

Obliczenia statyczne

Poz. 1.0 Obciążenia

Poz. 1.1 Obciążenia dachu

Poz. 1.1.1 Obciążenia stałe

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
Dachówka ceramiczna "Holenderka"	0,900	1,20	1,080
Łaty (0,04m x 0,05m x 6kN/m ³) / 0,30m	0,040	1,20	0,048
Kontrłaty (0,03m x 0,05m x 6kN/m ³) / 1,00m	0,009	1,20	0,011
Papa x1 na deskowaniu	0,300	1,20	0,360
Kontrłaty (0,03m x 0,05m x 6kN/m ³) / 1,00m	0,009	1,20	0,011
Krokwie 0,14m x 0,16m	0,000	1,10	0,000
Nadbitka (0,03m x 0,05m x 6kN/m ³) / 1,00m	0,009	1,20	0,011
Wełna mineralna "Megarock" 0,24m x 0,40kN/m ³	0,096	1,20	0,115
Folia	0,003	1,20	0,004
Płyta gips-karton p.poż 0,0125m x 12kN/m ³	0,150	1,20	0,180
Deski 0,022m x 6kN/m ³	0,132	1,20	0,158
$q_k =$	1,648	$q_o =$	1,978

Obciążenia obliczeniowe na 1m² rzutu poziomego dachu

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
$\alpha = 37,50^\circ \quad \cos\alpha = 0,793 \quad \Rightarrow \quad q_k/\cos\alpha =$	2,077	1,20	2,493

Poz. 1.1.2 Wiatr I strefa

Obciążenie wiatrem połaci dachu przyjęto zgodnie z normą "wiatrową" tabela Z1-3.

$$h = 4,60 \text{ m} \quad L = 22,1 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad h/L = 0,21 < 2$$

$$q_k = 0,25 \text{ kN/m}^2 \quad C_e = 0,80 \quad \beta = 1,8$$

$$\alpha = 37,50^\circ \quad C_n = 0,015\alpha - 0,2 = 0,36 \quad C_z = -0,40$$

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
połać nawietrzna $p_k = q_k C_e C_n \beta =$	0,131	1,30	0,17
połać zawietrzna $p_k = q_k C_e C_z \beta =$	-0,144	1,30	-0,187

Poz. 1.1.4 Śnieg II strefa

Obliczenia wykonano zgodnie z normą śniegową PN-80/B-02010.

$$Q_k = 0,90 \text{ kN/m}^2 \quad \alpha = 37,5^\circ \quad \Rightarrow \quad C_1 = 0,8 \left(\frac{60 - \alpha}{30} \right) = 0,60$$

$$C_2 = 1,2 \left(\frac{60 - \alpha}{30} \right) = 0,90$$

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
Obciążenie śniegiem $S_{k1} = Q_k C_1 =$	0,540	1,40	0,756
Obciążenie śniegiem $S_{k2} = Q_k C_2 =$	0,810	1,40	1,134

Poz. 1.2 Obciążenia stropów

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
Deski 0,03m x 6kN/m ³ $q_k =$	0,180	1,20	0,216
Obciążenia zmienne $q_k =$	1,500	1,40	2,100

Poz. 1.3 Obciążenia ścian

Poz. 1.3.1 Obciążenia stałe

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
Deski 0,025m x 6kN/m ³	0,150	1,20	0,180
Folia	0,003	1,20	0,004
Płyta gips-karton p.poż 0,0125m x 12kN/m ³	0,150	1,20	0,180
Folia	0,003	1,20	0,004
Wełna mineralna "Megarock" 0,16m x 0,40kN/m ³	0,064	1,20	0,077
Folia	0,003	1,20	0,004
Łaty (0,04m x 0,05m x 6kN/m ³) / 0,40m	0,030	1,20	0,036
Płyta gips-karton p.poż 0,0125m x 12kN/m ³	0,150	1,20	0,180
Deski 0,025m x 6kN/m ³	0,150	1,20	0,180
$q_k =$	0,703	1,20	0,844

Poz. 1.3.2 Obciążenia zmienne - wiatr

Obciążenie wiatrem ścian przyjęto zgodnie z normą "wiatrową" tablica Z1-1.

$q_k = 0,25$	kN/m ²	$H = h = 4,60$ m	$H/L = 0,21 < 2$
$C_e = 0,80$		$L = 22,10$ m	$B/L = 0,46 < 1$
$\beta = 1,80$		$B = 10,10$ m	$L/B = 2,19 > 1$

Parcie wiatru na ścianę podłużną "L"

Ściana podłużna nawietrzna	$C_n = 0,70$
Ściana podłużna zawietrzna	$C_z = -0,40$
Ściany szczytowe	$C_{sz} = -0,70$

	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
Ściana nawietrzna $p_k = q_k C_e C_n \beta$	$p_k = 0,252$	1,30	0,328
Ściana zawietrzna $p_k = q_k C_e C_z \beta$	$p_k = -0,144$	1,30	-0,187
Ściana szczytowa $p_k = q_k C_e C_{sz} \beta$	$p_k = -0,252$	1,30	-0,328

Parcie wiatru na ścianę szczytową "B"

Ściana szczytowa nawietrzna	$C_n = 0,70$
Ściana szczytowa zawietrzna	$C_z = -0,30$
Ściany podłużne	$C_{sz} = -0,50$

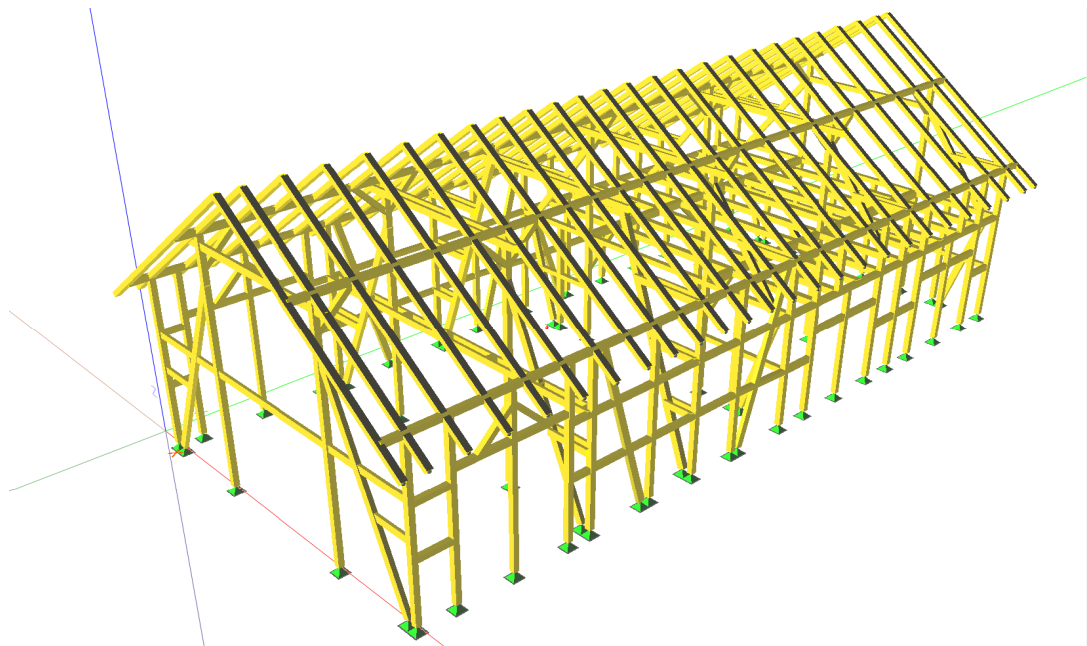
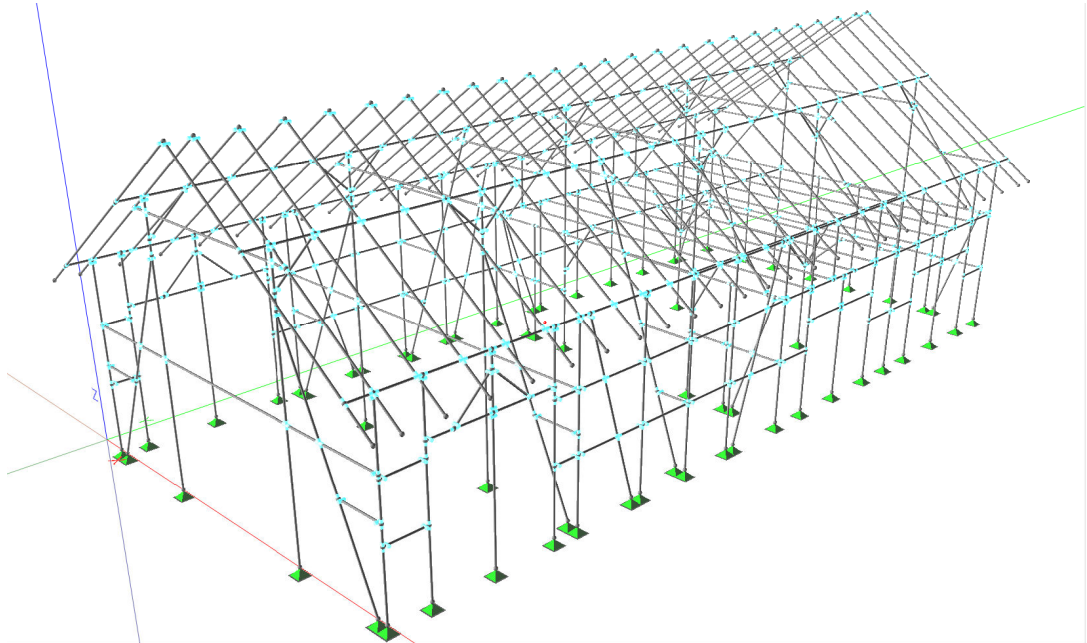
	kN/m ²	γ_f	kN/m ²
Ściana nawietrzna $p_k = q_k C_e C_n \beta$	$p_k = 0,252$	1,30	0,328
Ściana zawietrzna $p_k = q_k C_e C_z \beta$	$p_k = -0,108$	1,30	-0,140
Ściany podłużne $p_k = q_k C_e C_{sz} \beta$	$p_k = -0,180$	1,30	-0,234

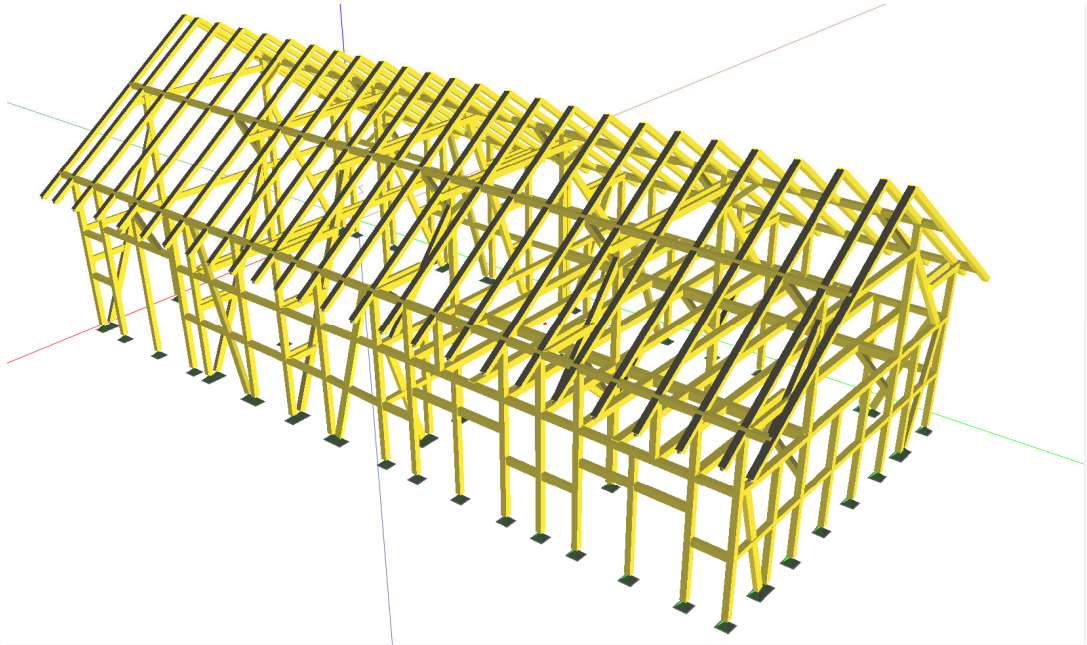
Poz. 2.0 Konstrukcja stodoły

Do dalszych obliczeń sprawdzających przyjęto, że konstrukcja drewniana stodoły została z drewna klasy C35 o następujących parametrach wytrzymałościowych:

$$\begin{array}{llll}
 f_{c,0,k} = 25 \text{ MPa} & \Rightarrow & x_d = \frac{k_{mod} x_k}{\gamma_M} & \Rightarrow & f_{c,0,d} = 13,5 \text{ MPa} \\
 f_{c,90,k} = 6 \text{ MPa} & & & & f_{c,90,d} = 3,23 \text{ MPa} \\
 f_{m,y,k} = 35 \text{ MPa} & & & & f_{m,y,d} = 18,8 \text{ MPa} \\
 f_{v,k} = 3,4 \text{ MPa} & & k_{mod} = 0,7 & & f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa} \\
 f_{t,0,k} = 21 \text{ MPa} & & \gamma_M = 1,3 & & f_{t,0,d} = 11,3 \text{ MPa} \\
 E_k = E_{0,05} = 8,7 \text{ MPa} & & & & E_{0,mean} = 13,0 \text{ GPa} \\
 & & & & G_{mean} = 0,81 \text{ GPa}
 \end{array}$$

Dalsze obliczenia statyczne wykonano w programie RM-3d zgodnie z poniższym schematu statycznym:





Poz. 2.1 Krokwie

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll}
 M_{y,max} = 5,172 \text{ kNm} & M_y = 1,102 \text{ kNm} & M_y = 1,464 \text{ kNm} & M_y = 0,121 \text{ kNm} \\
 M_z = 0,584 \text{ kNm} & M_{z,max} = 3,662 \text{ kNm} & M_z = 1,697 \text{ kNm} & M_z = 1,133 \text{ kNm} \\
 N_{sci.} = 25,744 \text{ kN} & N_{sci.} = 8,394 \text{ kN} & N_{sci.,max} = 27,148 \text{ kN} & N_{roz.,max} = 25,960 \text{ kN}
 \end{array}$$

Krokiew pracuje jako mimośrodowo ściskana. Z uwagi na fakt zastosowania deskowania pełnego na powierzchni całego dachu, które usztywni krokwie, w dalszych obliczeniach uznano, iż krokwie są zabezpieczone przed wyboczeniem $k_{c,y} = k_{c,z} = 1$

Do dalszych obliczeń przyjęto krokwie prostokątne o przekroju 16x14cm z uwagi jednak na ich podcięcie (max. 3,00cm) nad płytą dalej przyjęto przekrój 16x11cm o następujących wielkościach przekrojowych:

$$\begin{array}{llll}
 h = 11,00 \text{ cm} & I_y = 1774,67 \text{ cm}^4 & W_y = 322,67 \text{ cm}^3 \\
 b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 3754,67 \text{ cm}^4 & W_z = 469,33 \text{ cm}^3 \\
 L = L_d = 2,76 \text{ m} & A_d = 176,00 \text{ cm}^2 & &
 \end{array}$$

Stan graniczny nośności

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{ll}
 \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,463 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 16,0 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,463 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,2 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,928 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,928 < 1 \\
 \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y,d} = 16,03 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}
 \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,477 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 3,4 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,477 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 7,8 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,596 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,596 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 7,80 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,543 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 4,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,543 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 3,6 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,446 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,446 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 4,54 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 1,475 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,4 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 2,4 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} &= 0,278 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 2,41 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}T_y &= 12,398 \text{ kN} & T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 13,558 \text{ kN} \\ T_z &= 5,487 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,156 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$\begin{aligned}u_{inst,y} &= 0,71 \text{ cm} & u_{inst} &= \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,71 \text{ cm} \\ u_{inst,z} &= 0,00 \text{ cm} & k_{def} &= 0,40\end{aligned}$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 0,99 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 1,38 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Z powyższych obliczeń wynika, iż krokiew nie wymagają wzmocnienia jednak z uwagi na wprowadzone do całego układu wzmocnienia poniżej przedstawiono otrzymane siły po wykonaniu obliczeń statycznych, które uwzględniają wspomniane wzmocnienia:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 3,634 \text{ kNm} & M_y = 1,102 \text{ kNm} & M_y = 1,244 \text{ kNm} & M_y = 3,122 \text{ kNm} \\ M_z = 0,254 \text{ kNm} & M_{z,max} = 2,172 \text{ kNm} & M_z = 0,805 \text{ kNm} & M_z = 0,103 \text{ kNm} \\ N_{sci.} = 13,836 \text{ kN} & N_{sci.} = 13,986 \text{ kN} & N_{sci.,max} = 19,088 \text{ kN} & N_{roz.,max} = 18,827 \text{ kN} \end{array}$$

Krokiew pracuje jako mimośrodowo ściskana. Z uwagi na fakt zastosowania deskowania pełnego na powierzchni całego dachu, które usztywni krokiew, w dalszych obliczeniach uznano, iż krokiew są zabezpieczone przed wyboczeniem $k_{c,y} = k_{c,z} = 1$

Do dalszych obliczeń przyjęto krokiew prostokątne o przekroju 16x14cm z uwagi jednak na ich podcięcie (max. 3,00cm) nad płatwią dalej przyjęto przekrój 16x11cm o następujących wielkościach przekrojowych:

$$\begin{array}{llll} h = 11,00 \text{ cm} & I_y = 1774,67 \text{ cm}^4 & W_y = 322,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 3754,67 \text{ cm}^4 & W_z = 469,33 \text{ cm}^3 \\ L = L_d = 2,76 \text{ m} & A_d = 176,00 \text{ cm}^2 & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,786 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 11,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,786 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,5 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,630 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,630 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} = 11,26 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,795 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,4 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,795 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 4,6 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,430 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,430 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} = 4,63 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,085 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,9 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,085 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,7 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = & \end{array}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,302 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,302 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 3,86 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 1,070 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 9,7 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,620 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,181 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 9,68 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T_y = 7,715 \text{ kN}$$

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 8,756 \text{ kN}$$

$$T_z = 4,141 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,746 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 0,71 \text{ cm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,71 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,00 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,40$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 0,99 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 1,38 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 3.0 Płatwie

Poz. 3.1 Płatwie górne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_{y,max} = 15,509 \text{ kNm}$$

$$M_y = 3,490 \text{ kNm}$$

$$M_y = 12,73 \text{ kNm}$$

$$M_y = 12,55 \text{ kNm}$$

$$M_z = 1,159 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max} = 7,428 \text{ kNm}$$

$$M_z = 0,686 \text{ kNm}$$

$$M_z = 4,566 \text{ kNm}$$

$$N_{roz} = 4,097 \text{ kN}$$

$$N_{roz} = 53,341 \text{ kN}$$

$$N_{sci,max} = 8,450 \text{ kN}$$

$$N_{roz,max} = 67,354 \text{ kN}$$

Płatew głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskana.

$$h = 16,00 \text{ cm}$$

$$I_y = 5461,33 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 682,67 \text{ cm}^3$$

$$b = 16,00 \text{ cm}$$

$$I_z = 5461,33 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 682,67 \text{ cm}^3$$

$$L = 5,02 \text{ m}$$

$$A_d = 256,00 \text{ cm}^2$$

$$L_{dy} = 5,02 \text{ m}$$

$$L_{dz} = 5,02 \text{ m}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 108,69 \Rightarrow$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 7,3 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} =$$

$$\lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} =$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} =$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 108,69 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,3 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,855 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 2,220$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,855 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,220$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,291 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,291$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,160 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 22,7 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,7 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 1,310 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 22,72 \text{ MPa} > k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe nie spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 2,084 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 5,1 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 10,9 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 1,033 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 10,88 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,135 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 18,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,135 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,050 > 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,050 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 18,64 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 2,631 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 18,4 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 6,7 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 1,563 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 18,39 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

$$\begin{aligned} \text{Wpływ siły ścinającej} \quad T_y &= 20,938 \text{ kN} & T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 23,622 \text{ kN} \\ T_z &= 10,937 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,384 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

$$\begin{aligned} \text{Stan graniczny użytkowania} \quad u_{inst,y} &= 1,65 \text{ cm} & u_{inst} &= \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,78 \text{ cm} \\ u_{inst,z} &= 0,66 \text{ cm} & k_{def} &= 0,40 \end{aligned}$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,49 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,51 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Z powyższych obliczeń wynika, iż płatwie górne nie są w stanie przenieść obciążeń przyjętych obciążeń. W związku z powyższym projektuje się ich wzmocnienie poprzez dokręcenie do nich od spodu w przęsłach skrajnych belek z drewna C35 o przekroju 14x16cm tworząc w ten sposób przekrój o wysokości 30cm i szerokości 16cm. Przedmiotowe wzmocnienie płatwi należy wykonać zaraz od słupów skrajnych ścian szczytowych. W tym celu należy zdemontować istniejące skrajne miecze. Ponadto w celu ograniczenia momentu zginającego w płaszczyźnie poziomej płatwi projektuje się dodatkowe jętki podparte usztywniające płatew.

Po wykonaniu ponownych obliczeń uwzględniających powyższe wzmocnienia w płatwi górnej o przekroju 16x16cm uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{aligned} M_{y,max} &= 10,469 \text{ kNm} & M_y &= 1,526 \text{ kNm} & M_y &= 3,34 \text{ kNm} & M_y &= 2,74 \text{ kNm} \\ M_z &= 0,467 \text{ kNm} & M_{z,max} &= 2,28 \text{ kNm} & M_z &= 0,46 \text{ kNm} & M_z &= 0,591 \text{ kNm} \\ N_{roz.} &= 2,043 \text{ kN} & N_{roz.} &= 54,865 \text{ kN} & N_{sci.,max} &= 4,937 \text{ kN} & N_{roz.,max} &= 58,299 \text{ kN} \end{aligned}$$

Płatew głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskana.

$$\begin{aligned} h &= 16,00 \text{ cm} & I_y &= 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y &= 682,67 \text{ cm}^3 \\ b &= 16,00 \text{ cm} & I_z &= 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z &= 682,67 \text{ cm}^3 \\ L &= 4,97 \text{ m} & A_d &= 256,00 \text{ cm}^2 \\ L_{dy} &= 4,97 \text{ m} \\ L_{dz} &= 4,97 \text{ m} \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L_{dy}}{i_y} = 107,60 \Rightarrow & \sigma_{c,crit,y} &= \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 7,4 \text{ MPa} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L_{dz}}{i_z} = 107,60 \Rightarrow & \sigma_{c,crit,z} &= \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,4 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,836 \Rightarrow & k_y &= 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 2,186 \\ \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,836 \Rightarrow & k_z &= 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,186 \\ k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,297 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,297 \end{aligned}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{aligned} \sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,080 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 15,3 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,7 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} &= 0,857 < 1 \end{aligned}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 15,34 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 2,143 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 2,2 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,485 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 3,33 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,650 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,650 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,298 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,298 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 4,89 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 2,277 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,0 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,9 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,460 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 4,01 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T_y = 26,922 \text{ kN} \quad T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 27,093 \text{ kN}$$

$$T_z = 3,036 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,587 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 1,65 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,78 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,66 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,40$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,49 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,49 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Po wykonaniu ponownych obliczeń uwzględniających powyższe wzmocnienia w płatwi górnej o przekroju 16x30cm uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 28,139 \text{ kNm} & M_y = 13,78 \text{ kNm} & M_y = 26,14 \text{ kNm} & M_y = 12,79 \text{ kNm} \\ M_z = 1,196 \text{ kNm} & M_{z,max} = 4,98 \text{ kNm} & M_z = 0,05 \text{ kNm} & M_z = 3,212 \text{ kNm} \\ N_{roz.} = 1,508 \text{ kN} & N_{roz.} = 1,354 \text{ kN} & N_{ści.,max} = 4,996 \text{ kN} & N_{roz.,max} = 2,265 \text{ kN} \end{array}$$

Płatew głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskana.

$$\begin{array}{lll} h = 30,00 \text{ cm} & I_{y,1} = 36000,00 \text{ cm}^4 & W_{y,1} = 2400,00 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_{z,1} = 10240,00 \text{ cm}^4 & W_{z,1} = 1280,00 \text{ cm}^3 \\ L = 5,02 \text{ m} & A_d = 480,00 \text{ cm}^2 & \\ L_{dy} = 5,02 \text{ m} & n_i = 0,560 & \\ L_{dz} = 5,02 \text{ m} & n_w = 0,700 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} I_y = I_{y,1} \times n_i = 20160,00 \text{ cm}^4 & W_y = W_{y,1} \times n_w = 1680,00 \text{ cm}^3 \\ I_z = I_{z,1} \times n_i = 5734,40 \text{ cm}^4 & W_z = W_{z,1} \times n_w = 896,00 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{ll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 6,48 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 77,46 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,3 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 3,46 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 145,24 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 4,1 \text{ MPa} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,322 & \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,373 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 2,478 & \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 3,571 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,572 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,163 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{lll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,031 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 16,7 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,3 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,962 < 1 & & \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,403 < 0,75 & \Rightarrow k_{crit} = 1,000 & \\ \sigma_{m,y,d} = 16,75 \text{ MPa} & < & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{lll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,028 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 8,2 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,6 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,732 < 1 & & \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,403 < 0,75 & \Rightarrow k_{crit} = 1,000 & \\ \sigma_{m,y,d} = 8,20 \text{ MPa} & < & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,182 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 15,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,639 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{m,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,829 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{m,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,831 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,403 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 15,56 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,047 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 7,6 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 3,6 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,598 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,403 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 7,61 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}T_y &= 27,629 \text{ kN} & T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 28,535 \text{ kN} \\ T_z &= 7,133 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,892 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$\begin{aligned}u_{inst,y} &= 0,97 \text{ cm} & u_{inst} &= \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,25 \text{ cm} \\ u_{inst,z} &= 0,79 \text{ cm} & k_{def} &= 0,40\end{aligned}$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 1,75 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,51 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Połączenie obu belek

Projektuje się połączenie obu elementów przy pomocy śrób i klocków.

Łączone elementy:

Istniejąca płatek	$h_1 = 16,00 \text{ cm}$	Belka wzmacniająca	$h_2 = 14,00 \text{ cm}$
	$b_1 = 16,00 \text{ cm}$		$b_2 = 16,00 \text{ cm}$
			$l_{d2} = 3,70 \text{ m}$

$$S_{y1} = 0,5 b_1 h_1^2 = 2048,00 \text{ cm}^3 \quad S_{y2} = 0,5 b_2 h_2^2 = 1568,00 \text{ cm}^3$$

$$\text{Moment bezwładności całego przekroju } I_y = I_{y,1} = 36000,00 \text{ cm}^4$$

$$\text{głębokość wrębu } c = 2,50 \text{ cm} < h_2/5 = 2,80 \text{ cm}$$

Do dalszych obliczeń przyjęto klocki dębowe z drewna klasy D50 o następujących wymiarach:

$$h_3 = 2 c = 5,00 \text{ cm} \quad b_3 = 14,00 \text{ cm} > 5 c = 12,50 \text{ cm} \quad f_{3,v,d} = 2,477 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{w rozstawie osiowym } e = 38,00 \text{ cm} &< 25 c = 62,50 \text{ cm} \Rightarrow s = e - b_3 = 24,00 \text{ cm} \\ &> 2 b_3 = 28,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Siła ścinająca klocek} \quad V = \frac{TS_{y1}}{I_y} = 162 \text{ kN/m}$$

$$\text{Wartość siły ścinającej dla połowy belki} \quad V_1 = 0,25 I_{d2} V = 150,2 \text{ kN}$$

$$\text{Nośność korka dębowego na ścinanie} \quad R_{v,1} = 0,7 b_3 b_1 f_{3,v,d} = 38,8 \text{ kN}$$

$$\text{Nośność na ścinanie belki pomiędzy korkami} \quad R_{v,2} = 0,7 s b_1 f_{v,d} = 49,2 \text{ kN}$$

$$\text{Nośność połączenia na docisk} \quad R_{c,90} = 1,4 b_1 b_3^2 f_{c,90,d} / 6 c = 94,6 \text{ kN}$$

$$\text{Miarodajna wartość minimalna} \quad R_{\min} = \min (R_{v,1} R_{v,2} R_{c,90}) = 38,8 \text{ kN}$$

$$\text{Liczba korków na połowie belki} \quad n = V_1 / R_{\min} = 3,87 \text{ szt.} \Rightarrow n = 4$$

W celu połączenia obu belek przyjęto śruby M12 ze stali StOS rozstawione osiowo pomiędzy korkami.

$$d = 12 \text{ mm} \quad A_v = 68 \text{ mm}^2 \quad f_d = 165 \text{ MPa}$$

$$\text{Siła w śrubie} \quad F_v = R_{v,2} c / b_3 = 8,79 \text{ kN} \Rightarrow \sigma = F_v / A_v = 129 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 129,2 \text{ MPa} < f_d = 165 \text{ MPa}$$

Śruby przyjęto prawidłowo

Poz. 3.2 Płatwie dolne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{aligned} M_{y,\max} &= 6,729 \text{ kNm} & M_y &= 3,376 \text{ kNm} & M_y &= 3,22 \text{ kNm} & M_y &= 3,73 \text{ kNm} \\ M_z &= 3,404 \text{ kNm} & M_{z,\max} &= 11,61 \text{ kNm} & M_z &= 1,097 \text{ kNm} & M_z &= 3,465 \text{ kNm} \\ N_{\text{roz.}} &= 4,211 \text{ kN} & N_{\text{roz.}} &= 0,075 \text{ kN} & N_{\text{ści.,max}} &= 4,294 \text{ kN} & N_{\text{roz.,max}} &= 6,703 \text{ kN} \end{aligned}$$

Płatwie głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskana.

$$\begin{aligned} h &= 16,00 \text{ cm} & I_y &= 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y &= 682,67 \text{ cm}^3 \\ b &= 16,00 \text{ cm} & I_z &= 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z &= 682,67 \text{ cm}^3 \\ L &= 5,02 \text{ m} & A_d &= 256,00 \text{ cm}^2 \\ L_{dy} &= 5,02 \text{ m} \\ L_{dz} &= 5,02 \text{ m} \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L_{dy}}{i_y} = 108,69 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 7,3 \text{ MPa} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L_{dz}}{i_z} = 108,69 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,3 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,855 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 2,220 \\ \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,855 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,220 \\ k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,291 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,291 \end{aligned}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,164 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 9,9 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,0 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,802 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 9,86 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,003 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,9 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 17,0 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 1,165 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 17,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,577 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,577 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,337 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,337 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 4,72 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,262 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 5,5 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,583 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 5,47 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T_y = 18,964 \text{ kN}$$

$$T_z = 12,236 \text{ kN}$$

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 22,569 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,322 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 0,12 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,75 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 1,75 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,40$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,46 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,51 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Zgodnie z powyższymi obliczeniami jeden z warunków nośności płatwi dolnej jest nieznacznie przekroczony z uwagi na poziomy moment zginający w płatwi. W celu zmniejszenia poziomego momentu bezwładności wprowadzono dodatkowe jętki podparte opisane w Poz. 3.1.

Po wykonaniu ponownych obliczeń uwzględniających powyższe wzmocnienia w płatwi dolnych uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 6,388 \text{ kNm} & M_y = 0,620 \text{ kNm} & M_y = 2,48 \text{ kNm} & M_y = 2,75 \text{ kNm} \\ M_z = 2,811 \text{ kNm} & M_{z,max} = 5,12 \text{ kNm} & M_z = 1,218 \text{ kNm} & M_z = 0,987 \text{ kNm} \\ N_{roz.} = 1,560 \text{ kN} & N_{roz.} = 4,038 \text{ kN} & N_{ści.,max} = 3,788 \text{ kN} & N_{roz.,max} = 4,162 \text{ kN} \end{array}$$

Płatew głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskana.

$$\begin{array}{llll} h = 16,00 \text{ cm} & I_y = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y = 682,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z = 682,67 \text{ cm}^3 \\ L = 5,02 \text{ m} & A_d = 256,00 \text{ cm}^2 & \\ L_{dy} = 5,02 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 5,02 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{llll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 108,69 \Rightarrow & \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 7,3 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 108,69 \Rightarrow & \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,3 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,855 \Rightarrow & k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 2,220 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,855 \Rightarrow & k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,220 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,291 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,291 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{llll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,061 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 9,4 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 4,1 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,720 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow & k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} = 9,36 \text{ MPa} & < & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{llll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,158 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,9 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 7,5 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,460 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \end{array}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 7,51 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,509 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,509 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,289 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,289 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 3,63 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,163 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,0 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,4 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,305 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,294 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 4,03 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T_y = 18,255 \text{ kN} \quad T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 19,792 \text{ kN}$$

$$T_z = 7,648 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,160 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 0,13 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,41 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 1,40 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,40$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 1,97 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,51 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 4.0 Kleszcze

Poz. 4.1 Kleszcze górne podwójne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_y = 5,368 \text{ kNm} \quad M_y = 5,368 \text{ kNm} \quad T_y = 11,816 \text{ kN}$$

$$M_z = 3,507 \text{ kNm} \quad M_z = 3,507 \text{ kNm} \quad T_z = 7,667 \text{ kN}$$

$$N_{sci.} = 18,605 \text{ kN} \quad N_{roz.} = 28,939 \text{ kN}$$

Kleszcze pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 2x 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{aligned} h &= 20,00 \text{ cm} & I_y &= 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y &= 1066,67 \text{ cm}^3 \\ b &= 8,00 \text{ cm} & I_z &= 47786,67 \text{ cm}^4 & W_z &= 2986,67 \text{ cm}^3 \\ a &= 16,00 \text{ cm} & A_d &= 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c &= 0,2 \\ L &= L_d = 4,50 \text{ m} \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L}{i_y} = 77,94 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,1 \text{ MPa} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 12,22 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L}{i_z} = 36,82 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 63,3 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,330 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,467 \\ \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,628 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,710 \\ k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,479 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,960 \end{aligned}$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\begin{aligned} \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,214 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 5,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,605 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,2 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,337 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,331 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,623 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 5,03 \text{ MPa} & & & k_{crit} f_{m,y,d} &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\begin{aligned} \sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,904 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 5,0 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,2 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,409 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,623 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 5,03 \text{ MPa} & & & k_{crit} f_{m,y,d} &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 14,085 \text{ kN} \\ \tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 1,321 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$\begin{aligned} u_{inst,y} &= 1,68 \text{ cm} & u_{inst} &= \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,69 \text{ cm} \\ u_{inst,z} &= 0,22 \text{ cm} & k_{def} &= 0,30 \end{aligned}$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,20 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,25 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Z powyższych obliczeń wynika, iż kleszcze nie wymagają wzmocnienia jednak z uwagi na wprowadzone do całego układu wzmocnienia poniżej przedstawiono otrzymane siły po wykonaniu obliczeń statycznych, które uwzględniają wspomniane wzmocnienia:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 3,612 \text{ kNm} & M_y = 1,047 \text{ kNm} & M_y = 2,881 \text{ kNm} & T_y = 10,500 \text{ kN} \\ M_z = 1,818 \text{ kNm} & M_{z,max} = 2,266 \text{ kNm} & M_z = 0,188 \text{ kNm} & T_z = 4,955 \text{ kN} \\ N_{roz.} = 13,986 \text{ kN} & N_{sci.} = 9,403 \text{ kN} & N_{sci,max} = 19,420 \text{ kN} & \end{array}$$

Kleszcze pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 2x 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y = 1066,67 \text{ cm}^3 \\ b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 47786,67 \text{ cm}^4 & W_z = 2986,67 \text{ cm}^3 \\ a = 16,00 \text{ cm} & A_d = 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L = L_d = 4,50 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{ll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 77,94 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,1 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 12,22 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 36,82 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 63,3 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,330 & \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,467 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,628 & \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,710 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,479 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,960 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{lll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,437 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,4 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,6 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,251 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,623 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} = 3,39 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{lll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,613 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,306 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,8 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,094 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,093 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,623 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \end{array}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,98 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,267 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,632 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,156 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,149 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,623 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 2,70 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 11,610 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,088 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 1,68 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,69 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,22 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,30$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,20 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,25 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 4.2 Kleszcze górne pojedyncze

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{lll} M_y = 2,138 \text{ kNm} & M_y = 2,138 \text{ kNm} & T_y = 4,694 \text{ kN} \\ M_z = 1,139 \text{ kNm} & M_z = 1,139 \text{ kNm} & T_z = 2,491 \text{ kN} \\ N_{sci} = 0,981 \text{ kN} & N_{roz} = 15,743 \text{ kN} & \end{array}$$

Kleszcz pracuje jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 5333,33 \text{ cm}^4 & W_y = 533,33 \text{ cm}^3 \\ b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 853,33 \text{ cm}^4 & W_z = 213,33 \text{ cm}^3 \\ L = L_d = 4,42 \text{ m} & A_d = 160,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{lll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L}{i_y} = 76,56 \Rightarrow & \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,7 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 2,31 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L}{i_z} = 191,39 \Rightarrow & \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 2,3 \text{ MPa} \end{array}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,306 \quad \Rightarrow \quad k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,434$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 3,266 \quad \Rightarrow \quad k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 6,109$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,494 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,089$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,124 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,691 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,496 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,499 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 5,34 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,984 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,0 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,583 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 5,34 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 5,314 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,498 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 1,68 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,69 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,22 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,30$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,20 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,21 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 4.3 Kleszcze górne krótkie

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_y = 0,087 \text{ kNm} \quad M_y = 0,087 \text{ kNm} \quad T_y = 5,819 \text{ kN}$$

$$M_z = 10,048 \text{ kNm} \quad M_z = 10,05 \text{ kNm} \quad T_z = 0,171 \text{ kN}$$

$$N_{sci.} = 2,313 \text{ kN} \quad N_{roz.} = 11,087 \text{ kN}$$

Kleszcze pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 2x 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll}
h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y = 1066,67 \text{ cm}^3 \\
b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 47786,67 \text{ cm}^4 & W_z = 2986,67 \text{ cm}^3 \\
a = 16,00 \text{ cm} & A_d = 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\
L = L_d = 2,03 \text{ m}
\end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned}
i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L}{i_y} = 35,16 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 69,5 \text{ MPa} \\
i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 12,22 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L}{i_z} = 16,61 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 311,2 \text{ MPa} \\
\lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,600 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,690 \\
\lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,283 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,519 \\
k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,970 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1,000
\end{aligned}$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\begin{aligned}
\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,075 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,1 \text{ MPa} \\
\sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,072 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 3,4 \text{ MPa} \\
\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,183 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,183 < 1 \\
\lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,419 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
\sigma_{m,y,d} &= 3,36 \text{ MPa} & & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\begin{aligned}
\sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,346 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,1 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 3,4 \text{ MPa} \\
\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,213 < 1 \\
\lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,419 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
\sigma_{m,y,d} &= 3,36 \text{ MPa} & & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}
T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 5,822 \text{ kN} \\
\tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 0,546 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 4.4 Kleszcze dolne podwójne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{lll}
M_y = 2,986 \text{ kNm} & M_y = 2,986 \text{ kNm} & T_y = 4,468 \text{ kN} \\
M_z = 3,242 \text{ kNm} & M_z = 3,242 \text{ kNm} & T_z = 2,149 \text{ kN} \\
N_{\text{sci.}} = 2,478 \text{ kN} & N_{\text{roz.}} = 7,922 \text{ kN} &
\end{array}$$

Kleszcze pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 2x 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll}
h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y = 1066,67 \text{ cm}^3 \\
b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 47786,67 \text{ cm}^4 & W_z = 2986,67 \text{ cm}^3 \\
a = 16,00 \text{ cm} & A_d = 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\
L = L_d = 4,42 \text{ m} & &
\end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned}
i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L}{i_y} = 76,56 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,7 \text{ MPa} \\
i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 12,22 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L}{i_z} = 36,17 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 65,6 \text{ MPa} \\
\lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,306 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,434 \\
\lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,617 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,702 \\
k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,494 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,964
\end{aligned}$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\begin{aligned}
\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,157 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 2,8 \text{ MPa} \\
\sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,080 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,1 \text{ MPa} \\
\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,206 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,206 < 1 \\
\lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
\sigma_{m,y,d} &= 2,80 \text{ MPa} & & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\begin{aligned}
\sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,248 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 2,8 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,1 \text{ MPa} \\
\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,228 < 1 \\
\lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
\sigma_{m,y,d} &= 2,80 \text{ MPa} & & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}
T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 4,958 \text{ kN} \\
\tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 0,465 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} =$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 0,50 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,52 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,13 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,30$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 0,67 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,21 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 4.5 Kleszcze dolne pojedyncze

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_y = 1,288 \text{ kNm} \quad M_z = 2,909 \text{ kNm} \quad N_{sci.} = 1,000 \text{ kN}$$

$$M_y = 1,288 \text{ kNm} \quad M_z = 2,909 \text{ kNm} \quad N_{roz.} = 5,666 \text{ kN}$$

$$T_y = 1,812 \text{ kN} \quad T_z = 1,751 \text{ kN}$$

Kleszcz pracuje jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$h = 20,00 \text{ cm} \quad l_y = 5333,33 \text{ cm}^4 \quad W_y = 533,33 \text{ cm}^3$$

$$b = 8,00 \text{ cm} \quad l_z = 853,33 \text{ cm}^4 \quad W_z = 213,33 \text{ cm}^3$$

$$L = L_d = 4,42 \text{ m} \quad A_d = 160,00 \text{ cm}^2 \quad \beta_c = 0,2$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{l_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 76,56 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,7 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{l_z}{A_d}} = 2,31 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 191,39 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,306 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,434$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 3,266 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 6,109$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,494 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,089$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,127 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,705 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 13,6 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,852 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,854 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 13,64 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,354 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 2,4 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 13,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,883 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 13,64 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 2,520 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,236 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania $u_{inst,y} = 1,69 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 1,69 \text{ cm}$
 $u_{inst,z} = 0,04 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,30$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 2,20 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,21 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 4.6 Kleszcze dolne krótkie

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{lll} M_y = 0,045 \text{ kNm} & M_y = 0,045 \text{ kNm} & T_y = 1,000 \text{ kN} \\ M_z = 0,907 \text{ kNm} & M_z = 0,907 \text{ kNm} & T_z = 1,000 \text{ kN} \\ N_{sci.} = 2,535 \text{ kN} & N_{roz.} = 1,450 \text{ kN} & \end{array}$$

Kleszcze pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 2x 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y = 1066,67 \text{ cm}^3 \\ b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 47786,67 \text{ cm}^4 & W_z = 2986,67 \text{ cm}^3 \\ a = 16,00 \text{ cm} & A_d = 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L = L_d = 1,46 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 25,29 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 134,3 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 12,22 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 11,95 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 601,5 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,431 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,586$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,204 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,491$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 1,017 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1,066$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,078 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} =$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,074 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,018 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,018 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,355 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,30 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,045 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,022 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,355 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,30 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,414 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,133 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 4.7 Dodatkowe kleszcze podłużne

Przedmiotowe kleszcze są elementami dodatkowymi z uwagi na konieczność ograniczenia długości wybocheniowej słupów wewnętrznych. Po wykonaniu obliczeń uwzględniających przedmiotowe kleszcze uzyskano następujące siły przekrojowe:

$$\begin{array}{lll} M_y = 0,532 \text{ kNm} & M_y = 0,532 \text{ kNm} & T_y = 1,000 \text{ kN} \\ M_z = 0,000 \text{ kNm} & M_z = 0,000 \text{ kNm} & T_z = 1,000 \text{ kN} \\ N_{sci.} = 2,742 \text{ kN} & N_{roz.} = 5,868 \text{ kN} & \end{array}$$

Kleszcze pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto kleszcze o przekroju 2x 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y = 1066,67 \text{ cm}^3 \\ b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 47786,67 \text{ cm}^4 & W_z = 2986,67 \text{ cm}^3 \\ a = 16,00 \text{ cm} & A_d = 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L = L_d = 4,42 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 76,56 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,7 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 12,22 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 36,17 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 65,6 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} =$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,306 \quad \Rightarrow \quad k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,434$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,617 \quad \Rightarrow \quad k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,702$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,494 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,964$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,174 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,089 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,027 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,027 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,50 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,183 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,043 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,50 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,414 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,133 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 5.0 **Miecze**

Poz. 5.1 **Miecze górne**

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_y = 0,019 \text{ kNm} \quad M_z = 2,709 \text{ kNm} \quad N_{ści.} = 89,594 \text{ kN}$$

Miecze pracują jako mimośrodowo ściskane.

$$h = 15,00 \text{ cm} \quad I_y = 4218,75 \text{ cm}^4 \quad W_y = 562,50 \text{ cm}^3$$

$$b = 15,00 \text{ cm} \quad I_z = 4218,75 \text{ cm}^4 \quad W_z = 562,50 \text{ cm}^3$$

$$L = L_d = 1,36 \text{ m} \quad A_d = 225,00 \text{ cm}^2 \quad \beta_c = 0,2$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \quad \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} =$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 31,41 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 87,0 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 31,41 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 87,0 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,536 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,647$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,536 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,647$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,990 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,990$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 4,022 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 4,022 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 4,8 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,347 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,347 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,158 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 4,82 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 5.2 Miecze dolne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_y = 0,025 \text{ kNm} \quad M_z = 1,164 \text{ kNm} \quad N_{sci} = 58,464 \text{ kN}$$

Miecze pracują jako mimośrodowo ściskane.

$$h = 15,00 \text{ cm} \quad I_y = 4218,75 \text{ cm}^4 \quad W_y = 562,50 \text{ cm}^3$$

$$b = 15,00 \text{ cm} \quad I_z = 4218,75 \text{ cm}^4 \quad W_z = 562,50 \text{ cm}^3$$

$$L = L_d = 1,56 \text{ m} \quad A_d = 225,00 \text{ cm}^2 \quad \beta_c = 0,2$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 36,03 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 66,2 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 36,03 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 66,2 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,615 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,700$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,615 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,700$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,965 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,965$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,692 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} =$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 2,692 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,152 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,152 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,169 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 2,07 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 5.3 Dodatkowe miecze

Przedmiotowe miecze są elementami dodatkowymi z uwagi na konieczność ograniczenia długości wyboczeniowej zastrzału o przekroju 16x20cm. Po wykonaniu obliczeń uwzględniających przedmiotowe miecze uzyskano następujące siły przekrojowe:

$$M_y = 1,109 \text{ kNm} \quad M_z = 1,098 \text{ kNm} \quad N_{sci.} = 31,385 \text{ kN}$$

Miecze pracują jako mimośrodowo ściskane.

$$\begin{aligned} h &= 15,00 \text{ cm} & I_y &= 4218,75 \text{ cm}^4 & W_y &= 562,50 \text{ cm}^3 \\ b &= 15,00 \text{ cm} & I_z &= 4218,75 \text{ cm}^4 & W_z &= 562,50 \text{ cm}^3 \\ L = L_d &= 1,56 \text{ m} & A_d &= 225,00 \text{ cm}^2 & \beta_c &= 0,2 \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{l_y}{i_y} = 36,03 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 66,2 \text{ MPa} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{l_z}{i_z} = 36,03 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 66,2 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,615 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,700 \\ \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,615 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,700 \\ k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,965 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,965 \end{aligned}$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,445 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,445 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,220 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,220 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,169 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1,97 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 6.0 Słupy wewnętrzne**Poz. 6.1 Słupy wewnętrzne - wysokie**

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 6,030 \text{ kNm} & M_y = 1,76 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & T_y = 12,065 \text{ kN} \\ M_z = 3,440 \text{ kNm} & M_{z,max} = 10,02 \text{ kNm} & M_z = 0,00 \text{ kNm} & T_z = 11,354 \text{ kN} \\ N_{sci} = 89,275 \text{ kN} & N_{sci} = 33,828 \text{ kN} & N_{sci,max} = 111,326 \text{ kN} & \end{array}$$

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 16,00 \text{ cm} & I_y = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y = 682,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z = 682,67 \text{ cm}^3 \\ L = 7,15 \text{ m} & A_d = 256,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 3,36 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 6,00 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{ll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 72,75 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 16,2 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 129,90 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 5,1 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,241 & \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,345 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 2,217 & \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 3,128 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,537 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,187 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 6,491 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 8,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 18,607 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,0 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,969 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 2,647 > 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,351 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} = 8,83 \text{ MPa} & < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,459 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 2,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,051 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 14,7 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,949 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,190 > 1 \end{array}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,351 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 14,67 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 8,094 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 23,203 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,361 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 2,971 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,351 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 16,567 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,97 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Zgodnie z powyższymi obliczeniami przedmiotowe słupy nie są w stanie przenieść przyjętych obciążeń z uwagi na dużą smukłość słupa w jednej z płaszczyzn. W związku z powyższym w celu zmniejszenia wysokości wyboczeniowej słupa projektuje się dodatkowe kleszcze podłużne usztywniające wraz z istniejącymi kleszczami słup w obu płaszczyznach. Po wykonaniu obliczeń uwzględniających powyższe dodatkowe elementy uzyskano następujące siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 5,208 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 13,798 \text{ kN}$
$M_z = 4,015 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 6,95 \text{ kNm}$	$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	$T_z = 7,064 \text{ kN}$
$N_{sci} = 49,753 \text{ kN}$	$N_{sci} = 47,409 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 99,756 \text{ kN}$	

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 16,00 \text{ cm}$	$I_y = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_y = 682,67 \text{ cm}^3$
$b = 16,00 \text{ cm}$	$I_z = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_z = 682,67 \text{ cm}^3$
$L = 7,15 \text{ m}$	$A_d = 256,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 3,36 \text{ m}$		
$L_{dz} = 3,36 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 72,75 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 16,2 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 72,75 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 16,2 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,241 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,345$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,241 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,345$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} =$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,537 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,537$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{aligned} \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 3,617 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 7,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,617 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 5,9 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,789 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,789 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,351 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 7,63 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{aligned} \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 3,447 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,447 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 10,2 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,605 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,605 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,351 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 10,17 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned} \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 7,253 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,253 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,290 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,290 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,351 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 15,501 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,91 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 6.2 Słupy wewnętrzne - górne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 4,287 \text{ kNm}$	$M_y = 4,26 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 15,477 \text{ kN}$
$M_z = 8,151 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 8,47 \text{ kNm}$	$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	$T_z = 7,388 \text{ kN}$
$N_{sci.} = 29,160 \text{ kN}$	$N_{sci.} = 28,776 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 96,320 \text{ kN}$	

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 16,00 \text{ cm}$	$I_y = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_y = 682,67 \text{ cm}^3$
$b = 16,00 \text{ cm}$	$I_z = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_z = 682,67 \text{ cm}^3$
$L = 3,72 \text{ m}$	$A_d = 256,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 2,95 \text{ m}$		
$L_{dz} = 2,76 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 63,87 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 21,0 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 59,76 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,090 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,153$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,020 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,072$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,654 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,713$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,741 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 6,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,597 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 11,9 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,983 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,981 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,253 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 11,94 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,718 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 6,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,576 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 12,4 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,005 > 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,003 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,253 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 12,40 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Z uwagi na niewielkie przekroczenie uznano, że warunki normowe zostały spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,752 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,275 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,183 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,154 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,253 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 17,150 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,00 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Z powyższych obliczeń wynika, iż słupy nie wymagają wzmocnienia jednak z uwagi na wprowadzone do całego układu wzmocnienia poniżej przedstawiono otrzymane siły po wykonaniu obliczeń statycznych, które uwzględniają wspomniane wzmocnienia:

$$\begin{aligned}M_{y,max} &= 2,743 \text{ kNm} & M_y &= 0,00 \text{ kNm} & M_y &= 0,00 \text{ kNm} & T_y &= 9,499 \text{ kN} \\ M_z &= 2,704 \text{ kNm} & M_{z,max} &= 5,54 \text{ kNm} & M_z &= 0,00 \text{ kNm} & T_z &= 5,062 \text{ kN} \\ N_{sci} &= 45,712 \text{ kN} & N_{sci} &= 45,056 \text{ kN} & N_{sci,max} &= 97,405 \text{ kN} & & \end{aligned}$$

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{aligned}h &= 16,00 \text{ cm} & I_y &= 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y &= 682,67 \text{ cm}^3 \\ b &= 16,00 \text{ cm} & I_z &= 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z &= 682,67 \text{ cm}^3 \\ L &= 3,72 \text{ m} & A_d &= 256,00 \text{ cm}^2 & \beta_c &= 0,2 \\ L_{dy} &= 2,95 \text{ m} & & & & \\ L_{dz} &= 2,76 \text{ m} & & & & \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned}i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L_{dy}}{i_y} = 63,87 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 21,0 \text{ MPa} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L_{dz}}{i_z} = 59,76 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 24,0 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,090 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,153 \\ \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,020 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,072 \\ k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,654 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,713\end{aligned}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,730 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 4,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 2,504 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 4,0 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} & & & \end{aligned}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,464 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,458 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,253 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 4,02 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,691 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 2,468 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 8,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,471 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,465 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,253 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 8,12 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,817 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,335 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,187 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,157 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,253 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 10,764 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,63 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 6.3 Słupy wewnętrzne - dolne 16x16cm

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 3,147 \text{ kNm}$	$M_y = 0,42 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 4,417 \text{ kN}$
$M_z = 0,000 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 4,33 \text{ kNm}$	$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	$T_z = 2,016 \text{ kN}$
$N_{sci} = 61,676 \text{ kN}$	$N_{sci} = 56,504 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 99,290 \text{ kN}$	

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 16,00 \text{ cm}$	$I_y = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_y = 682,67 \text{ cm}^3$
$b = 16,00 \text{ cm}$	$I_z = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_z = 682,67 \text{ cm}^3$
$L = 3,43 \text{ m}$	$A_d = 256,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 3,43 \text{ m}$		
$L_{dz} = 3,43 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 74,26 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 74,26 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,267 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,380$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,267 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,380$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,519 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,519$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 4,638 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 4,638 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,363 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,363 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 4,61 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 4,249 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 4,249 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 6,3 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,469 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,469 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 6,35 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 7,466 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,466 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,308 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,308 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 4,855 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,28 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Z powyższych obliczeń wynika, iż słupy nie wymagają wzmocnienia jednak z uwagi na wprowadzone do całego układu wzmocnienia poniżej przedstawiono otrzymane siły po wykonaniu obliczeń statycznych, które uwzględniają wspomniane wzmocnienia:

$M_{y,max} = 3,045 \text{ kNm}$	$M_y = 0,49 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 4,222 \text{ kN}$
$M_z = 0,000 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 4,44 \text{ kNm}$	$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	$T_z = 1,960 \text{ kN}$
$N_{sci} = 57,191 \text{ kN}$	$N_{sci} = 75,156 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 96,225 \text{ kN}$	

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 16,00 \text{ cm}$	$I_y = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_y = 682,67 \text{ cm}^3$
$b = 16,00 \text{ cm}$	$I_z = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_z = 682,67 \text{ cm}^3$
$L = 3,43 \text{ m}$	$A_d = 256,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 3,43 \text{ m}$		
$L_{dz} = 3,43 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 74,26 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 74,26 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,267 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,380$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,267 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,380$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,519 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,519$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 4,300 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 4,300 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,339 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,339 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 4,46 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,651 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,7 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,651 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 6,5 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,559 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,559 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 6,51 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 7,235 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,235 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,289 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,289 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 4,655 \text{ kN} \\ \tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 0,27 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 6.4 Słupy wewnętrzne - dolne 20x20cm

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{aligned}M_{y,max} &= 6,632 \text{ kNm} & M_y &= 0,05 \text{ kNm} & M_y &= 0,00 \text{ kNm} & T_y &= 4,569 \text{ kN} \\ M_z &= 1,051 \text{ kNm} & M_{z,max} &= 2,02 \text{ kNm} & M_z &= 0,00 \text{ kNm} & T_z &= 1,463 \text{ kN} \\ N_{sci} &= 108,078 \text{ kN} & N_{sci} &= 155,22 \text{ kN} & N_{sci,max} &= 161,590 \text{ kN} & & \end{aligned}$$

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{aligned}h &= 20,00 \text{ cm} & I_y &= 13333,33 \text{ cm}^4 & W_y &= 1333,33 \text{ cm}^3 \\ b &= 20,00 \text{ cm} & I_z &= 13333,33 \text{ cm}^4 & W_z &= 1333,33 \text{ cm}^3 \\ L &= 3,43 \text{ m} & A_d &= 400,00 \text{ cm}^2 & \beta_c &= 0,2 \\ L_{dy} &= 3,43 \text{ m} & & & & \\ L_{dz} &= 3,43 \text{ m} & & & & \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} =$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 59,41 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 24,3 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 59,41 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 24,3 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,014 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,065$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,014 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,065$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,718 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,718$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 3,762 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 5,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,762 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,384 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,384 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,218 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 4,97 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,403 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,403 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,244 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,244 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,218 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 1,52 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,624 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,624 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,175 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,175 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,218 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 4,798 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} =$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,18 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Z powyższych obliczeń wynika, iż słupy nie wymagają wzmocnienia jednak z uwagi na wprowadzone do całego układu wzmocnienia poniżej przedstawiono otrzymane siły po wykonaniu obliczeń statycznych, które uwzględniają wspomniane wzmocnienia:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 6,903 \text{ kNm} & M_y = 0,62 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & T_y = 4,877 \text{ kN} \\ M_z = 0,549 \text{ kNm} & M_{z,max} = 1,64 \text{ kNm} & M_z = 0,00 \text{ kNm} & T_z = 1,212 \text{ kN} \\ N_{sci} = 109,253 \text{ kN} & N_{sci} = 157,34 \text{ kN} & N_{sci,max} = 163,815 \text{ kN} & \end{array}$$

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 13333,33 \text{ cm}^4 & W_y = 1333,33 \text{ cm}^3 \\ b = 20,00 \text{ cm} & I_z = 13333,33 \text{ cm}^4 & W_z = 1333,33 \text{ cm}^3 \\ L = 3,43 \text{ m} & A_d = 400,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 3,43 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 3,43 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{ll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 59,41 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 24,3 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 59,41 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 24,3 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,014 & \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,065 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,014 & \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,065 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,718 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,718 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 3,803 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 5,2 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,803 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,4 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,376 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,376 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,218 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} = 5,18 \text{ MPa} & < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,476 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,476 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,2 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,255 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,255 < 1 \end{array}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} =$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,218 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 1,23 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 5,702 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 5,702 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,179 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,179 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,218 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 5,025 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,19 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 7.0 Słupy zewnętrzne

Poz. 7.1 Słupy zewnętrzne - wysokie

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 4,488 \text{ kNm} & M_y = 2,67 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & T_y = 3,032 \text{ kN} \\ M_z = 0,060 \text{ kNm} & M_{z,max} = 0,66 \text{ kNm} & M_z = 0,00 \text{ kNm} & T_z = 3,097 \text{ kN} \\ N_{sci} = 21,688 \text{ kN} & N_{sci} = 18,962 \text{ kN} & N_{sci,max} = 36,736 \text{ kN} & \end{array}$$

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 16,00 \text{ cm} & I_y = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y = 682,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z = 682,67 \text{ cm}^3 \\ L = 5,03 \text{ m} & A_d = 256,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 5,03 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 5,03 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 108,90 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 7,2 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 108,90 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,2 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,858 \quad \Rightarrow \quad k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 2,362$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,858 \quad \Rightarrow \quad k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,362$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,262 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,262$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 3,237 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 6,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 3,237 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,411 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,411 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,295 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 6,57 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 2,830 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 2,830 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,303 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,303 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,295 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 3,91 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 5,483 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 5,483 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,166 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,166 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,295 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 4,334 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,25 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 7.2 Słupy zewnętrzne - górne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 0,218 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & T_y = 1,031 \text{ kN} \\ M_z = 0,380 \text{ kNm} & M_{z,max} = 1,42 \text{ kNm} & M_z = 0,76 \text{ kNm} & T_z = 1,031 \text{ kN} \\ N_{sci} = 32,785 \text{ kN} & N_{sci} = 28,859 \text{ kN} & N_{sci,max} = 34,298 \text{ kN} & \end{array}$$

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 16,00 \text{ cm} & I_y = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y = 682,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z = 682,67 \text{ cm}^3 \\ L = 1,60 \text{ m} & A_d = 256,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 1,60 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 1,60 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{ll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 34,64 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 71,6 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 34,64 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 71,6 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,591 & \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,684 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,591 & \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,684 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,973 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,973 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,316 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,316 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,6 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,056 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,056 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,166 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} = 0,56 \text{ MPa} & < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,158 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,158 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 2,1 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,117 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,117 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,166 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \end{array}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \Rightarrow$$

$$\sigma_{m,y} = 2,07 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,377 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,377 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,070 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,070 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,166 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 1,11 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,458 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,09 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 7.3 Słupy zewnętrzne - dolne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 1,025 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 1,416 \text{ kN}$
$M_z = 0,059 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 1,54 \text{ kNm}$	$M_z = 0,73 \text{ kNm}$	$T_z = 1,173 \text{ kN}$
$N_{sci} = 27,787 \text{ kN}$	$N_{sci} = 24,109 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 41,596 \text{ kN}$	

Słupy pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto słupy istniejące o przekroju 16x16cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 16,00 \text{ cm}$	$I_y = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_y = 682,67 \text{ cm}^3$
$b = 16,00 \text{ cm}$	$I_z = 5461,33 \text{ cm}^4$	$W_z = 682,67 \text{ cm}^3$
$L = 3,43 \text{ m}$	$A_d = 256,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 3,43 \text{ m}$		
$L_{dz} = 3,43 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 74,26 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 74,26 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 15,6 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,267 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,380$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,267 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,380$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,519 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,519$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 2,089 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 1,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 2,089 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,108 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,108 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 1,50 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 1,813 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 1,813 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 2,3 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,138 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,138 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 2,25 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 3,128 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 3,128 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,1 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,111 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,111 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,243 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 1,07 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,839 \text{ kN} \\ \tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 0,11 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 8.0 Zastrzały

Poz. 8.1 Zastrzały - wysokie 12x20cm

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$M_{y,max} = 2,239 \text{ kNm} \quad M_y = 1,49 \text{ kNm} \quad M_y = 0,41 \text{ kNm} \quad T_y = 2,328 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{llll}
 M_z = 0,594 \text{ kNm} & M_{z,\max} = 1,60 \text{ kNm} & M_z = 0,40 \text{ kNm} & T_z = 1,000 \text{ kN} \\
 N_{\text{sci}} = 36,820 \text{ kN} & N_{\text{sci}} = 35,660 \text{ kN} & N_{\text{sci},\max} = 42,479 \text{ kN} &
 \end{array}$$

Zastrzały pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto zastrzały istniejące o przekroju 12x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll}
 h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 8000,00 \text{ cm}^4 & W_y = 800,00 \text{ cm}^3 \\
 b = 12,00 \text{ cm} & I_z = 2880,00 \text{ cm}^4 & W_z = 480,00 \text{ cm}^3 \\
 L = 6,34 \text{ m} & A_d = 240,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\
 L_{dy} = 2,68 \text{ m} & & \\
 L_{dz} = 2,68 \text{ m} & &
 \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned}
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L_{dy}}{i_y} = 46,42 \Rightarrow \sigma_{c,\text{crit},y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 39,8 \text{ MPa} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 3,46 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L_{dz}}{i_z} = 77,36 \Rightarrow \sigma_{c,\text{crit},z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 14,3 \text{ MPa} \\
 \lambda_{\text{rel},y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit},y}}} = 0,792 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel},y} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},y}^2] = 0,843 \\
 \lambda_{\text{rel},z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit},z}}} = 1,320 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel},z} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},z}^2] = 1,453 \\
 k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = 0,884 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}} = 0,485
 \end{aligned}$$

Przypadek dla $M_{y,\max}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,735 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 2,8 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,162 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,2 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,231 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,269 < 1 \\
 \lambda_{\text{rel},m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{\text{mean}}}} = 0,493 < 0,75 \Rightarrow k_{\text{crit}} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y} &= 2,80 \text{ MPa} < k_{\text{crit}} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,\max}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,681 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 1,9 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,063 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 3,3 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,291 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,328 < 1 \\
 \lambda_{\text{rel},m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{\text{mean}}}} = 0,493 < 0,75 \Rightarrow k_{\text{crit}} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y} &= 3,33 \text{ MPa} < k_{\text{crit}} f_{m,y} & &= 18,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{\text{sci},\max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,002 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,648 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,094 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,145 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,493 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,84 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 2,534 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,16 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 8.2 Zastrzały - wysokie 16x20cm

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 4,145 \text{ kNm} & M_y = 0,64 \text{ kNm} & M_y = 0,58 \text{ kNm} & T_y = 11,157 \text{ kN} \\ M_z = 0,814 \text{ kNm} & M_{z,max} = 2,71 \text{ kNm} & M_z = 0,47 \text{ kNm} & T_z = 2,572 \text{ kN} \\ N_{sci} = 50,119 \text{ kN} & N_{sci} = 53,097 \text{ kN} & N_{sci,max} = 54,356 \text{ kN} & \end{array}$$

Zastrzały pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto zastrzały istniejące o przekroju 16x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y = 1066,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 6826,67 \text{ cm}^4 & W_z = 853,33 \text{ cm}^3 \\ L = 7,27 \text{ m} & A_d = 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 2,68 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 7,27 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 46,42 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 39,8 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 157,40 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,792 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,843$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 2,686 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 4,325$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,884 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,130$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,772 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 12,084 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} =$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,274 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,063 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,396 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 3,89 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,877 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 12,802 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,220 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,105 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,396 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 3,17 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,921 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 13,106 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,079 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,006 > 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,396 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,55 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 11,450 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,54 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Zgodnie z powyższymi obliczeniami przedmiotowe zastrzały nie są w stanie przenieść przyjętych obciążeń z uwagi na dużą smukłość zastrzału w jednej z płaszczyzn. W związku z powyższym w celu zmniejszenia wysokości wyboczeniowej zastrzału projektuje się dodatkowe miecze usztywniające wraz z istniejącymi mieczami istniejący zastrzał w obu płaszczyznach. Po wykonaniu obliczeń uwzględniających powyższe dodatkowe elementy uzyskano następujące siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 3,300 \text{ kNm}$	$M_y = 0,50 \text{ kNm}$	$M_y = 0,58 \text{ kNm}$	$T_y = 8,884 \text{ kN}$
$M_z = 0,003 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 1,49 \text{ kNm}$	$M_z = 0,47 \text{ kNm}$	$T_z = 2,245 \text{ kN}$
$N_{sci} = 42,587 \text{ kN}$	$N_{sci} = 40,750 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 63,970 \text{ kN}$	

Zastrzały pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto zastrzały istniejące o przekroju 16x20cm o następujących

parametrach przekroju:

$$\begin{aligned}
 h &= 20,00 \text{ cm} & I_y &= 10666,67 \text{ cm}^4 & W_y &= 1066,67 \text{ cm}^3 \\
 b &= 16,00 \text{ cm} & I_z &= 6826,67 \text{ cm}^4 & W_z &= 853,33 \text{ cm}^3 \\
 L &= 7,27 \text{ m} & A_d &= 320,00 \text{ cm}^2 & \beta_c &= 0,2 \\
 L_{dy} &= 2,68 \text{ m} \\
 L_{dz} &= 6,31 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned}
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L_{dy}}{i_y} = 46,42 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 39,8 \text{ MPa} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L_{dz}}{i_z} = 136,62 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 4,6 \text{ MPa} \\
 \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,792 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,843 \\
 \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 2,331 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 3,400 \\
 k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,884 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,170
 \end{aligned}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,505 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 3,1 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,819 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,177 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,502 < 1 \\
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,396 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y} &= 3,09 \text{ MPa} & & & k_{crit} f_{m,y} &= 18,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,440 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,482 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,7 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,129 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,427 < 1 \\
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,396 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y} &= 1,75 \text{ MPa} & & & k_{crit} f_{m,y} &= 18,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,261 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 11,745 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,6 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &=
 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,087 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,820 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,396 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,55 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe częściowo spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 9,163 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,43 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 8.3 Zastrzały - średnie

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 0,585 \text{ kNm}$	$M_y = 0,24 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 1,000 \text{ kN}$
$M_z = 0,243 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 0,53 \text{ kNm}$	$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	$T_z = 1,000 \text{ kN}$
$N_{sci} = 21,163 \text{ kN}$	$N_{sci} = 13,735 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 28,195 \text{ kN}$	

Zastrzały pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto zastrzały istniejące o przekroju 12x20cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 20,00 \text{ cm}$	$I_y = 8000,00 \text{ cm}^4$	$W_y = 800,00 \text{ cm}^3$
$b = 12,00 \text{ cm}$	$I_z = 2880,00 \text{ cm}^4$	$W_z = 480,00 \text{ cm}^3$
$L = 5,23 \text{ m}$	$A_d = 240,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 5,23 \text{ m}$		
$L_{dz} = 5,23 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 90,59 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 10,5 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 3,46 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 150,98 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 3,8 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,546 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,799$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 2,576 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 4,026$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,368 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,140$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,398 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 6,278 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,097 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,283 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,448 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,73 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,557 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 4,075 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,1 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,087 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,166 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,448 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 1,10 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 3,195 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 8,364 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,056 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,386 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,448 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y} &= 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,414 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,09 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 8.4 Zastrzały - górne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 7,903 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & T_y = 4,717 \text{ kN} \\ M_z = 2,545 \text{ kNm} & M_{z,max} = 5,37 \text{ kNm} & M_z = 0,00 \text{ kNm} & T_z = 4,588 \text{ kN} \\ N_{sci} = 24,367 \text{ kN} & N_{sci} = 18,082 \text{ kN} & N_{sci,max} = 24,602 \text{ kN} & \end{array}$$

Zastrzały pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto zastrzały istniejące o przekroju 12x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 8000,00 \text{ cm}^4 & W_y = 800,00 \text{ cm}^3 \\ b = 12,00 \text{ cm} & I_z = 2880,00 \text{ cm}^4 & W_z = 480,00 \text{ cm}^3 \\ L = 3,72 \text{ m} & A_d = 240,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 3,72 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 3,72 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 64,43 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 20,7 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 3,46 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 107,39 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,099 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,164$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,832 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,312$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,646 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,269$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,571 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 9,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,779 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,819 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,884 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,378 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 9,88 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,166 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 2,804 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 11,2 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,601 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,637 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,378 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 11,19 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,586 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 3,815 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,014 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,080 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,378 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 6,580 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,41 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 8.5 Zastrzały - dolne

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 0,654 \text{ kNm}$	$M_y = 0,35 \text{ kNm}$	$M_y = 0,00 \text{ kNm}$	$T_y = 1,000 \text{ kN}$
$M_z = 0,070 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 0,52 \text{ kNm}$	$M_z = 0,00 \text{ kNm}$	$T_z = 1,000 \text{ kN}$
$N_{sci} = 28,634 \text{ kN}$	$N_{sci} = 40,449 \text{ kN}$	$N_{sci,max} = 49,712 \text{ kN}$	

Zastrzały pracują jako mimośrodowo ściskane.

Do dalszych obliczeń przyjęto zastrzały istniejące o przekroju 12x20cm o następujących parametrach przekroju:

$h = 20,00 \text{ cm}$	$I_y = 8000,00 \text{ cm}^4$	$W_y = 800,00 \text{ cm}^3$
$b = 12,00 \text{ cm}$	$I_z = 2880,00 \text{ cm}^4$	$W_z = 480,00 \text{ cm}^3$
$L = 3,72 \text{ m}$	$A_d = 240,00 \text{ cm}^2$	$\beta_c = 0,2$
$L_{dy} = 3,72 \text{ m}$		
$L_{dz} = 3,72 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 64,43 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 20,7 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 3,46 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 107,39 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 7,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,099 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,164$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,832 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,312$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,646 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,269$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,846 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 4,441 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,070 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,160 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,378 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,82 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 2,608 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} =$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 6,273 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,118 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,298 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,378 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 1,08 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 3,206 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 7,709 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,057 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,328 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,378 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,00 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,414 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,09 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 9.0 Rozpora

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 0,330 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & M_y = 0,00 \text{ kNm} & T_y = 1,000 \text{ kN} \\ M_z = 1,530 \text{ kNm} & M_{z,max} = 2,44 \text{ kNm} & M_z = 0,34 \text{ kNm} & T_z = 1,000 \text{ kN} \\ N_{sci} = 6,006 \text{ kN} & N_{sci} = 5,633 \text{ kN} & N_{sci,max} = 6,781 \text{ kN} & \end{array}$$

Rozpora pracują jako mimośrodowo ściskana.

Do dalszych obliczeń przyjęto rozporę istniejącą o przekroju 15x15cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 15,00 \text{ cm} & I_y = 4218,75 \text{ cm}^4 & W_y = 562,50 \text{ cm}^3 \\ b = 15,00 \text{ cm} & I_z = 4218,75 \text{ cm}^4 & W_z = 562,50 \text{ cm}^3 \\ L = 4,42 \text{ m} & A_d = 225,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \\ L_{dy} = 4,42 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 4,42 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 102,08 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 8,2 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,33 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 102,08 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 8,2 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} =$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,742 \quad \Rightarrow \quad k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 2,141$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,742 \quad \Rightarrow \quad k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2,141$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,295 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,295$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,904 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,904 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,180 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,180 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,285 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 2,72 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,848 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,848 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 4,3 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,235 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,235 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,285 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 4,34 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,020 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,020 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,038 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,038 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,285 < 0,75 \quad \Rightarrow \quad k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y} = 0,60 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,414 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,09 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 10.1 Belka ocepowa - poprzeczna

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 8,566 \text{ kNm} & M_y = 0,344 \text{ kNm} & M_y = 7,61 \text{ kNm} & M_y = 0,60 \text{ kNm} \\ M_z = 0,065 \text{ kNm} & M_{z,max} = 2,818 \text{ kNm} & M_z = 0,054 \text{ kNm} & M_z = 0,036 \text{ kNm} \\ N_{roz.} = 4,314 \text{ kN} & N_{roz.} = 17,704 \text{ kN} & N_{sci.,max} = 5,434 \text{ kN} & N_{roz.,max} = 20,166 \text{ kN} \end{array}$$

Belki ocepowe głównie pracują jako mimośrodowo rozciągane ale również jako mimośrodowo ściskane.

$$\begin{array}{llll} h = 16,00 \text{ cm} & I_y = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y = 682,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z = 682,67 \text{ cm}^3 \\ L = 4,97 \text{ m} & A_d = 256,00 \text{ cm}^2 & & \\ L_{dy} = 1,80 \text{ m} & & & \\ L_{dz} = 1,03 \text{ m} & & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{llll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 38,97 & \Rightarrow & \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 56,5 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 22,30 & \Rightarrow & \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 172,7 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,665 & \Rightarrow & k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,721 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,381 & \Rightarrow & k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,572 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 1,000 & & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1,000 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\begin{array}{llll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,169 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 12,5 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,686 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 & \Rightarrow & k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} = 12,55 \text{ MPa} & < & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\begin{array}{llll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,169 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,5 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 4,1 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,307 < 1 \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 & \Rightarrow & k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} = 4,13 \text{ MPa} & < & k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} =$$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,212 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 11,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,212 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,596 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,596 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 11,15 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,788 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,9 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,119 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,293 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,88 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T_y = 29,119 \text{ kN} \quad T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 29,201 \text{ kN}$$

$$T_z = 2,190 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,711 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 0,31 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,38 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,22 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,40$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 0,53 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 0,90 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 10.2 Belka oczępowa - podłużna

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,max} = 10,327 \text{ kNm} & M_y = 2,420 \text{ kNm} & M_y = 5,13 \text{ kNm} & M_y = 5,95 \text{ kNm} \\ M_z = 1,297 \text{ kNm} & M_{z,max} = 2,542 \text{ kNm} & M_z = 0,381 \text{ kNm} & M_z = 0,148 \text{ kNm} \\ N_{roz.} = 9,220 \text{ kN} & N_{roz.} = 1,426 \text{ kN} & N_{sci.,max} = 3,962 \text{ kN} & N_{roz.,max} = 15,815 \text{ kN} \end{array}$$

Belki oczępowe głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskane.

$$\begin{array}{lll} h = 16,00 \text{ cm} & I_y = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_y = 682,67 \text{ cm}^3 \\ b = 16,00 \text{ cm} & I_z = 5461,33 \text{ cm}^4 & W_z = 682,67 \text{ cm}^3 \\ L = 9,94 \text{ m} & A_d = 256,00 \text{ cm}^2 & \\ L_{dy} = 1,60 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 4,42 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 34,64 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 71,6 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,62 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 95,70 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 9,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,591 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,675$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,633 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,833$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 1,000 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,375$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,360 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 15,1 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,9 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,935 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,414 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 15,13 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,056 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,5 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 3,7 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,391 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,414 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 3,72 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,155 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 7,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,413 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,428 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,429 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,414 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 7,51 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,618 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 8,7 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,529 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} =$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,414 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 8,72 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej $T_y = 19,981 \text{ kN}$ $T_z = 5,014 \text{ kN}$ $T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 20,600 \text{ kN}$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 1,207 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania $u_{inst,y} = 0,95 \text{ cm}$ $u_{inst,z} = 0,03 \text{ cm}$ $u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,95 \text{ cm}$ $k_{def} = 0,40$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 1,33 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,21 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 11.0 Belki stropowe

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$M_{y,max} = 5,613 \text{ kNm}$	$M_y = 0,000 \text{ kNm}$	$M_y = 0,27 \text{ kNm}$	$M_y = 4,95 \text{ kNm}$
$M_z = 0,484 \text{ kNm}$	$M_{z,max} = 3,670 \text{ kNm}$	$M_z = 1,063 \text{ kNm}$	$M_z = 0,286 \text{ kNm}$
$N_{roz.} = 8,770 \text{ kN}$	$N_{roz.} = 2,807 \text{ kN}$	$N_{sci.,max} = 4,295 \text{ kN}$	$N_{roz.,max} = 17,730 \text{ kN}$

Belki stropowe głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskane.

$h = 20,00 \text{ cm}$	$I_y = 13333,33 \text{ cm}^4$	$W_y = 1333,33 \text{ cm}^3$
$b = 20,00 \text{ cm}$	$I_z = 13333,33 \text{ cm}^4$	$W_z = 1333,33 \text{ cm}^3$
$L = 9,94 \text{ m}$	$A_d = 400,00 \text{ cm}^2$	
$L_{dy} = 4,42 \text{ m}$		
$L_{dz} = 4,42 \text{ m}$		

Stan graniczny nośności

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 76,56 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,7 \text{ MPa}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} \quad \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 76,56 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 14,7 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,306 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,353$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1,306 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1,353$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,586 \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,586$$

Przypadek dla $M_{y,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,219 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 4,2 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,262 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,371 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \Rightarrow$$

$$\sigma_{m,y,d} = 4,21 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,070 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 2,8 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,152 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,371 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 2,75 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\sigma_{c,0,d,y} = \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,183 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d,z} = \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 0,183 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,053 < 1 \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,053 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,371 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,80 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,443 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 3,7 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,248 < 1$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,371 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 3,72 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$T_y = 9,126 \text{ kN} \quad T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 9,272 \text{ kN}$$

$$T_z = 1,640 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,348 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$u_{inst,y} = 0,68 \text{ cm} \quad u_{inst} = \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,72 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z} = 0,24 \text{ cm} \quad k_{def} = 0,40$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 1,01 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,21 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 12.0 Podciągi

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{llll} M_{y,\max} = 12,280 \text{ kNm} & M_y = 0,000 \text{ kNm} & M_y = 12,03 \text{ kNm} & M_y = 2,94 \text{ kNm} \\ M_z = 0,072 \text{ kNm} & M_{z,\max} = 3,678 \text{ kNm} & M_z = 0,138 \text{ kNm} & M_z = 1,198 \text{ kNm} \\ N_{\text{roz.}} = 4,660 \text{ kN} & N_{\text{roz.}} = 9,529 \text{ kN} & N_{\text{sci.,max}} = 5,252 \text{ kN} & N_{\text{roz.,max}} = 45,844 \text{ kN} \end{array}$$

Podciągi głównie pracuje jako mimośrodowo rozciągana ale również jako mimośrodowo ściskane.

$$\begin{array}{lll} h = 24,00 \text{ cm} & I_y = 23040,00 \text{ cm}^4 & W_y = 1920,00 \text{ cm}^3 \\ b = 20,00 \text{ cm} & I_z = 16000,00 \text{ cm}^4 & W_z = 1600,00 \text{ cm}^3 \\ L = 9,94 \text{ m} & A_d = 480,00 \text{ cm}^2 & \\ L_{dy} = 4,97 \text{ m} & & \\ L_{dz} = 1,03 \text{ m} & & \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{array}{ll} i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 6,93 \text{ cm} & \lambda_y = \frac{L_{dy}}{i_y} = 71,74 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 16,7 \text{ MPa} \\ i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_z = \frac{L_{dz}}{i_z} = 17,84 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 269,8 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,224 & \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,249 \\ \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,304 & \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,546 \\ k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,667 & k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1,000 \end{array}$$

Przypadek dla $M_{y,\max}$

$$\begin{array}{lll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,097 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 6,4 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,0 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,350 < 1 & & \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,406 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 & & \\ \sigma_{m,y,d} = 6,40 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} & & \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $M_{z,\max}$

$$\begin{array}{lll} \sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A_d} = 0,199 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,0 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 2,3 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} = 0,140 < 1 & & \\ \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,406 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 & & \\ \sigma_{m,y,d} = 2,30 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} = 18,85 \text{ MPa} & & \end{array}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{sci,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y}A_d} = 0,164 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 6,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z}A_d} = 0,109 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,1 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,337 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{m,z,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,337 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,406 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 6,27 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek dla $N_{roz,max}$

$$\begin{aligned}\sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,955 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 1,5 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 0,7 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,205 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,406 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 1,53 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}T_y &= 23,748 \text{ kN} & T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 24,006 \text{ kN} \\ T_z &= 3,513 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{T}{bh} = 0,750 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,83 \text{ MPa}$$

Warunek normowy spełniony

Stan graniczny użytkowania

$$\begin{aligned}u_{inst,y} &= 0,95 \text{ cm} & u_{inst} &= \sqrt{u_{inst,y}^2 + u_{inst,z}^2} = 0,98 \text{ cm} \\ u_{inst,z} &= 0,24 \text{ cm} & k_{def} &= 0,40\end{aligned}$$

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) = 1,37 \text{ cm} < u_{net,fin} = L / 200 = 2,49 \text{ cm}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 13.0 Rygle ścian

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{aligned}M_y &= 2,236 \text{ kNm} & M_y &= 2,236 \text{ kNm} & T_y &= 2,859 \text{ kN} \\ M_z &= 2,909 \text{ kNm} & M_z &= 2,909 \text{ kNm} & T_z &= 4,278 \text{ kN} \\ N_{sci} &= 29,403 \text{ kN} & N_{roz} &= 4,402 \text{ kN}\end{aligned}$$

Rygle ścian pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto rygle o przekroju 14x14cm o następujących parametrach przekroju:

$$h = 14,00 \text{ cm} \quad I_y = 3201,33 \text{ cm}^4 \quad W_y = 457,33 \text{ cm}^3$$

$$\begin{array}{lll}
 b = 14,00 \text{ cm} & I_z = 3201,33 \text{ cm}^4 & W_z = 457,33 \text{ cm}^3 \\
 L = L_d = 1,98 \text{ m} & A_d = 196,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2
 \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned}
 i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 4,04 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{l_y}{i_y} = 48,99 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 35,8 \text{ MPa} \\
 i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 4,04 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{l_z}{i_z} = 48,99 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 35,8 \text{ MPa} \\
 \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0,836 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,883 \\
 \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0,836 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,883 \\
 k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,857 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,857
 \end{aligned}$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\begin{aligned}
 \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 1,751 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 4,9 \text{ MPa} \\
 \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,751 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 6,4 \text{ MPa} \\
 \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,614 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,614 < 1 \\
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,198 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y,d} &= 6,36 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\begin{aligned}
 \sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 0,225 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 4,9 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 6,4 \text{ MPa} \\
 \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} &= 0,617 < 1 \\
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,198 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\
 \sigma_{m,y,d} &= 6,36 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 5,145 \text{ kN} \\
 \tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 0,394 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Warunek normowy spełniony

Poz. 14.0 Dodatkowe jętki

Dla obciążeń oraz schematu statycznego jak w Poz. 2.0 uzyskano następujące maksymalne i towarzyszące im siły przekrojowe:

$$\begin{array}{lll}
 M_y = 0,206 \text{ kNm} & M_y = 0,206 \text{ kNm} & T_y = 1,000 \text{ kN} \\
 M_z = 0,357 \text{ kNm} & M_z = 0,357 \text{ kNm} & T_z = 1,000 \text{ kN} \\
 N_{sci.} = 2,199 \text{ kN} & N_{roz.} = 16,716 \text{ kN} &
 \end{array}$$

Jetki pracują jako mimośrodowo ściskane lub rozciągane.

Do dalszych obliczeń przyjęto jętki o przekroju 8x20cm o następujących parametrach przekroju:

$$\begin{array}{lll} h = 20,00 \text{ cm} & I_y = 5333,33 \text{ cm}^4 & W_y = 533,33 \text{ cm}^3 \\ b = 8,00 \text{ cm} & I_z = 853,33 \text{ cm}^4 & W_z = 213,33 \text{ cm}^3 \\ L = L_d = 4,42 \text{ m} & A_d = 160,00 \text{ cm}^2 & \beta_c = 0,2 \end{array}$$

Stan graniczny nośności

$$\begin{aligned} i_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 5,77 \text{ cm} & \lambda_y &= \frac{L}{i_y} = 76,56 \Rightarrow \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 14,7 \text{ MPa} \\ i_z &= \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 2,31 \text{ cm} & \lambda_z &= \frac{L}{i_z} = 191,39 \Rightarrow \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 2,3 \text{ MPa} \\ \lambda_{rel,y} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1,306 \Rightarrow k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1,434 \\ \lambda_{rel,z} &= \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 3,266 \Rightarrow k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 6,109 \\ k_{c,y} &= \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,494 & k_{c,z} &= \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,089 \end{aligned}$$

Przypadek mimośrodowego ściskania

$$\begin{aligned} \sigma_{c,0,d,y} &= \frac{N}{k_{c,y} A_d} = 0,278 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,4 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,0,d,z} &= \frac{N}{k_{c,z} A_d} = 1,549 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,7 \text{ MPa} \\ \left(\frac{\sigma_{c,0,d,y}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,110 < 1 & \left(\frac{\sigma_{c,0,d,z}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,123 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 1,67 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Przypadek mimośrodowego rozciągania

$$\begin{aligned} \sigma_{t,0,d} &= \frac{N}{A_d} = 1,045 \text{ MPa} & \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_y}{W_y} = 0,4 \text{ MPa} & \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_z}{W_z} = 1,7 \text{ MPa} \\ \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= 0,202 < 1 \\ \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{I_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = 0,618 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,000 \\ \sigma_{m,y,d} &= 1,67 \text{ MPa} < k_{crit} f_{m,y,d} & &= 18,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunki normowe spełnione

Wpływ siły ścinającej

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{T_y^2 + T_z^2} = 1,414 \text{ kN} \\ \tau_d &= 1,5 \frac{T}{bh} = 0,133 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,831 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Warunek normowy spełniony

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki (duży zapas nośności) elementy te nie wymagają dodatkowego wzmocnienia z uwagi na konieczność osiągnięcia klasy odporności ogniowej R30.

Poz. 15.0 Belki kotwiące

Z uwagi na przecięcia trzech podwalin spinających więzary stodoły w osiach III, V i D oraz z uwagi

na znaczne reakcje poziome od zastrzałów zachodzi konieczność zakotwienia końcówek podwaliny. W związku z powyższym projektuje się blok (belkę) żelbetową monolityczną z betonu B-20 zbrojoną prętami ze stali A-III 34GS. W przedmiotowym bloku należy zabetonować śrubę fajkową M16, którą w pierwszej kolejności należy przetknąć przez otwór wywiercony w podwalinie. Szczegółowy sposób wykonania przedstawiono na rysunkach konstrukcyjnych.

Poz. 16.0 Uzupełnienie fundamentów

Nowe fragmenty fundamentów wykonać jako monolityczne belki żelbetowe z betonu B-20 o przekroju 25x50cm wykończone "rolką" z cegły ceramicznej pełnej zbrojone prętami podłużnymi 6 ϕ 12 ze stali A-III 34GS oraz strzemionami ϕ 6 ze stali A-0 StOS w rozstawie co 30cm. Pod nowymi fragmentami fundamentu wykonać podkład z pospółki zagęszczonej warstwami o grubości max. 20cm do $I_D = 0,50$. Podkład z pospółki wykonać do poziomu przemarzania - 1,00m poniżej poziomu gruntu.

Opracował:

mgr inż. Jacek Kędzierski
upr. bud. WAM/0003/POOK/05

Sprawdził:

mgr inż. Andrzej Kozłowski
upr. bud. WAM/0005/POOK/03