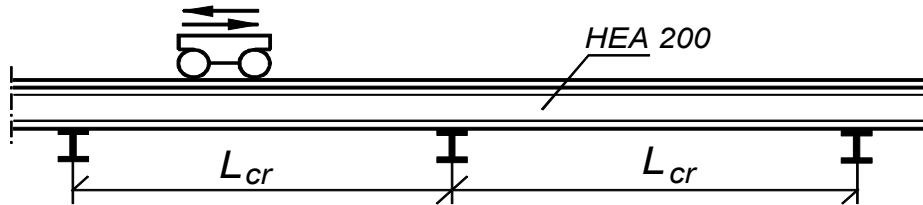


Esimerkki 13: Sivusuunnassa tukematon taivutettu palkki

Lasketaan teollisuushallin nosturipalkin taivutuskestävyys, kun palkin sivutuntojen väli on $L_{cr} = 4\text{ m}$ ja kuorma vaikuttaa ylälaipalla. Palkin teräslaji on S355. Pituudella L_{cr} palkkia tarkastellaan kiepahduksen suhteen varmalle puolelle haarukkalaakeroituna rakenteena.



Palkin poikkileikkaustiedot: HEA 200, $h = 190\text{ mm}$, $b = 200\text{ mm}$, $t_f = 10\text{ mm}$, $t_w = 6,5\text{ mm}$, $r = 18\text{ mm}$, $i_y = 82,8\text{ mm}$, $i_z = 49,8\text{ mm}$, $I_y = 3692 \times 10^4\text{ mm}^4$, $I_z = 1336 \times 10^4\text{ mm}^4$, $I_T = 20,98 \times 10^4\text{ mm}^4$, $I_w = 108000 \times 10^6\text{ mm}^6$, $A = 5383\text{ mm}^2$, $W_{pl,y} = 429 \times 10^3\text{ mm}^3$

Materiaalitiedot: $f_y = 355\text{ N/mm}^2$, γ_{M0} ja $\gamma_{M1} = 1,0$, $E = 210000\text{ N/mm}^2$, $G = 81000\text{ N/mm}^2$,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814.$$

Poikkileikkausluokka taivutetun uuman perusteella:

$$c/t = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{190 - 2 \times (10 + 18)}{6,5} = 20,62, \quad 72\varepsilon = 72 \times 0,814 = 58,61,$$

$c/t < 72\varepsilon \Rightarrow$ poikkileikkausluokka 1

Poikkileikkausluokka puristetun laipan perusteella: $c/t = \frac{\frac{b}{2} - \left(\frac{t_w}{2} + r\right)}{t_f} = \frac{100 - \left(\frac{6,5}{2} + 18\right)}{10} = 7,88,$

$$9\varepsilon = 9 \times 0,814 = 7,326, \quad 10\varepsilon = 10 \times 0,814 = 8,14, \quad 10\varepsilon > c/t > 9\varepsilon \Rightarrow \text{poikkileikkausluokka 2}$$

Profiili kuuluu poikkileikkausluokkaan 2.

Palkin poikkileikkauksen taivutuskestävyys:

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}, \quad M_{y,c,Rd} = \frac{429 \times 10^3 \times 355}{1,0} = 152,30\text{ kNm}.$$

Palkin kiepahduskestävyys: $M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ jossa $\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$,

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]; \alpha_{LT} = \text{kiepahduksen epätarkkuustekijä ja } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$\alpha_{LT} = 0,34$ (valssattu profiili, $h/b = 0,95$ jolloin kiepahduskäyrä on "b" taulukon 3.6 mukaisesti).

Tässä tapauksessa profiili on kaksoissymmetrinen, jolloin:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr}^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2}{\pi^2} \frac{G I_T}{E I_z} + (C_2 z_g)^2} - (C_2 z_g) \right\} \text{ (sähköinen liite L3.6)}$$

$$z_g = z_a - z_0 = z_a = \frac{h}{2} = \frac{190}{2} = 95 \text{ mm}$$

z_0 = vääntökeskiön etäisyys painopisteestä (kaksoissymmetrinen poikkileikkaus, $z_0 = 0$),

z_a = etäisyys painopisteestä kuorman vaikutuskohtaan poikkileikkauksen korkeussuunnassa, $z_a > 0$ painopisteen yläpuolella, $z_a < 0$ painopisteen alapuolella, tässä tapauksessa $z_a = \frac{h}{2}$.

$k = 1$ ja $k_w = 1$,

$C_1 = 1,565$ ja $C_2 = 1,267$,

$$M_{cr} = 1,565 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1336 \times 10^4}{4000^2} \times \left\{ \sqrt{\frac{108 \times 10^9}{1336 \times 10^4} + \frac{4000^2}{\pi^2} \frac{81 \times 10^3 \times 20,98 \times 10^4}{210000 \times 1336 \times 10^4} + (1,267 \times 95)^2} - (1,267 \times 95) \right\}$$

$$M_{cr} = 161,45 \text{ kNm}.$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429 \times 10^3 \times 355}{161,45 \times 10^6}} = 0,971,$$

(a) χ_{LT} yleisen tapauksen mukaisesti ($\alpha_{LT} = 0,21$, taulukon 6.4 perusteella):

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,21(0,971 - 0,2) + 0,971^2 \right] = 1,052,$$

$$\chi_{LT(a)} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,052 + \sqrt{1,052^2 - 0,971^2}} = 0,686,$$

(b) χ_{LT} valssattujen profiilien mukaisesti ($\alpha_{LT} = 0,34$, taulukon 6.5 perusteella):

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34(0,971 - 0,4) + 0,75 \times 0,971^2 \right] = 0,951$$

$$\chi_{LT(b)} = \frac{l}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{l}{0,951 + \sqrt{0,951^2 - 0,75 \times 0,971^2}} = 0,717 < \frac{l}{\bar{\lambda}_{LT}^2}$$

$$M_{b,Rd} = (\chi_{LT(a)} \text{ tai } \chi_{LT(b)}) W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = (0,686 \text{ tai } 0,717) \times \frac{429 \times 10^3 \times 355}{1,0} \\ = (104,47 \text{ tai } 109,20) \text{ kNm}$$