

Esimerkkilaskelma

Palkin vahvistamaton reikä

29.01.2019

Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT	- 3 -
2	REIÄN MITOITUSOHJEITA.....	- 3 -
3	VOIMASUUREET JA REIÄN TIEDOT	- 4 -
4	MATERIAALI	- 4 -
5	MITOITUS	- 5 -
5.1	TARKISTETAAN REUNAEDOT	- 5 -
5.2	POIKITTAINEN VETOKESTÄVYYS	- 5 -
5.3	LEIKKAUSKESTÄVYYS.....	- 6 -
5.4	PURISTUS-/VETOKESTÄVYYS.....	- 6 -
5.5	TAIVUTUSKESTÄVYYS.....	- 6 -
5.6	YHDISTETYT JÄNNITYKSET	- 7 -

1 LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Helsinki
Rakenne:	Suora palkki, jossa vahvistamaton reikä
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1
	Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3 ja SFS EN 1991-1-4

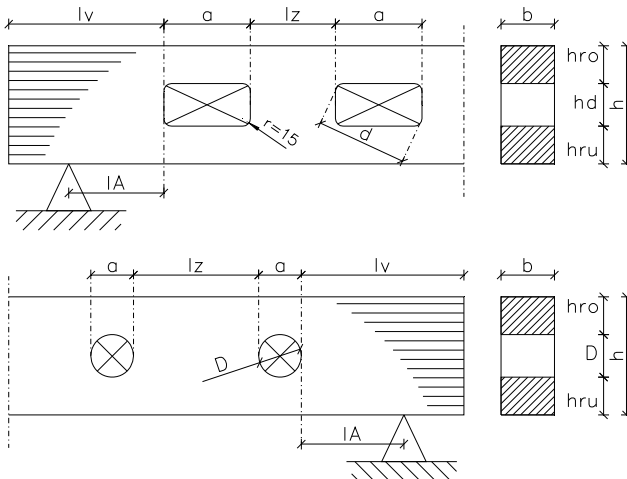
2 REIÄN MITOITUSOHJEITA

RIL 205-1-2017 (s.94) palkkien rei'itys ohje koskee vain liimapuu- ja LVL-palkkeja. Kyseinen ohje perustuu DIN EN1995-1-1/NA mukaiseen mitoitusmenetelmään. **Sahatavaran rei'itykseen voidaan käyttää poikkileikkauksen pienennystä, kun reikä alle 30 mm (RIL 205-1-2017 s.95 alareuna).**

Kerto-LVL:llä mitoitus voidaan tehdä vaihtoehtoisesti VTT:n sertifiikaatin nro 184/03 mukaan.

Kun reiän halkaisija $d > 50$ mm, tulee mittojen täyttää alla olevat ehdot:

1. $l_v \geq h$
2. $l_z \geq 1,5 \times h$, kuitenkin $l_z \geq 300$ mm
3. $l_A \geq h / 2$
4. h_{ro} ja $h_{ru} \geq 0,35 \times h$
5. $a \leq 0,4 \times h$
6. $h_d < 0,15 \times h$ ja pyöreillä $D \leq 0,3 \times h$ ¹⁾, 1) ei ole esitetty DIN 1052:ssa



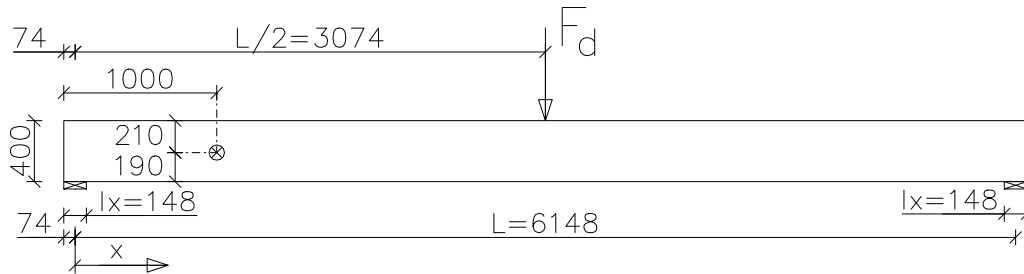
Suorakaide rei'illä h_d = aukon korkeus ja pyöreillä rei'illä $h_d = 0,7 \times D$

Seuraavat mitoitus ehdot tulee tarkastaa:

1. Poikittainen vetojännitys
2. Leikkausjännitys
3. Vetojännitys
4. Puristusjännitys
5. Taivutusjännitys
6. Yhdistetyt jännitykset
 - a. Veto- ja taivutusjännitys
 - b. Puristus- ja taivutusjännitys

3 VOIMASUUREET JA REIÄN TIEDOT

Reikä D = 80 mm, pistekuorma $F_d = 15 \text{ kN}$



Lasketaan voimasuureet reiän keskelle:

$$\text{Leikkausvoima: } V_d = \frac{F_d}{2} \Rightarrow V_d = \frac{15 \text{ kN}}{2} = 7,5 \text{ kN}$$

$$\text{Taivutusmomentti: } M_d(x) = \frac{F_d}{2} \times x \Rightarrow M_d(x) = \frac{15 \text{ kN}}{2} \times (1 \text{ m} - 0,074 \text{ m}) = 6,9 \text{ kNm}$$

4 MATERIAALI

Viilupalkki Kerto-S 51x400

$$k_h = \left(\frac{300 \text{ mm}}{h} \right)^s \leq 1,2 \Rightarrow k_h = \left(\frac{300 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} \right)^{0,12} = 0,97 \leq 1,2$$

$$k_l = \left(\frac{3000 \text{ mm}}{L} \right)^{\frac{s}{2}} \leq 1,1 \Rightarrow k_l = \left(\frac{3000 \text{ mm}}{6148 \text{ mm}} \right)^{\frac{0,12}{2}} = 0,96 \leq 1,1$$

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 2

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,8$$

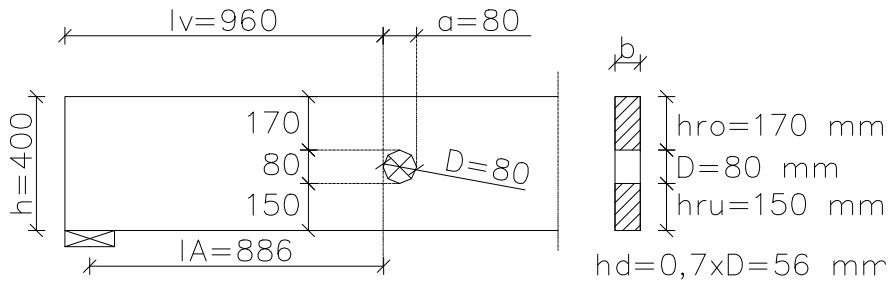
Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

materiaalin varmuusluku, $\gamma_M = 1,2$

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 44,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{\text{mod}} \times f_{m,k} / \gamma_M = 28,5 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times f_{v,k} / \gamma_M = 2,73 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 6,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 4,00 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 35,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 23,3 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,8 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,53 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (0°):	$f_{t,0,k} = 35,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,d} = k_l \times k_{\text{mod}} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 22,4 \text{ N/mm}^2$
Kimmoduuli:	$E_{0,\text{mean}} = 13\,800 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 11\,600 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,\text{mean}} = 600 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 400 \text{ N/mm}^2$

5 MITOITUS

5.1 TARKISTETAAN REUNAEHDOT



1. $l_v \geq h$ $\Rightarrow 960 \text{ mm} \geq 400 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
2. $l_z \geq 1,5 \times h$, kuitenkin $l_z \geq 300 \text{ mm}$ $\Rightarrow$ ei ole kuin yksi reikä $\Rightarrow \text{OK!}$
3. $l_A \geq h / 2$ $\Rightarrow 886 \text{ mm} \geq 400 \text{ mm} / 2 = 200 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
4. $h_{ro} \geq 0,35 \times h$ ja $h_{ru} \geq 0,35 \times h$ $\Rightarrow 170 \text{ mm} \geq 140 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$ ja $h_{ru} \geq 0,35 \times h \Rightarrow 150 \text{ mm} \geq 140 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
5. $a \leq 0,4 \times h$ $\Rightarrow 80 \text{ mm} \leq 160 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
6. $D \leq 0,3 \times h$ ja $h_d \leq 0,15 \times h^*)$ $\Rightarrow 80 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$

*) $h_d \leq 0,15 \times h$, ei koske pyöreitä reikiä

5.2 POIKITTAINEN VETOKESTÄVYYS

$$l_{t,90} = \begin{cases} 0,5 \times (h_d + h); \text{ suorakaiteen muotoiset reiät} \\ 0,35 \times D + 0,5 \times h; \text{ pyöreät reiät} \end{cases}$$

$$\Rightarrow l_{t,90} = 0,35 \times D + 0,5 \times h \Rightarrow l_{t,90} = 0,35 \times 80 \text{ mm} + 0,5 \times 400 \text{ mm} = 228 \text{ mm}$$

$$k_t = \min \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ \left(\frac{450}{h} \right)^{0,5} \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_t = \min \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ \left(\frac{450}{400} \right)^{0,5} \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_t = \min \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ 1,06 \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_t = 1,0$$

$$h_r = \begin{cases} \min(h_{ro}; h_{ru}) & ; \text{ Suorakaiteen muotoiset reiät} \\ \min(h_{ro} + 0,15 \times D; h_{ru} + 0,15 \times D) & ; \text{ pyöreät reiät} \end{cases}$$

$$\Rightarrow h_r = \min(h_{ro} + 0,15 \times D; h_{ru} + 0,15 \times D)$$

$$\Rightarrow h_r = \min(170 \text{ mm} + 0,15 \times 80 \text{ mm}; 150 \text{ mm} + 0,15 \times 80 \text{ mm}) \Rightarrow h_r = 162 \text{ mm}$$

Poikittainen vetovoima:

$$F_{t,90,d} = \frac{V_d \times h_d}{4 \times h} \times \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0,008 \times \frac{M_d}{h_r}$$

$$\Rightarrow F_{t,90,d} = \frac{7,5 \text{ kN} \times 56 \text{ mm}}{4 \times 400 \text{ mm}} \times \left(3 - \frac{(56 \text{ mm})^2}{(400 \text{ mm})^2} \right) + 0,008 \times \frac{6,9 \text{ kNm}}{0,162 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow F_{t,90,d} = 0,2625 \text{ kN} \times 2,9804 + 0,3407 \text{ kN} = 1,12 \text{ kN}$$

Poikittainen vetojännitys:

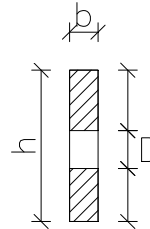
$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \times b \times k_{t,90} \times l_{t,90}} \Rightarrow \sigma_{t,90,d} = \frac{1,12 \times 10^3 N}{0,5 \times 51 mm \times 1,0 \times 228 mm} = 0,19 N/mm^2$$

Mitoitusehto: $\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} (36\%)$

5.3 LEIKKAUSKESTÄVYYS

$$h_{eff} = h - D \Rightarrow h_{eff} = 400 mm - 80 mm = 320 mm$$

$$A_{eff} = h_{eff} \times b \Rightarrow A_{eff} = 320 mm \times 51 mm = 16320 mm^2$$



Lasketaan leikkausjännitys:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{A_{eff}} \Rightarrow \tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{7500 N}{16320 mm^2} = 0,69 N/mm^2$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v,d} (25\%)$

5.4 PURISTUS-/VETOKESTÄVYYS

Kyseisessä rakenteessa ei ole normaalivoimaa => ei mitoitusta.

Lasketaan veto-/puristusjännitys:

$$\sigma_{t,d} (\sigma_{c,d}) = \frac{N_d}{A_{eff}}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{t,d} (\sigma_{c,d}) \leq f_{t,d} (f_{c,d}) (-\%)$

5.5 TAIVUTUSKESTÄVYYS

$$A_1 = b \times h_1 \Rightarrow A_1 = 51 mm \times 170 mm = 8670 mm^2$$

$$A_2 = b \times h_2 \Rightarrow A_2 = 51 mm \times 150 mm = 7650 mm^2$$

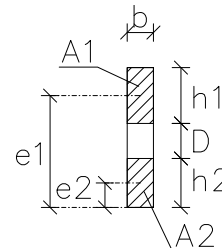
$$e_1 = h - h_1 / 2 \Rightarrow e_1 = 400 mm - 170 / 2 = 315 mm$$

$$e_2 = h_2 / 2 \Rightarrow 150 mm / 2 = 75 mm$$

$$A_1 \times e_1 = 8670 mm \times 315 mm = 2 731 050 mm^3$$

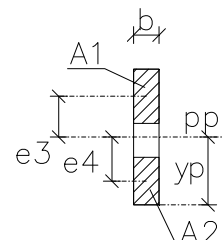
$$A_2 \times e_2 = 7650 mm \times 75 mm = 573 750 mm^3$$

$$\Sigma A \times e = 3 304 800 mm^3$$



Lasketaan painopisteen (pp) etäisyys palkin alareunasta:

$$y_p = \frac{E_1 \times A_1 \times e_1 + E_2 \times A_2 \times e_2}{E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2}$$



koska $E_1 = E_2$

$$\Rightarrow y_p = \frac{A_1 \times e_1 + A_2 \times e_2}{A_1 + A_2} \Rightarrow y_p = \frac{2731050 \text{ mm}^3 + 573750 \text{ mm}^3}{8670 \text{ mm}^2 + 7650 \text{ mm}^2} = 202,5 \text{ mm}$$

Lasketaan ylä- ja alaosan etäisyys painopisteestä:

$$e_3 = e_1 - y_p \Rightarrow e_3 = 315 \text{ mm} - 202,5 \text{ mm} = 112,5 \text{ mm}$$

$$e_4 = y_p - e_2 \Rightarrow e_4 = 202,5 \text{ mm} - 75 \text{ mm} = 127,5 \text{ mm}$$

Tarkistus: $e_3 + e_4 + h_1 / 2 + h_2 / 2 \Rightarrow 112,5 \text{ mm} + 127,5 \text{ mm} + 170 \text{ mm} / 2 + 150 \text{ mm} / 2 = 400 \text{ mm}$ OK!

Lasketaan sekä ylä- ja alaosan, että koko palkin hitausmomentit:

$$I_1 = \frac{1}{12} \times b \times h_1^3 \Rightarrow I_1 = \frac{1}{12} \times 51 \text{ mm} \times (170 \text{ mm})^3 = 20880250 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \times b \times h_2^3 \Rightarrow I_2 = \frac{1}{12} \times 51 \text{ mm} \times (150 \text{ mm})^3 = 14343750 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{palkki}} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \Rightarrow I = \frac{1}{12} \times 51 \text{ mm} \times (400 \text{ mm})^3 = 272000000 \text{ mm}^4$$

Lasketaan efektiivinen hitausmomentti:

$$I_1 + A_1 \times e_3^2 (= \text{St.lisä}) \Rightarrow 20880250 \text{ mm}^4 + 8670 \text{ mm}^2 \times (112,5 \text{ mm})^2 = 130609937,5 \text{ mm}^4$$

$$I_2 + A_2 \times e_4^2 (= \text{St.lisä}) \Rightarrow 14343750 \text{ mm}^4 + 7650 \text{ mm}^2 \times (127,5 \text{ mm})^2 = 138704062,5 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{eff}} = I_1 + A_1 \times e_3^2 + I_2 + A_2 \times e_4^2 = 269314000 \text{ mm}^4$$

Tarkistus: $I_{\text{eff}} < I_{\text{palkki}} \Rightarrow 269314000 \text{ mm}^4 < 272000000 \text{ mm}^4$ OK!

Lasketaan reiän alareunanjännitys:

$$\sigma_a = M_d \times \frac{y_p}{I_{\text{eff}}} \Rightarrow \sigma_a = 6,9 \times 10^6 \text{ Nmm} \times \frac{202,5 \text{ mm}}{269314000 \text{ mm}^4} = 5,19 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reiän yläreunanjännitys:

$$\sigma_y = M_d \times \frac{h - y_p}{I_{\text{eff}}} \Rightarrow \sigma_y = 6,9 \times 10^6 \text{ Nmm} \times \frac{400 \text{ mm} - 202,5 \text{ mm}}{269314000 \text{ mm}^4} = 5,06 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto: $\max(\sigma_a; \sigma_y) \leq f_{m,d} \Rightarrow \max(5,19 \text{ N/mm}^2; 5,06 \text{ N/mm}^2) \leq f_{m,d} (18\%)$

5.6 YHDISTETYT JÄNNITYKSET

Yhdistetty veto ja taivutus (tässä esimerkissä ei ole normaalivoimaa):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_y}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,0 \text{ N/mm}^2}{22,4 \text{ N/mm}^2} + \frac{5,06 \text{ N/mm}^2}{28,5 \text{ N/mm}^2} = 0,18 \leq 1,0 (18\%)$$

Yhdistetty puristus ja taivutus (tässä esimerkissä ei ole normaalivoimaa):

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_d}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \left(\frac{0,0 \text{ N/mm}^2}{23,3 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + \frac{5,19 \text{ N/mm}^2}{28,5 \text{ N/mm}^2} = 0,18 \leq 1,0 \text{ (18\%)}$$