rakennusfysiikasta, sillä ohjelmiston tarkoituksena on avustaa vaikeissa rakennesuunnittelun ja rakennusfysiikkaan liittyvissä tehtävissä. Ohjelmiston käyttäjä on velvollinen tarkastamaan kaikki ohjelmistoon syötetyt arvot ja tulosten virheettömyys riippumatta siitä, onko käyttäjä syöttänyt arvot ohjelmistoon itse tai onko arvot ohjelmistoon valmiiksi syötettyjä oletusarvoja. Ohjelmiston tulosten perusteella ei tule tehdä päätöksiä tai toimenpiteitä. Ohjelmiston tulosten käyttö on sallittua vasta kun projektin rakennusuunnittelusta/rakennusfysiikasta vastaava insinööri on tarkastanut tulokset ja hyväksynyt ne oikeiksi ja täydellisiksi. Käyttäjällä on mahdollisuus tulostaa otteita ohjelmistosta, mutta näitä otteita ei saa muokata.

Stora Enso Wood Products GmbH ei anna mitään takuuta tai vakuutusta ohjelmistoon liittyen. Huolimatta siitä, että ohjelmisto on kehitetty mahdollisimman huolellisesti, Stora Enso Wood Products GmbH ei anna suoraan tai epäsuoraan minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy minkäänlaista vastuuta ohjelmistolla tuotun informaation tai datan tarkkuudesta, voimassaolosta, oikea-aikaisuudesta tai täydellisyydestä. Stora Enso Wood Products GmbH ei myöskään anna minkäänlaista vakuutusta tai hyväksy vastuuta ohjelmiston yleisestä käytettävyydestä, sen sopivuudesta johonkin erityiseen tarkoitukseen tai yhteensopivuudesta kolmansien osapuolten tuottamien tai toimittamien ohjelmistojen kanssa.

Stora Enso Wood Products GmbH on vastuussa ainoastaan vahingoista, jotka se on aiheuttanut törkeällä tuottamuksellaan tai tahallisesti. Näin ollen Stora Enso Wood Products GmbH ei vastaa tuottamuskellisesti aiheutetuista vahingoista, paitsi milloin kyseessä on henkilön kohdistunut vahinko. Aikaisemmin luettujen ehtojen mukaisesti Stora Enso Wood Products GmbH ei ole vastuussa ohjelmiston toiminnasta tai käyttäjän datan tai ohjelmistojen menettämisestä.

Sovellettava laki: Näihin ehtoihin sovelletaan Itävallan lakia, lukuun ottamatta sen kansainvälistä lainvalintaa koskevia säännöksiä ja YK:n kansainvälistä kauppalakia (CISG).

