

Esimerkkilaskelma

Hankolautaliitos

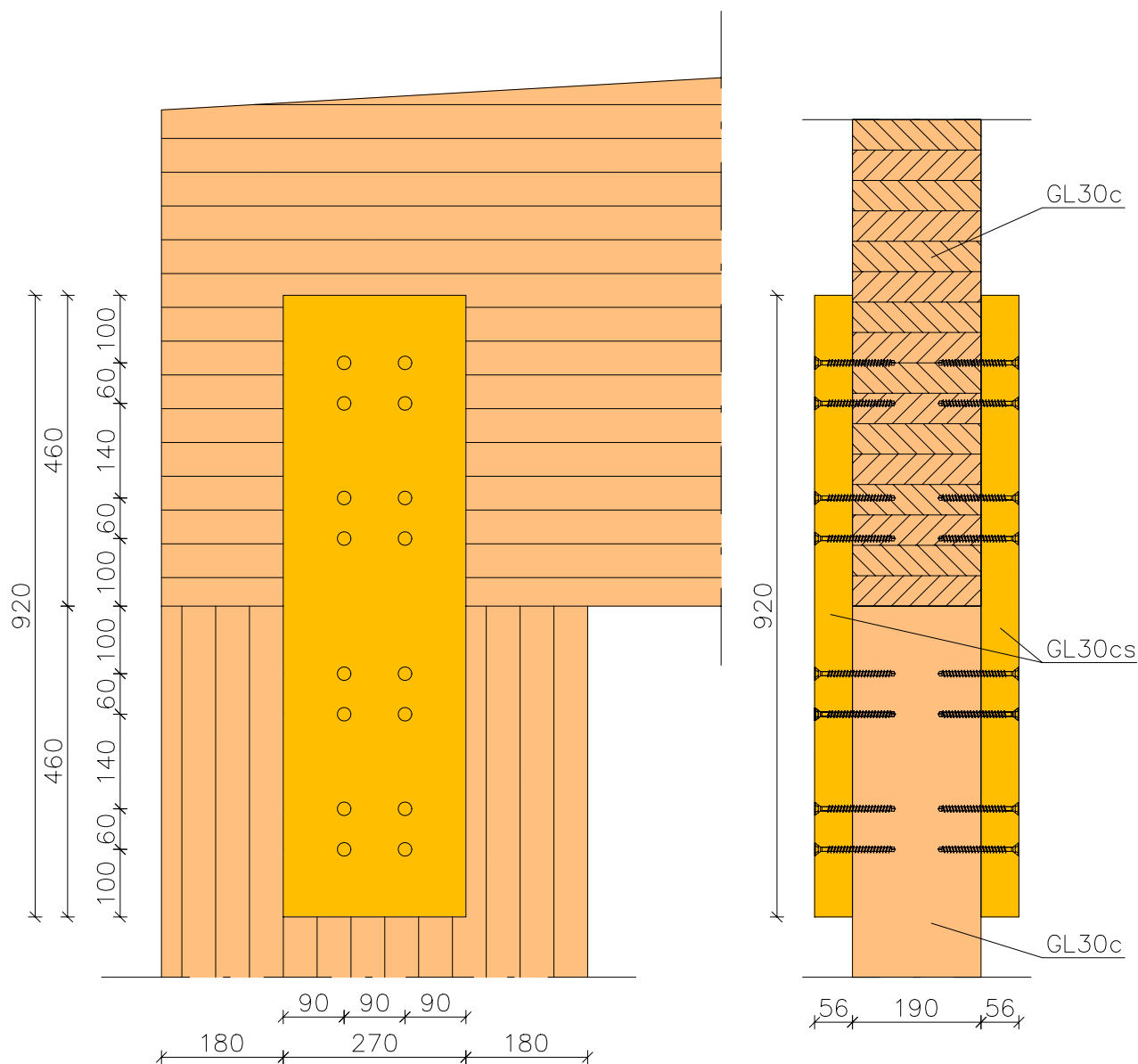
01.12.2018

Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2	KUORMAT	- 4 -
3	MATERIAALI	- 6 -
4	MITOITUS	- 9 -
4.1	LIITINRYHMÄN MITOITUS LEIKKAUKSELLE (ETA-11/0190).....	- 9 -
4.2	LIITINRYHMÄN MITOITUS VEDOLLE (ETA-11/0190).....	- 10 -
4.2.1	LIITINTYHMÄN (LIITTIMIEN) VETOKESTÄVYYS	- 10 -
4.2.2	LIITTIMIEN TARTUNTAKAPASITEETTI (voiman ja syyn välinen kulma $0^\circ < \alpha < 90^\circ$)-	10 -
4.2.3	YHDISTETTY VETO JA LEIKKAUS.....	- 11 -
4.3	HANKOLAUDAN MITOITUS.....	- 11 -
4.3.1	HANKOLAUDAN LEIKKAUSKESTÄVYYS (Z-suuntaan).....	- 11 -
4.3.2	HANKOLAUDAN LEIKKAUSKESTÄVYYS (Y-suuntaan).....	- 11 -
4.3.3	HANKOLAUDAN TAIVUTUSKESTÄVYYS (Z-akselin suhteen).....	- 12 -
4.3.4	HANKOLAUDAN TAIVUTUSKESTÄVYYS (Y-akselin suhteen).....	- 12 -
4.3.5	HANKOLAUDAN VETOKESTÄVYYS	- 12 -
4.3.6	HANKOLAUDAN PURISTUSKESTÄVYYS.....	- 12 -
4.3.7	HANKOLAUDAN YHDISTETTY VETO- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS.....	- 12 -
4.3.8	HANKOLAUDAN YHDISTETTY PURISTUS- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS	- 13 -
4.4	PALALOHKEAMINEN	- 13 -
4.5	LÄPILOHKEAMINEN	- 13 -
4.6	YHTEENVETO.....	- 13 -

1 LÄHTÖTIEDOT

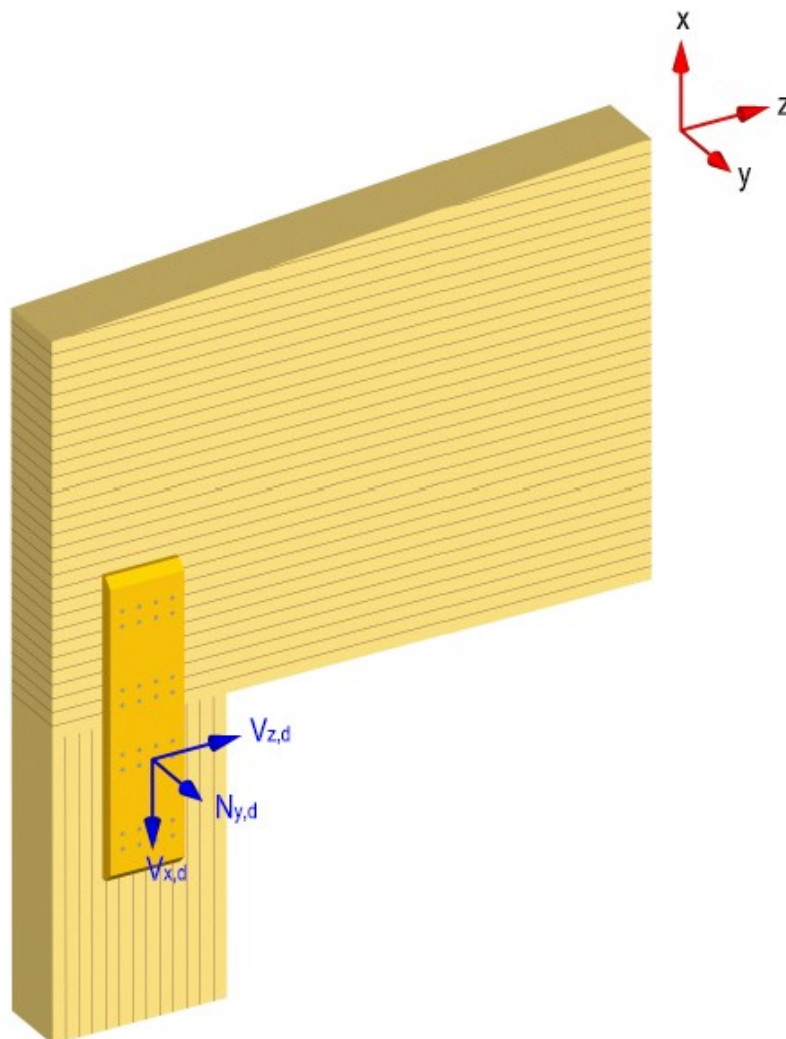
Rakennuspaikka:	Helsinki
Rakenne:	Liimapuupilarin ja -palkin hankolautaliitos
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1, ETA-11/0190 Teräsrakenteet: SFS-EN 1993-1-1 Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3 ja SFS EN 1991-1-4



Ehto: $L = (100+60+140+60) = 360 \text{ mm} \leq H / 3 \Rightarrow H \geq 1080 \text{ mm}$ (L = ylimmän liittimen etäisyys palkin alareunasta ja H = palkin tukikorkeus)

2 KUORMAT

Harjapalkki kallellaan $1,5^\circ$ eli epäkeskisyyss $e = 30 \text{ mm}$ pystykuormalle (kyseisellä kuormituksella)



VOIMASUUREET:

Voimasuureet mitoitusarvoja, aikaluokassa hetkellinen ja käyttöluokassa 2:

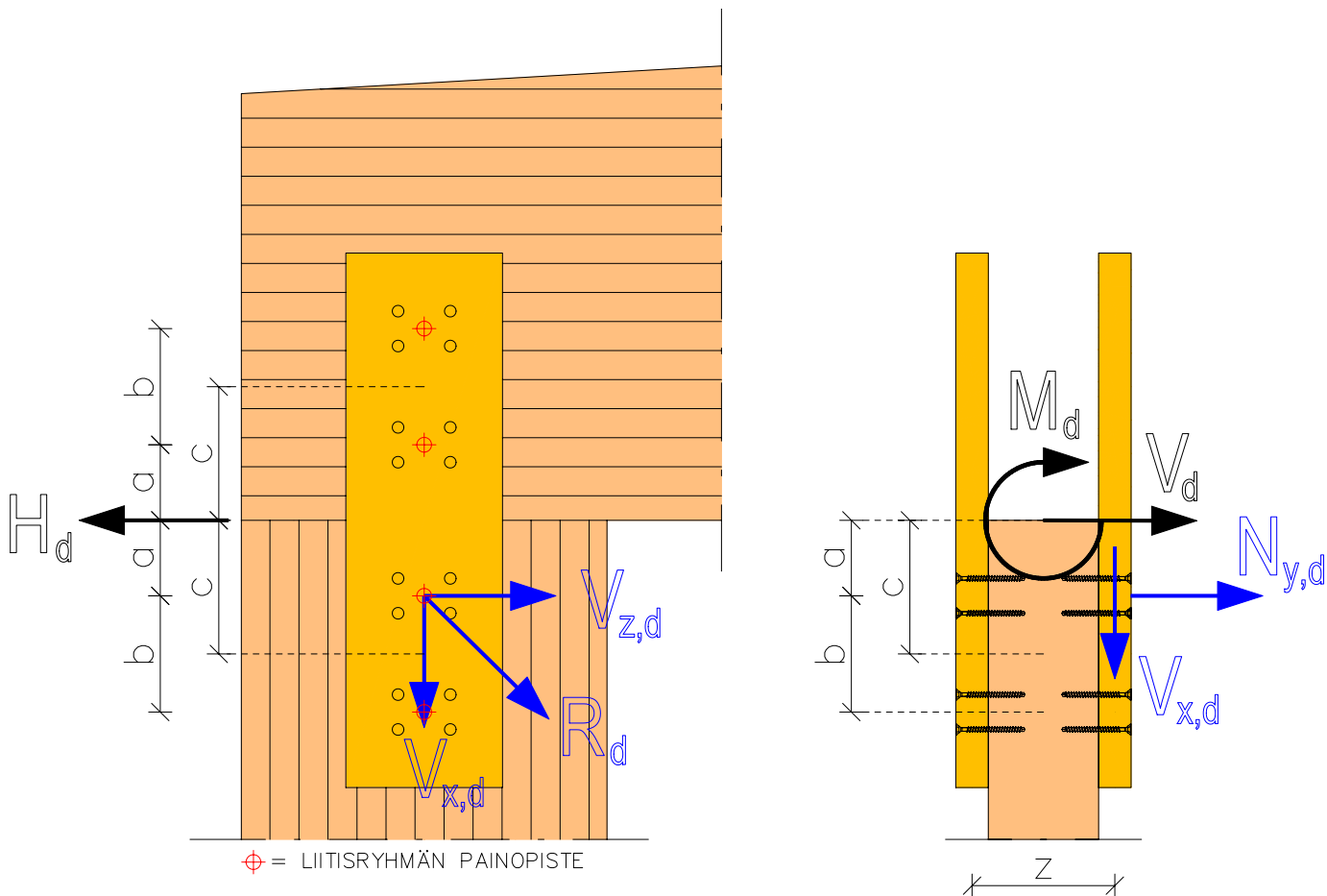
- Liitokseen vaikuttavat ulkoiset voimat:
 - Palkin pystytukireaktio, $N_d = 150 \text{ kN}$
 - Palkin vaakatukireaktio, $H_d = 10 \text{ kN}$ (kehän suuntaan, pilarin päässä)

Pääkannattimen tukireaktio: $A_d = N_d = 150 \text{ kN}$

Pääkannattimen vinoudesta aiheutuva momentti: $M_d = A_d \times e \Rightarrow M_d = 150 \text{ kN} \times 0,030 \text{ m} = 4,5 \text{ kNm}$

Tuulen aiheuttama vaakavoima pilarin päässä: $H_d = 10 \text{ kN}$

Pääkannattimen vinoudesta aiheutuva leikkausvoima: $V_d = A_d \times \sin \alpha \Rightarrow V_d = 150 \text{ kN} \times \sin 1,5^\circ = 3,9 \text{ kN}$



LIITOSVOIMAT:

Ruuviryhmien määrä/hankolaudan puolisko: $n_R = 2$ kpl

Hankolautojen määrä/liitos: $n_H = 2$ kpl

Alimman liitinryhmän (palkin puolella) painopisteen etäisyys palkin alapinnasta, $a = 130$ mm

Liitinryhmien välinen etäisyys, $b = 200$ mm

Liitinryhmien painopisteen etäisyys palkin alapinnasta, $c = 230$ mm

Etäisyys hankolaudan keskeltä keskelle, $z = 246$ mm

$$V_{x,d} = \frac{M_d}{z \times n_R}$$

$$\Rightarrow V_{x,d} = \frac{4,5 \times 10^3 \text{ kNmm}}{246 \text{ mm} \times 2} = 9,1 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = \frac{H_d}{n_H \times n_R} + \frac{H_d \times c}{n_H \times b}$$

$$\Rightarrow V_{z,d} = \frac{10 \text{ kN}}{2 \times 2} + \frac{10 \text{ kN} \times 230 \text{ mm}}{2 \times 200 \text{ mm}} = 8,3 \text{ kN}$$

$$N_{y,d} = \frac{\frac{V_d \times c}{b} + \frac{V_d}{n_R}}{n_H}$$

$$\Rightarrow N_{y,d} = \frac{\frac{3,9 \text{ kN} \times 230 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} + \frac{3,9 \text{ kN}}{2}}{2} = 3,2 \text{ kN}$$

$$M_{z,d} = \frac{V_d \times c}{n_H} - \frac{V_d \times b}{n_H \times n_R}$$

$$\Rightarrow M_{z,d} = \frac{3,9 \text{ kN} \times 0,230 \text{ m}}{2} - \frac{3,9 \text{ kN} \times 0,200 \text{ m}}{2 \times 2} = 0,3 \text{ kNm}$$

$$Q_{z,d,hankolauta} = \frac{V_d}{n_H}$$

$$\Rightarrow Q_{z,d,hankolauta} = \frac{3,9 \text{ kN}}{2} = 2,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = \frac{H_d \times c}{n_H} - \frac{H_d \times b}{n_H \times n_R}$$

$$\Rightarrow M_{y,d} = \frac{10,0 \text{ kN} \times 0,230 \text{ m}}{2} - \frac{10,0 \text{ kN} \times 0,200 \text{ m}}{2 \times 2} = 0,7 \text{ kNm}$$

$$Q_{y,d,hankolauta} = \frac{H_d}{n_H}$$

$$\Rightarrow Q_{y,d,hankolauta} = \frac{10,0 \text{ kN}}{2} = 5,0 \text{ kN}$$

LIITINRYHMÄÄN VAIKUTTAVAT VOIMAT:

Leikkaus $V_{x,d} = 9,1 \text{ kN}$

Leikkaus $V_{z,d} = 8,3 \text{ kN}$

Resultantti: $R_d = \sqrt{V_{x,d}^2 + V_{z,d}^2} \Rightarrow R_d = \sqrt{9,1^2 + 8,3^2} = 12,3 \text{ kN}$

Ulosveto $N_{y,d} = 3,2 \text{ kN}$

3 MATERIAALI

Liimapuupalkki ja -pilari GL30c

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

Pilarin korkeus ja palkin korkeus yli 600 mm => taivutuslujuuden ominaisarvon korotuskerroin $k_h = 1,0$

Hankolaudalla voitaisiin huomioida korotus, mutta tässä laskelmassa ei ole huomioitu

Aikaluokka: hetkellinen

Käyttöluokka: 1

$$\Rightarrow k_{mod} = 1,1$$

Hankolaudat GL30cs

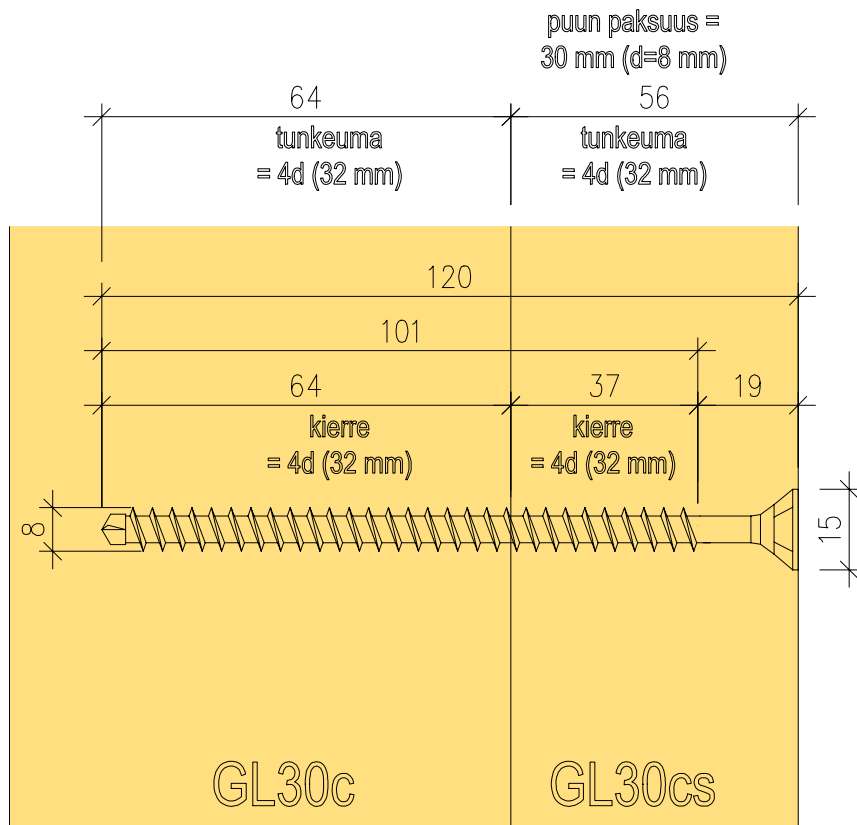
materiaalin osavarmuusluku, $\gamma_M = 1,25$

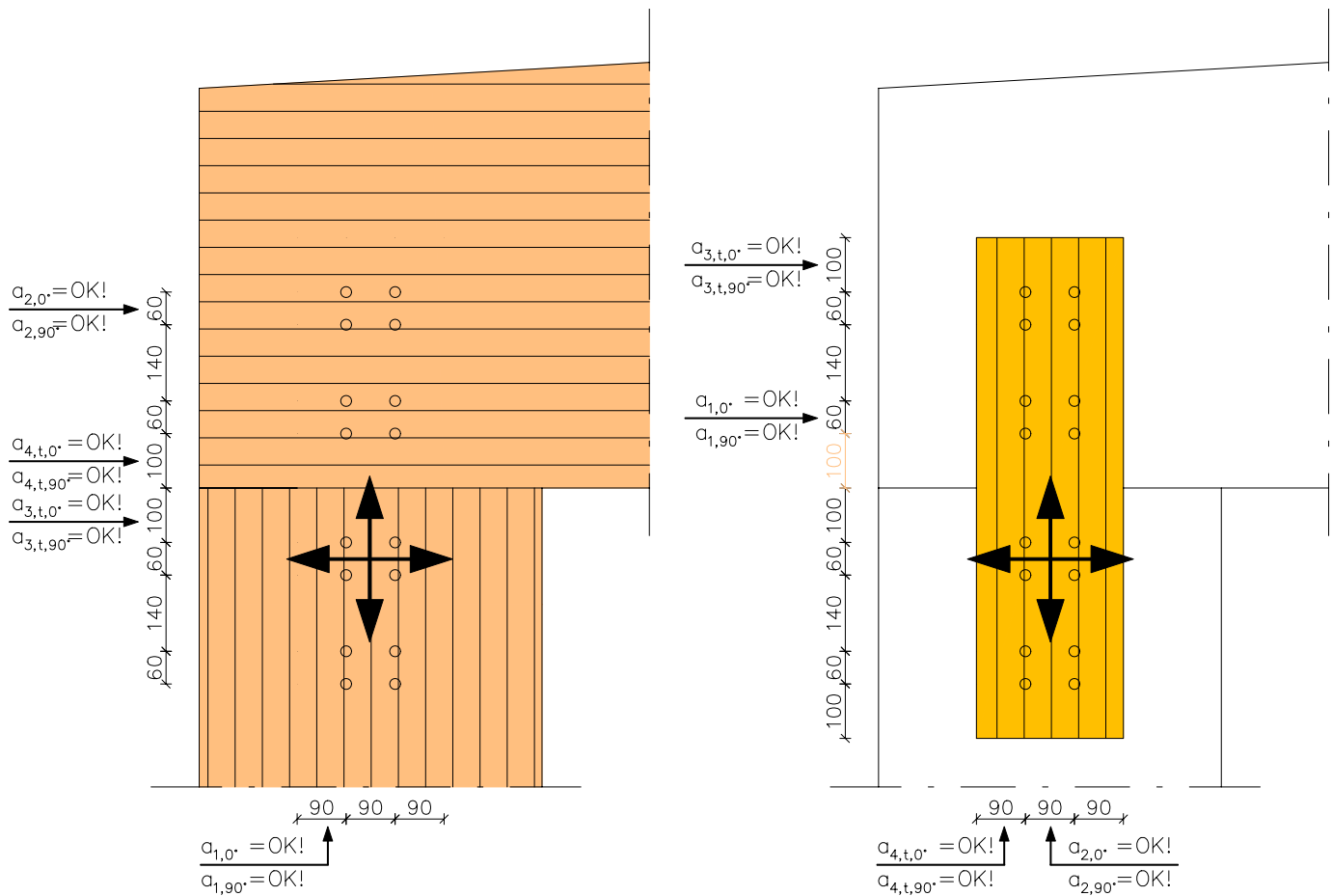
	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 28,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 24,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (GL30cs)}$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_M = 3,08 \text{ N/mm}^2 \text{ (GL30cs)}$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 23,3 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 20,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (GL30cs)}$
Vetolujuus (0°):	$f_{t,0,k} = 18,7 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_M = 16,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (GL30cs)}$
Ominaisihteys	$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3 \text{ (molemmilla sekä GL30c että GL30cs)}$	

Ruuvit: Würth ASSY plus VG 8x120 (ETA-11/0190)

Ruuvivalmistajan ETA:n mukaan seuraavat säännöt ovat voimassa:

- Esiporausta ei tarvita, kun ruuvin paksuus $d > 8 \text{ mm}$ ja puu on kuusi tai mänty (ETA s.10, kohta 4.2) (esiporaus hankolautaan on suositeltavaa ruuvien asennuksen helpottamiseksi)
- Ruuvin tunkeumasyvyyys vähintään $4d$ (ETA s.12, kohta A.1.1.1)
- Ruuvin tehollinen halkaisija $d_{ef} = d$ (ETA s.12, kohta A.1.2.1)
- Aksiaalisesti kuormitetun ruuvin kierteisen osan pituus puussa on vähintään $4d$ (ETA s.14, kohta A.1.2.3)
- Liitettävän puuosan paksuus vähintään 30 mm , kun ruuvin paksuus on 8 mm (ETA s.16, kohta A.1.4)
- Reunaetäisyydet EN 1995 taulukon 8.2 mukaan ($d_{ef} = d$ ja ASSY-ruuvilla esiporatun mukaan) (ETA s.16, kohta A.1.4.1)
- $n_{ef} = n^{0,9}$ (ETA s.13, kohta A.1.3.1)





Huom! Voiman ja syyn välinen kulma

Liittimien keskinäinen etäisyys syyn suunnassa:

Palkki:

$$\begin{cases} a_{1,0^\circ} = (4 + \cos 0^\circ) \times d = 5d = 40 \text{ mm} \leq 90 \text{ mm}, \text{OK!} \\ a_{1,90^\circ} = (4 + \cos 90^\circ) \times d = 4d = 32 \text{ mm} \leq 90 \text{ mm}, \text{OK!} \end{cases}$$

Hankolauta:

$$\begin{cases} a_{1,0^\circ} = (4 + \cos 0^\circ) \times d = 5d = 40 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}, \text{OK!} \\ a_{1,90^\circ} = (4 + \cos 90^\circ) \times d = 4d = 32 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}, \text{OK!} \end{cases}$$

Liittimien keskinäinen etäisyys kohtisuoraan syitä vastaan:

Palkki

$$\begin{cases} a_{2,0^\circ} = (3 + \sin 0^\circ) \times d = 3d = 24 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}, \text{OK!} \\ a_{2,90^\circ} = (3 + \sin 90^\circ) \times d = 4d = 32 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}, \text{OK!} \end{cases}$$

Hankolauta

$$\begin{cases} a_{2,0^\circ} = (3 + \sin 0^\circ) \times d = 3d = 24 \text{ mm} \leq 90 \text{ mm}, \text{OK!} \\ a_{2,90^\circ} = (3 + \sin 90^\circ) \times d = 4d = 32 \text{ mm} \leq 90 \text{ mm}, \text{OK!} \end{cases}$$

Liittimien päätyetäisyys:

Pilari

$$\begin{cases} a_{3,t,0^\circ} = (7 + 5 \times \cos 0^\circ) \times d = 12d = 96 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}, OK! \\ a_{3,t,90^\circ} = (7 + 5 \times \cos 90^\circ) \times d = 7d = 56 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}, OK! \end{cases}$$

Hankolauta

$$\begin{cases} a_{3,t,0^\circ} = (7 + 5 \times \cos 0^\circ) \times d = 12d = 96 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}, OK! \\ a_{3,t,90^\circ} = (7 + 5 \times \cos 90^\circ) \times d = 7d = 56 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}, OK! \end{cases}$$

Liittimien reunaetäisyydet:

Palkki

$$\begin{cases} a_{4,t,0^\circ} = (3 + 4 \times \sin 0^\circ) \times d = 3d = 24 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}, OK! \\ a_{4,t,90^\circ} = (3 + 4 \times \sin 90^\circ) \times d = 7d = 56 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}, OK! \end{cases}$$

Hankolauta

$$\begin{cases} a_{4,t,0^\circ} = (3 + 4 \times \sin 0^\circ) \times d = 3d = 24 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}, OK! \\ a_{4,t,90^\circ} = (3 + 4 \times \sin 90^\circ) \times d = 7d = 56 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}, OK! \end{cases}$$

4 MITOITUS

4.1 LIITINRYHMÄN MITOITUS LEIKKAUKSELLE (ETA-11/0190)

Hankolaudassa on esiporaus, jotta ruuvien asentaminen ruuviryhmäksi on helppoa. Palkkiin ei tehdä esiporausta. Laskelman yksinkertaistamiseksi käytetään mitoituksessa esiporaamattoman ruuvin reunapuristuslujuutta sekä palkille että hankolaudalle.

$$\text{Reunapuristuslujuus: } f_{h,k} = \frac{0,082 \times \rho_k \times d^{-0,3}}{2,5 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \Rightarrow f_{h,k} = \frac{0,082 \times 390 \times 8^{-0,3}}{2,5 \times (\cos(90^\circ))^2 + (\sin(90^\circ))^2} = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

(HUOM! Liittimen ja syyn välinen kulma huomioitu, esiporattu)

Kärjen puolen tunkeuma, $t_2 = 120 - 56 = 64 \text{ mm}$

ja kannan puolen tunkeuma, $t_1 = 56 \text{ mm}$

Liittimen myötömomentti, $M_{y,k} = 20\,000 \text{ Nmm}$

Liittimen paksuus, $d = d_{ef} = 8 \text{ mm}$ (kierteen ulkohalkaisija ETA:n mukaan)

Liittimen sydänhalkaisija, $d_{ef} = 8 \text{ mm}$ ($> 6 \text{ mm} \Rightarrow$ pulttien kaavat)

Liittimen ja syyn välinen kulma, $\alpha = 90^\circ$

Liittimen ulosvetoparametri, $f_{ax,k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$

Tehollisten liitinten määrä, $n_{ef} = n = 1,0$ (köysivaikutukselle)

Kerroin (liittimen ja syyn välinen kulma), $k_{ax} = 1,0$

tehollinen kierteen pituus, $l_{ef} = \min(64 \text{ mm}; 37 \text{ mm}) = l_{ef} = 37 \text{ mm}$ (kannan puoli mitoittaa)

$$F_{ax,k,Rk} = n_{ef} \times k_{ax} \times f_{ax,k} \times d \times l_{ef} \times \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \Rightarrow F_{ax,k,Rk} = 1 \times 1,0 \times 11,0 \times 8 \times 37 \times \left(\frac{390}{350} \right)^{0,8} = 3550 \text{ N}$$

Liittimen leikkauskestävyys:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \Rightarrow \beta = 1,0$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d = 7\,661 \text{ N} \\ f_{h,2,k} t_2 d = 8\,755 \text{ N} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 4300 \text{ N} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 3932 \text{ N} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 4272 \text{ N} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 3\,578 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 3,9 \text{ kN}$$

Liittimien määrä/liitinryhmä $n_1 = 4$

$$\text{Mitoitusehto: } R_d \leq F_{v,Rk} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times n_1 \Rightarrow 12,3 \text{ kN} \leq 3,6 \text{ kN} \times \frac{1,1}{1,3} \times 4 \text{ kpl} = 12,2 \text{ kN} (101 \%)$$

4.2 LIITINRYHMÄN MITOITUS VEDOLLE (ETA-11/0190)

$$\text{Tehollisten liitinten määrä, } n_{ef} = \max \left\{ \begin{array}{l} n^{0,9} \\ 0,9 \times n (\text{vain vinoruuvaus}) \end{array} \right. \Rightarrow n_{ef} = 4^{0,9} = 3,5$$

4.2.1 LIITINTYHMÄN (LIITTIMIEN) VETOKESTÄVYYS

$$F_{tens,k} = 20,0 \text{ kN} \Rightarrow F_{tens,d} = n_{ef} \times \frac{F_{tens,k}}{\gamma_M} \Rightarrow F_{tens,d} = 3,5 \times \frac{20,0}{1,25} = 56,0 \text{ kN}$$

$$\text{Mitoitusehto: } N_{y,d} \leq F_{tens,d} \Rightarrow 3,2 \text{ kN} \leq 56,0 \text{ kN} (6\%)$$

4.2.2 LIITTIMIEN TARTUNTAKAPASITEETTI (voiman ja syyn välinen kulma $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$)

$$k_{ax} = 1,0 \text{ (voiman ja syyn välinen kulma } 45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ)$$

$$f_{ax,k} = 11,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (d = 8 mm)}$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Kärjen puolen kierteen pituus, } l_{ef,1} = 120 - 56 = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Kannan puolen kierteen pituus, } l_{ef,2} = 37 \text{ mm}$$

=> Kannan puoli mitoittaa

$$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$$

$$F_{ax,k,Rk} = n_{ef} \times k_{ax} \times f_{ax,k} \times d \times l_{ef} \times \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}$$

$$\Rightarrow F_{ax,k,Rk} = 3,5 \times 1,0 \times 11,0 \times 8 \times 37 \times \left(\frac{390}{350} \right)^{0,8} = 12,4 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times F_{ax,\alpha,k} \Rightarrow F_{tens,d} = \frac{1,1}{1,3} \times 12,4 = 10,5 \text{ kN}$$

Mitoitusehto: $N_{y,d} \leq F_{ax,\alpha,d} \Rightarrow 3,2 \text{ kN} \leq 10,5 \text{ kN} (30 \%)$

HUOM! Kannan ja kierteen yhteistoimintaa ei saa laskea kuin vinoruuviliitoksissa

4.2.3 YHDISTETTY VETO JA LEIKKAUS

$$\left(\frac{N_{y,d}}{F_{ax,\alpha,d}} \right)^2 + \left(\frac{R_d}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \Rightarrow \left(\frac{3,2}{10,5} \right)^2 + \left(\frac{12,3}{12,2} \right)^2 = 1,11 \leq 1,0 (111 \%)$$

4.3 HANKOLAUDAN MITOITUS

4.3.1 HANKOLAUDAN LEIKKAUSKESTÄVYYS (Z-suuntaan)

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = 1,0 \times b = 56 \text{ mm (käyttöluokka 1)}$$

$$h = 270 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{2} \times \frac{Q_{z,d,hankolauta}}{b_{ef} \times h} \leq f_{v,d} \Rightarrow \frac{3}{2} \times \frac{2000 \text{ N}}{56 \text{ mm} \times 270 \text{ mm}} \leq \frac{1,1}{1,25} \times 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 0,2 \text{ N/mm}^2 \leq 3,08 \text{ N/mm}^2 (6 \%)$$

4.3.2 HANKOLAUDAN LEIKKAUSKESTÄVYYS (Y-suuntaan)

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = 1,0 \times b = 270 \text{ mm (käyttöluokka 1)}$$

$$h = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{2} \times \frac{Q_{y,d,hankolauta}}{b_{ef} \times h} \leq f_{v,d} \Rightarrow \frac{3}{2} \times \frac{5000 \text{ N}}{270 \text{ mm} \times 56 \text{ mm}} \leq \frac{1,1}{1,25} \times 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 0,50 \text{ N/mm}^2 \leq 3,08 \text{ N/mm}^2 (16 \%)$$

4.3.3 HANKOLAUDAN TAIVUTUSKESTÄVYYS (Z-akselin suhteen)

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{\frac{1}{6} \times b \times h^2} \leq f_{m,d}$$

$$\Rightarrow \sigma_{m,z,d} = \frac{0,3 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 270 \times 56^2} = 2,1 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{1,1}{1,25} \times 28 \text{ N/mm}^2 = 24,6 \text{ N/mm}^2 (9 \%)$$

4.3.4 HANKOLAUDAN TAIVUTUSKESTÄVYYS (Y-akselin suhteen)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{\frac{1}{6} \times b \times h^2} \leq f_{m,d}$$

$$\Rightarrow \sigma_{m,y,d} = \frac{0,7 \times 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{1}{6} \times 56 \times 270^2} = 1,0 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{1,1}{1,25} \times 28 \text{ N/mm}^2 = 24,6 \text{ N/mm}^2 (4 \%)$$

4.3.5 HANKOLAUDAN VETOKESTÄVYYS

Hankolautaan tuleva veto/puristus:

$$N_{d,hankolauta} = 2 \times V_{x,d} \Rightarrow N_{d,hankolauta} = 2 \times 9,1 \text{ kN} = 18,2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{d,hankolauta}}{b \times h} \leq f_{t,0,d}$$

$$\Rightarrow \sigma_{t,0,d} = \frac{18200 \text{ N}}{56 \text{ mm} \times 270 \text{ mm}} = 1,2 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{1,1}{1,25} \times 18,7 \text{ N/mm}^2 = 16,5 \text{ N/mm}^2 (7 \%)$$

4.3.6 HANKOLAUDAN PURISTUSKESTÄVYYS

Hankolautaan tuleva veto/puristus:

$$N_{d,hankolauta} = 2 \times V_{x,d} \Rightarrow N_{d,hankolauta} = 2 \times 9,1 \text{ kN} = 18,2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,hankolauta}}{b \times h} \leq f_{c,0,d}$$

$$\Rightarrow \sigma_{t,0,d} = \frac{18200 \text{ N}}{56 \text{ mm} \times 270 \text{ mm}} = 1,2 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{1,1}{1,25} \times 23,3 \text{ N/mm}^2 = 20,5 \text{ N/mm}^2 (6 \%)$$

4.3.7 HANKOLAUDAN YHDISTETTY VETO- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\Rightarrow \frac{1,2}{16,5} + \frac{1,0}{24,6} + 0,7 \times \frac{2,1}{24,6} = 0,17 \leq 1,00 (17 \%)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\Rightarrow \frac{1,2}{16,5} + 0,7 \times \frac{1,0}{24,6} + \frac{2,1}{24,6} = 0,19 \leq 1,00 \text{ (19 \%)}$$

4.3.8 HANKOLAUDAN YHDISTETTY PURISTUS- JA TAIVUTUSKESTÄVYYS

(Oletus, että hankolauta ei nurjahda)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1,2}{20,5} \right)^2 + \frac{2,1}{24,6} + 0,7 \times \frac{1,0}{24,6} = 0,12 \leq 1,00 \text{ (12 \%)}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1,2}{20,5} \right)^2 + 0,7 \times \frac{2,1}{24,6} + \frac{1,0}{24,6} = 0,10 \leq 1,00 \text{ (10\%)}$$

4.4 PALALOHKEAMINEN

Ei tarvitse tarkastaa puuosien välisissä puikkoliitoksissa (RIL 205-1-2017 s.108)

4.5 LÄPILOHKEAMINEN

Ei tarvitse tarkistaa, koska peräkkäisiä liittimiä on enintään 4kpl ja etäisyys $a_2 \geq 5d$ ($60/90 \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$)

4.6 YHTEENVETO

Liitinryhmä:

• Leikkauskestävyys:	101 %
• Vetokapasiteetti:	6 %
• Tartuntakapasiteetti:	30 %
• Yhdistetty veto ja leikkaus:	111 %

Hankolauta:

• Leikkauskestävyys (Z-suunta):	6 %
• Leikkauskestävyys (Y-suunta):	16 %
• Taivutuskestävyys (Z-akselin suhteen):	9 %
• Taivutuskestävyys (Y-akselin suhteen):	4 %
• Vetokestävyys:	7 %
• Puristuskestävyys:	6 %
• Yhdistetty veto- ja taivutuskestävyys:	17 % / 19 %
• Yhdistetty puristus- ja taivutuskestävyys:	12 %