

Esimerkkilaskelma

Palkin vahvistettu 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.....	- 7 -
5.4	PURISTUS-/VETOKESTÄVYYS.....	- 7 -
5.5	TAIVUTUSKESTÄVYYS.....	- 7 -
5.6	YHDISTETYT JÄNNITYKSET	- 9 -

1 LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Helsinki
Rakenne:	Suora palkki, jossa vahvistettu reikä
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2009, SFS EN 1995-1-1, DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08, SFS 7027 Kuormat: RIL 201-1-2011, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3 ja SFS EN 1991-1-4

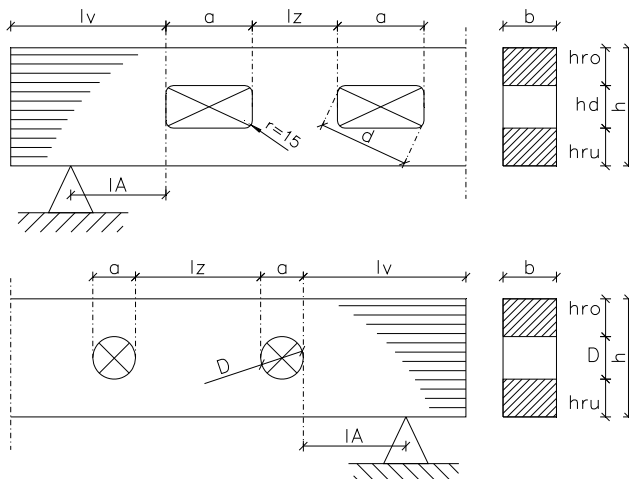
2 REIÄN MITOITUSOHJEITA

RIL 205-1-2017 (s.94) palkkien rei'itys ohje koskee vain liimapuu- ja LVL-palkkeja. Kyseinen ohje perustuu DIN EN 1995-1-1/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 $h_d = 0,7 \times D$

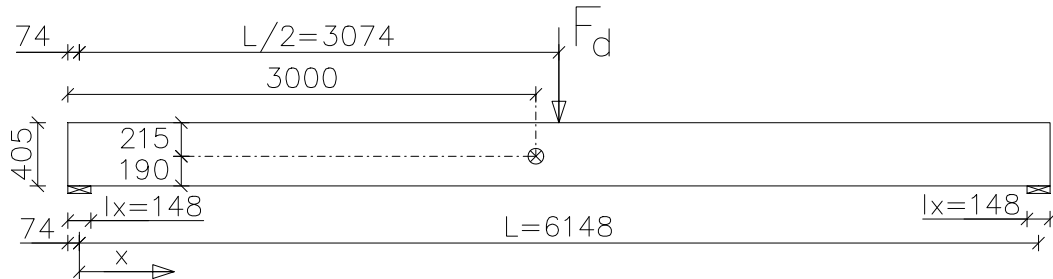
Seuraavat mitoitus ehdot tulee tarkastaa:

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 $F_d = 32,0 \text{ kN}$



Lasketaan voimasuureet reiän keskelle:

$$\text{Leikkausvoima: } V_d = \frac{F_d}{2} \Rightarrow V_d = \frac{32,0 \text{ kN}}{2} = 16,0 \text{ kN}$$

$$\text{Taivutusmomentti: } M_d(x) = \frac{F_d}{2} \times x \Rightarrow M_d(x) = \frac{32,0 \text{ kN}}{2} \times (3 \text{ m} - 0,074 \text{ m}) = 46,8 \text{ kNm}$$

4 MATERIAALI

Liimapuupalkki GL30c 90x405

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

palkin korkeus 405 mm

⇒ taivutuslujuuden ominaisarvon korotuskerroin $k_h = 1,04$

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 2

⇒ $k_{\text{mod}} = 0,8$

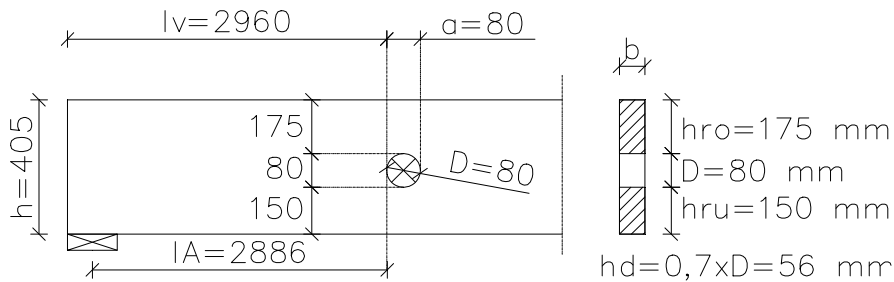
Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

materiaalin varmuusluku, $\gamma_M = 1,25$

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{\text{mod}} \times f_{m,k} / \gamma_M = 20,0 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times f_{v,k} / \gamma_M = 2,24 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 1,60 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 24,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 15,7 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,32 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (0°):	$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_h \times k_{\text{mod}} \times f_{t,0,k} / \gamma_M = 13,0 \text{ N/mm}^2$
Kimmoduuli:	$E_{0,\text{mean}} = 13\,000 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 10\,800 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,\text{mean}} = 650 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$

5 MITOITUS

5.1 TARKISTETAAN REUNAEHDOT



1. $l_v \geq h$ $\Rightarrow 2960 \text{ mm} \geq 405 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
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. $l_A \geq h / 2$ $\Rightarrow 2886 \text{ mm} \geq 405 \text{ mm} / 2 = 202,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
4. $h_{ro} \geq 0,35 \times h$ ja $h_{ru} \geq 0,35 \times h$ $\Rightarrow 175 \text{ mm} \geq 141 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$ ja $h_{ru} \geq 0,35 \times h \Rightarrow 150 \text{ mm} \geq 141 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
5. $a \leq 0,4 \times h$ $\Rightarrow 80 \text{ mm} \leq 162 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$
6. $D \leq 0,3 \times h$ ja $h_d \leq 0,15 \times h^*)$ $\Rightarrow 80 \text{ mm} \leq 121,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK!}$

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

5.2 POIKITTAINEN VETOKESTÄVYYS

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

$$\Rightarrow l_{t,90} = 0,35 \times D + 0,5 \times h \Rightarrow l_{t,90} = 0,35 \times 80 \text{ mm} + 0,5 \times 405 \text{ mm} = 230,5 \text{ mm}$$

$$k_t = \min \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ \left(\frac{450}{h} \right)^{0,5} \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_t = \min \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ \left(\frac{450}{405} \right)^{0,5} \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_t = \min \left\{ \begin{matrix} 1,0 \\ 1,05 \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_t = 1,0$$

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

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

$$\Rightarrow h_r = \min(175 \text{ mm} + 0,15 \times 80 \text{ mm}; 150 \text{ mm} + 0,15 \times 80 \text{ mm}) \Rightarrow h_r = 162 \text{ mm}$$

Poikittainen vetovoima:

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

$$\Rightarrow F_{t,90,d} = \frac{16,0 \text{ kN} \times 56 \text{ mm}}{4 \times 405 \text{ mm}} \times \left(3 - \frac{(56 \text{ mm})^2}{(405 \text{ mm})^2} \right) + 0,008 \times \frac{46,8 \text{ kNm}}{0,162 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow F_{t,90,d} = 0,553 \text{ kN} \times 2,9808 + 2,311 \text{ kN} = 4,0 \text{ kN}$$

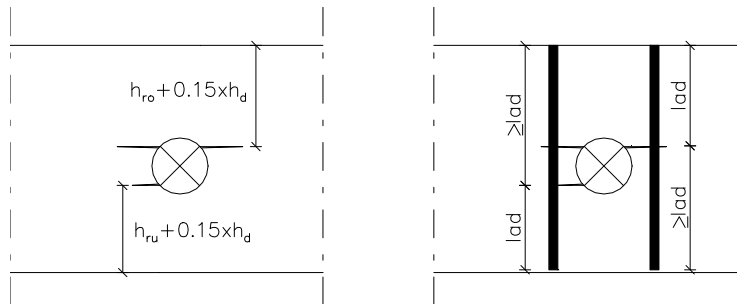
Poikittainen vetojännitys:

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \times b \times k_{t,90} \times l_{t,90}} \Rightarrow \sigma_{t,90,d} = \frac{4,0 \times 10^3 \text{ N}}{0,5 \times 90 \text{ mm} \times 1,0 \times 230,5 \text{ mm}} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

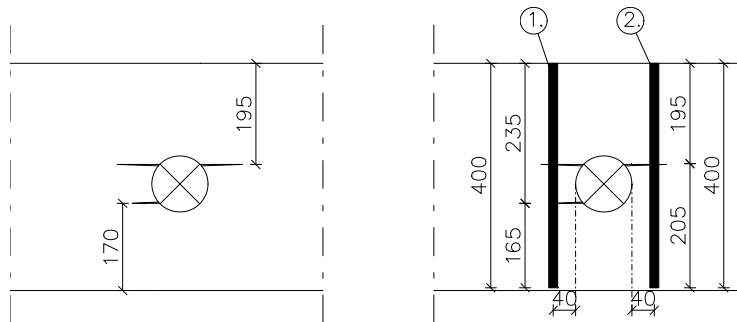
Mitoitusehto: $\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} (121\%)$ ei käy, reikää vahvistettava

Tehdään vahvistus porattavilla ruuvitangoilla (SFS Intec WB-T-16x400), joka porataan palkin yläpuolelta palkin yläpinnan tasalle, yksi tanko reiän molemmille puolille. (mitoitus DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 mukaan)

Halkeaman oletettu alkamiskohta ja tangon ankkuroinnin rajoituksia (lähempi tuki vasemmalla):



Joten päädytään seuraavaan ratkaisuun:



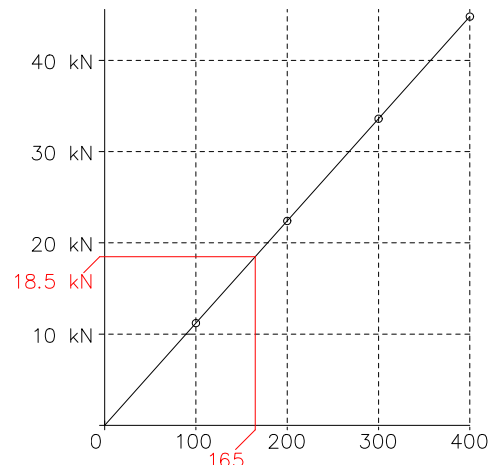
tanko nro 1, $l_{ad} = 165 \text{ mm} \leq 235 \text{ mm}$ ja tanko nro 2, $l_{ad} = 195 \text{ mm} \leq 205 \text{ mm} \Rightarrow l_{ad,min} = 165 \text{ mm} = l_{ef}$

Load-bearing capacities of the WB threaded rod

For $p_k = 380 \text{ kg/m}^3$ and $k_{mod} = 0.9$

Other gross densities or modification factors: $R'_{ax,d} = R_{ax,d} \cdot k_F \cdot k_M$

	WB-T-16	WB-T-20
l_{ef}	$R_{ax,d}$	$R_{ax,d}$
100 mm	11.2 kN	14.0 kN
200 mm	22.4 kN	28.0 kN
300 mm	33.6 kN	42.0 kN
400 mm	44.8 kN	56.0 kN
500 mm	56.0 kN	70.0 kN
600 mm	67.2 kN	84.0 kN
700 mm	beyond $l_{ef} = 644 \text{ mm}$: $R_{ax,d,max} = 72.38 \text{ kN}$	98.0 kN
800 mm		112.0 kN
		beyond $l_{ef} = 808 \text{ mm}$: $R_{ax,d,max} = 113.10 \text{ kN}$



Kuva 1: SFS Intec:n suunnitteluohje

Yhden ruuvitangon vetokapasiteetti valitaan taulukosta ja interpoloidaan arvo $\Rightarrow R_{ax,d} = 18,5 \text{ kN}$

Lisäksi on huomioitava puun tiheys (interpoloidaan $\Rightarrow k_F = 1,055$) ja aika- ja kosteusluokkakerroin ($0,9 \Rightarrow 0,8$ eli $k_M = 0,889$):

$$R'_{ax,d} = R_{ax,d} \times k_F \times k_M \Rightarrow R'_{ax,d} = 18,5 \text{ kN} \times 1,055 \times 0,889 = 17,4 \text{ kN}$$

Lasketaan ruuvitangolle tuleva kuorma = poikittainen vetovoima:

$$\begin{aligned} F_{t,90,d} &= \frac{V_d \times h_d}{4 \times h} \times \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0,008 \times \frac{M_d}{h_r} \\ \Rightarrow F_{t,90,d} &= \frac{16,0 \text{ kN} \times 56 \text{ mm}}{4 \times 405 \text{ mm}} \times \left(3 - \frac{(56 \text{ mm})^2}{(405 \text{ mm})^2} \right) + 0,008 \times \frac{46,8 \text{ kNm}}{0,162 \text{ m}} \\ \Rightarrow F_{t,90,d} &= 0,553 \text{ kN} \times 2,9808 + 2,311 \text{ kN} = 4,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Mitoitusehto: $F_{t,90,d} \leq R_{ax,d} (23\%)$ $\Rightarrow$ voisi käyttää pienempi ruuveja

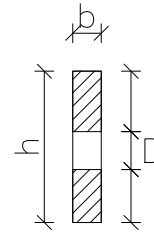
5.3 LEIKKAUSKESTÄVYYS

$$h_{\text{eff}} = h - D \Rightarrow h_{\text{eff}} = 405 \text{ mm} - 80 \text{ mm} = 325 \text{ mm}$$

$$A_{\text{eff}} = h_{\text{eff}} \times b \Rightarrow A_{\text{eff}} = 325 \text{ mm} \times 90 \text{ mm} = 29250 \text{ mm}^2$$

Lasketaan leikkausjännitys:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{A_{\text{eff}}} \Rightarrow \tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{16000 \text{ N}}{29250 \text{ mm}^2} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$



Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v,d} (65\%)$

5.4 PURISTUS-/VETOKESTÄVYYS

Kyseisessä rakenteessa ei ole normaalivoimaa $\Rightarrow$ ei mitoitusta.

Lasketaan veto-/puristusjännitys:

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

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

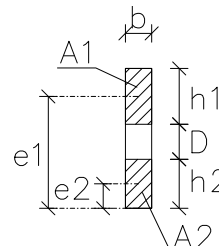
5.5 TAIVUTUSKESTÄVYYS

$$A_1 = b \times h_1 \Rightarrow A_1 = 90 \text{ mm} \times 175 \text{ mm} = 15750 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = b \times h_2 \Rightarrow A_2 = 90 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} = 13500 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = h - h_1 / 2 \Rightarrow e_1 = 405 \text{ mm} - 175 / 2 = 317,5 \text{ mm}$$

$$e_2 = h_2 / 2 \Rightarrow 150 \text{ mm} / 2 = 75 \text{ mm}$$



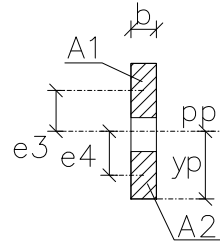
$$\begin{aligned} A_1 \times e_1 &= 15\,750\text{ mm} \times 317,5\text{ mm} &= 5\,000\,625\text{ mm}^3 \\ A_2 \times e_2 &= 13\,500\text{ mm} \times 75\text{ mm} &= 1\,012\,500\text{ mm}^3 \\ \Sigma A \times e & &= 6\,013\,125\text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Lasketaan painopisteen (pp) etäisyys palkin alareunasta:

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

$$\text{koska } E_1 = E_2$$

$$\Rightarrow y_p = \frac{A_1 \times e_1 + A_2 \times e_2}{A_1 + A_2} \Rightarrow y_p = \frac{5\,000\,625\text{ mm}^3 + 1\,012\,500\text{ mm}^3}{15\,750\text{ mm}^2 + 13\,500\text{ mm}^2} = 205,6\text{ mm}$$



Lasketaan ylä- ja alaosan etäisyys painopisteestä:

$$e_3 = e_1 - y_p \Rightarrow e_3 = 317,5\text{ mm} - 205,6\text{ mm} = 111,9\text{ mm}$$

$$e_4 = y_p - e_2 \Rightarrow e_4 = 205,6\text{ mm} - 75\text{ mm} = 130,6\text{ mm}$$

Tarkistus: $e_3 + e_4 + h_1 / 2 + h_2 / 2 \Rightarrow 111,9\text{ mm} + 130,6\text{ mm} + 175\text{ mm} / 2 + 150\text{ mm} / 2 = 405\text{ mm}$ OK!

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

$$I_1 = \frac{1}{12} \times b \times h_1^3 \Rightarrow I_1 = \frac{1}{12} \times 90\text{ mm} \times (175\text{ mm})^3 = 40195313\text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \times b \times h_2^3 \Rightarrow I_2 = \frac{1}{12} \times 90\text{ mm} \times (150\text{ mm})^3 = 25312500\text{ mm}^4$$

$$I_{\text{palkki}} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \Rightarrow I = \frac{1}{12} \times 90\text{ mm} \times (405\text{ mm})^3 = 498225938\text{ mm}^4$$

Lasketaan efektiivinen hitausmomentti:

$$I_1 + A_1 \times e_3^2 (= \text{St.lisä}) \Rightarrow 40195313\text{ mm}^4 + 15\,750\text{ mm}^2 \times (111,9\text{ mm})^2 = 237410671\text{ mm}^4$$

$$I_2 + A_2 \times e_4^2 (= \text{St.lisä}) \Rightarrow 25312500\text{ mm}^4 + 13\,500\text{ mm}^2 \times (130,6\text{ mm})^2 = 255573360\text{ mm}^4$$

$$I_{\text{eff}} = I_1 + A_1 \times e_3^2 + I_2 + A_2 \times e_4^2 = 492984031\text{ mm}^4$$

Tarkistus: $I_{\text{eff}} < I_{\text{palkki}} \Rightarrow 492\,984\,031\text{ mm}^4 < 498\,225\,938\text{ mm}^4$ OK!

Lasketaan reiän alareunanjännitys:

$$\sigma_a = M_d \times \frac{y_p}{I_{\text{eff}}} \Rightarrow \sigma_a = 46,8 \times 10^6\text{ Nmm} \times \frac{205,6\text{ mm}}{492984031\text{ mm}^4} = 19,5\text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reiän yläreunanjännitys:

$$\sigma_y = M_d \times \frac{h - y_p}{I_{\text{eff}}} \Rightarrow \sigma_y = 46,8 \times 10^6\text{ Nmm} \times \frac{405\text{ mm} - 205,6\text{ mm}}{492984031\text{ mm}^4} = 18,9\text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto: $\max(\sigma_a; \sigma_y) \leq f_{m,d} \Rightarrow \max(19,5\text{ N/mm}^2; 18,9\text{ N/mm}^2) \leq f_{m,d} (98\%)$

5.6 YHDISTETYT JÄNNITYKSET

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

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_y}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,0 \text{ N/mm}^2}{13,0 \text{ N/mm}^2} + \frac{18,9 \text{ N/mm}^2}{20,0 \text{ N/mm}^2} = 0,95 \leq 1,0 \text{ (95\%)}$$

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

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_a}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \left(\frac{0,0 \text{ N/mm}^2}{15,7 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + \frac{19,5 \text{ N/mm}^2}{20,0 \text{ N/mm}^2} = 0,98 \leq 1,0 \text{ (98\%)}$$