

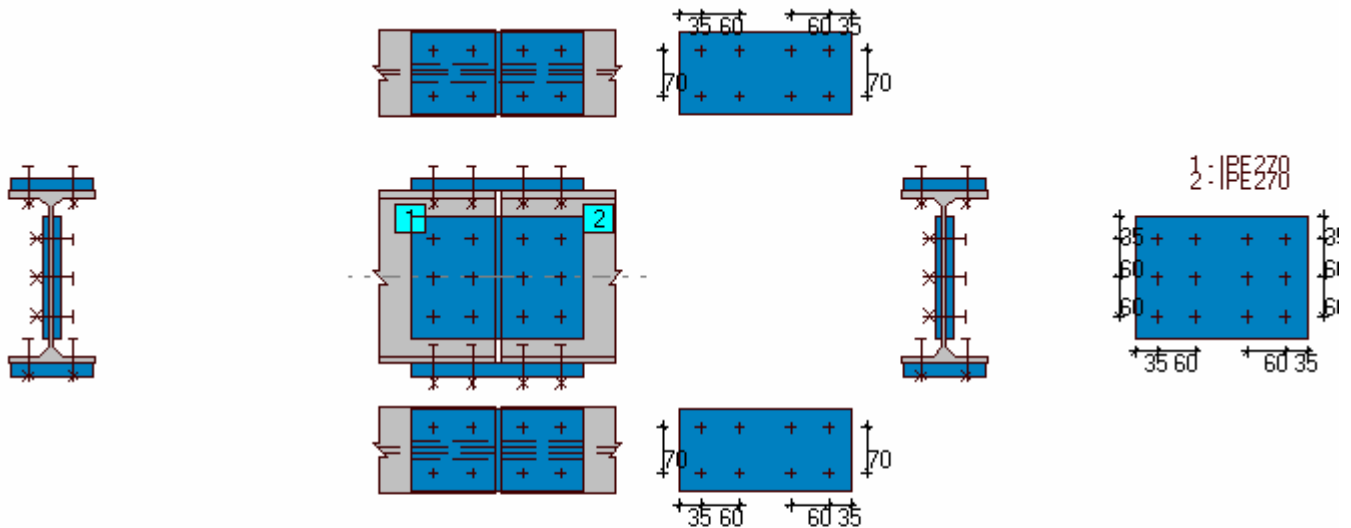
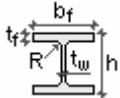
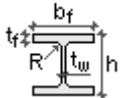


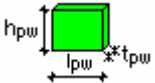
Biuro			
Inwestor			
Nazwa projektu			
Projektował			
Sprawił			
	Belka - belka (zakładkowe)		Wytężenie: 0.73
BeamsSplice v. 0.9.9.22	PN-90/B-03200		

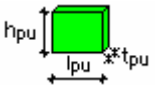


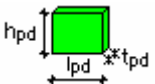
Dane

Belka IPE270					
	h_b	b_{fb}	t_{fb}	t_{wb}	R_b
	270.00[mm]	135.00[mm]	10.20[mm]	6.60[mm]	15.00[mm]
	A_b	J_{y0b}	J_{z0b}	y_{0b}	z_{0b}
	45.95[cm ²]	5789.78[cm ⁴]	419.87[cm ⁴]	67.50[mm]	135.00[mm]
Materiał	Klasa	f_d	R_e	R_m	
	St3SX	215.00[MPa]	235.00[MPa]	375.00[MPa]	

Belka IPE270					
	h_b	b_{fb}	t_{fb}	t_{wb}	R_b
	270.00[mm]	135.00[mm]	10.20[mm]	6.60[mm]	15.00[mm]
	A_b	J_{y0b}	J_{z0b}	y_{0b}	z_{0b}
	45.95[cm ²]	5789.78[cm ⁴]	419.87[cm ⁴]	67.50[mm]	135.00[mm]
Materiał	Klasa	f_d	R_e	R_m	
	St3SX	215.00[MPa]	235.00[MPa]	375.00[MPa]	

Przykładka				
	l_{pw}	h_{pw}	t_{pw}	
	270.00[mm]	190.00[mm]	10.00[mm]	
Materiał	Klasa	f_d	R_e	R_m
	St3SX	215.00[MPa]	235.00[MPa]	375.00[MPa]

Nakładka górna				
	l_{pu}	h_{pu}	t_{pu}	
	270.00[mm]	130.00[mm]	20.00[mm]	
Materiał	Klasa	f_d	R_e	R_m
	St3SX	205.00[MPa]	225.00[MPa]	315.00[MPa]

Nakładka dolna				
	l_{pd}	h_{pd}	t_{pd}	
	270.00[mm]	130.00[mm]	20.00[mm]	
Materiał	Klasa	f_d	R_e	R_m
	St3SX	205.00[MPa]	225.00[MPa]	315.00[MPa]

Strona lewa

Śruby łączące przykładkę i środek belki

Klasa śruby	Klasa	4.6
Granica plastyczności	$R_e =$	240.00 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	$R_m =$	400.00 [MPa]
Średnica śruby	$d =$	20.00 [mm]
Średnica otworu dla śruby	$d_0 =$	22.00 [mm]
Pole powierzchni śruby	$A =$	3.14 [cm ²]
Pole powierzchni czynnej śruby	$A_s =$	2.45 [cm ²]
Liczba wierszy	$w =$	3
Liczba kolumn	$k =$	2

Śruby łączące nakładkę górną i półkę belki

Klasa śruby	Klasa	4.6
Granica plastyczności	$R_e =$	240.00 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	$R_m =$	400.00 [MPa]
Średnica śruby	$d =$	18.00 [mm]
Średnica otworu dla śruby	$d_0 =$	20.00 [mm]
Pole powierzchni śruby	$A =$	2.54 [cm ²]
Pole powierzchni czynnej śruby	$A_s =$	2.54 [cm ²]
Liczba wierszy	$w =$	2
Liczba kolumn	$k =$	1

Śruby łączące nakładkę górną i półkę belki

Klasa śruby	Klasa	4.6
Granica plastyczności	$R_e =$	240.00 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	$R_m =$	400.00 [MPa]
Średnica śruby	$d =$	18.00 [mm]
Średnica otworu dla śruby	$d_0 =$	20.00 [mm]

Pole powierzchni śruby	A =	2.54	[cm ²]
Pole powierzchni czynnej śruby	A _s =	2.54	[cm ²]
Liczba wierszy	w =	2	
Liczba kolumn	k =	1	

Strona prawa

Śruby łączące przykładkę i środek belki

Klasa śruby	Klasa	4.6	
Granica plastyczności	R _e =	240.00	[MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	R _m =	400.00	[MPa]
Średnica śruby	d =	20.00	[mm]
Średnica otworu dla śruby	d ₀ =	22.00	[mm]
Pole powierzchni śruby	A =	3.14	[cm ²]
Pole powierzchni czynnej śruby	A _s =	2.45	[cm ²]
Liczba wierszy	w =	3	
Liczba kolumn	k =	2	

Śruby łączące nakładkę górną i półkę belki

Klasa śruby	Klasa	4.6	
Granica plastyczności	R _e =	240.00	[MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	R _m =	400.00	[MPa]
Średnica śruby	d =	18.00	[mm]
Średnica otworu dla śruby	d ₀ =	20.00	[mm]
Pole powierzchni śruby	A =	2.54	[cm ²]
Pole powierzchni czynnej śruby	A _s =	2.54	[cm ²]
Liczba wierszy	w =	2	
Liczba kolumn	k =	1	

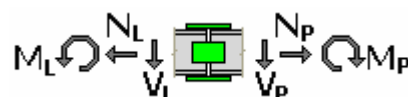
Śruby łączące nakładkę górną i półkę belki

Klasa śruby	Klasa	4.6	
Granica plastyczności	R _e =	240.00	[MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	R _m =	400.00	[MPa]
Średnica śruby	d =	18.00	[mm]
Średnica otworu dla śruby	d ₀ =	20.00	[mm]
Pole powierzchni śruby	A =	2.54	[cm ²]
Pole powierzchni czynnej śruby	A _s =	2.54	[cm ²]
Liczba wierszy	w =	2	
Liczba kolumn	k =	1	

Siły

Obciążenie obliczeniowe

Siła podłużna	N _{dL} =	50.00	[kN]
Siła poprzeczna	V _{dL} =	100.00	[kN]
Moment zginający	M _{dL} =	0.00	[kNm]
Siła podłużna	N _{dP} =	50.00	[kN]
Siła poprzeczna	V _{dP} =	100.00	[kN]
Moment zginający	M _{dP} =	0.00	[kNm]



Rezultaty

Strona lewa

Śruby łączące przykładkę i środek belki

Nośność śrub

Scinanie trzpienia śruby

Pole ścinanej części śruby

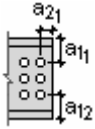
$$A_v = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0.25 \cdot 3.14 \cdot (20.00[\text{mm}])^2 = 3.14[\text{cm}^2]$$

Nośność na ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot m \cdot R_m \cdot A_v = 0.45 \cdot 2 \cdot 400.00[\text{MPa}] \cdot 3.14[\text{cm}^2] = 113.10[\text{kN}]$$

Docisk śruby

Docisk śruby do belki

	$a_{11} = 75.00[\text{mm}]$
	$a_{12} = 75.00[\text{mm}]$
	$a_{21} = 35.00[\text{mm}]$
$a_{1\text{min}} = \min[a_{11}; a_{12}; a_{21}] = 35.00[\text{mm}]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^I = \min[a_{1\text{min}}/d; (\min[a, a_3]/d) - 0.75; 2.5] = \min[35.00[\text{mm}]/20.00[\text{mm}]; (\min[60.00[\text{mm}], 60.00[\text{mm}]]/20.00[\text{mm}]) - 0.75; 2.5] = 1.75$$

$$\alpha^I > 0$$

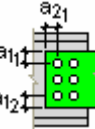
$$1.75 > 0.00$$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^I = \alpha^I \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.75 \cdot 215.00[\text{MPa}] \cdot 20.00[\text{mm}] \cdot 6.60[\text{mm}] = 49.67[\text{kN}]$$

Docisk śruby do przykładki

	$a_{11} = 35.00[\text{mm}]$
	$a_{12} = 35.00[\text{mm}]$
	$a_{21} = 35.00[\text{mm}]$
$a_{1\text{min}} = \min[a_{11}; a_{12}; a_{21}] = 35.00[\text{mm}]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^{II} = \min[a_{1\text{min}}/d; (\min[a, a_3]/d) - 0.75; 2.5] = \min[35.00[\text{mm}]/20.00[\text{mm}]; (\min[60.00[\text{mm}], 60.00[\text{mm}]]/20.00[\text{mm}]) - 0.75; 2.5] = 1.75$$

$$\alpha^{II} > 0$$

$$1.75 > 0.00$$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^{II} = \alpha^{II} \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.75 \cdot 215.00[\text{MPa}] \cdot 20.00[\text{mm}] \cdot 20.00[\text{mm}] = 150.50[\text{kN}]$$

Stan graniczny nośności

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3] / 12 = [6.60[mm] \cdot (249.60[mm])^3] / 12 = 855.26[cm^4]$$

Część momentu przypadająca na środek belki

$$M_w = [M_{dL} \cdot I_w] / I_{y0} = [0.00[kNm] \cdot 855.26[cm^4]] / 5789.78[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Siły w śrubach

Siła podłużna

$$N_0 = N_{dL} / 3 = 50.00[kN] / 3 = 16.67[kN]$$

Siła poprzeczna

$$V_0 = V_{dL} = 100.00[kN]$$

Mimośród działania siły względem środka ciężkości układu śrub

$$e_0 = 70.00[mm]$$

Rzeczywisty moment zginający

$$M_0 = M_w + V_0 \cdot e_0 = 0.00[kNm] + 100.00[kN] \cdot 70.00[mm] = 7.00[kNm]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły podłużnej

$$S_N = N_0 / n_b = 16.67[kN] / 6 = 2.78[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły ścinającej

$$S_V = V_0 / n_b = 100.00[kN] / 6 = 16.67[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu momentu na kierunku x

$$S_{Mx} = (M_0 \cdot z_{max}) / \sum [x_i^2 + z_i^2] = (7.00[kNm] \cdot 60.00[mm]) / 198.00[cm^2] = 21.21[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu momentu na kierunku z

$$S_{Mz} = (M_0 \cdot x_{max}) / \sum [x_i^2 + z_i^2] = (7.00[kNm] \cdot 30.00[mm]) / 198.00[cm^2] = 10.61[kN]$$

Wypadkowa siła ścinająca w śrubie

$$S = \sqrt{[(S_N + S_{Mx})^2 + (S_V + S_{Mz})^2]} = \sqrt{[(2.78[kN] + 21.21[kN])^2 + (16.67[kN] + 10.61[kN])^2]} = 36.32[kN]$$

Miarodajna nośność obliczeniowa śruby

$$S_R = \min[S_{Rv}; S_{Rb}^I; S_{Rb}^{II}] = \min[113.10[kN]; 49.67[kN]; 150.50[kN]] = 49.67[kN]$$

$$S \leq S_R$$

$$36.32[kN] < 49.67[kN]$$

0.73



Śruby łączące nakładkę górną i półkę belki

Nośność śrub

Scinanie trzpienia śruby

Pole ścinanej części śruby

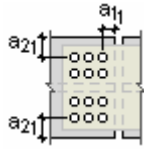
$$A_v = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0.25 \cdot 3.14 \cdot (18.00[mm])^2 = 2.54[cm^2]$$

Nośność na ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot m \cdot R_m \cdot A_v = 0.45 \cdot 1 \cdot 400.00[MPa] \cdot 2.54[cm^2] = 45.80[kN]$$

Docisk śruby

Docisk śruby do półki belki

	$a_{11} = 35.00[mm]$
	$a_{21} = 32.50[mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{21}] = 32.50[mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^I = \min[a_{1min}/d; (a/d)-0.75; 2.5] = \min[32.50[mm]/18.00[mm]; (60.00[mm]/18.00[mm])-0.75; 2.5] = 1.81$$

$\alpha^I > 0$

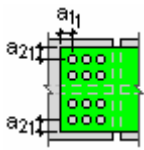
1.81 > 0.00



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^I = \alpha^I * f_d * d * \Sigma t_i = 1.81 * 215.00[MPa] * 18.00[mm] * 10.20[mm] = 71.27[kN]$$

Docisk śruby do nakładki

	$a_{11} = 35.00[mm]$
	$a_{21} = 30.00[mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{21}] = 30.00[mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^{II} = \min[a_{1min}/d; (a/d)-0.75; 2.5] = \min[30.00[mm]/18.00[mm]; (60.00[mm]/18.00[mm])-0.75; 2.5] = 1.67$$

$\alpha^{II} > 0$

1.67 > 0.00



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^{II} = \alpha^{II} * f_d * d * \Sigma t_i = 1.67 * 205.00[MPa] * 18.00[mm] * 20.00[mm] = 129.00[kN]$$

Stan graniczny nośności

Siły w śrubach

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} * h_{wb}^3]/12 = [6.60[mm] * (249.60[mm])^3]/12 = 855.26[cm^4]$$

Część momentu przypadająca na średnik belki

$$M_w = [M_{dL} * I_w]/I_{y0} = [0.00[kNm] * 855.26[cm^4]]/5789.78[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Część momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = M_{dL} - M_w = 0.00[kNm] - 0.00[kNm] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$N_0 = M_f/h_b + N_{dL}/3 = 0.00[kNm]/270.00[mm] + 50.00[kN]/3 = 16.67[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły podłużnej

$$S = N_0/n_b = 16.67[kN]/4 = 4.17[kN]$$

Miarodajna nośność obliczeniowa śruby

$$S_R = \min[S_{Rv}; S_{Rb}^I; S_{Rb}^{II}] = \min[45.80[kN]; 71.27[kN]; 129.00[kN]] = 45.80[kN]$$

Współczynnik redukcyjny dla długiego połączenia

$$\eta = \min[1.0; 1 - (L - 15 \cdot d) / (200 \cdot d)] = \min[1.0; 1 - (60.00[\text{mm}] - 15 \cdot 18.00[\text{mm}] / (200 \cdot 18.00[\text{mm}]))] = 1.00$$

$$|S| \leq \eta \cdot S_R$$

$$|4.17[\text{kN}]| < 45.80[\text{kN}]$$

0.09



Śruby łączące nakładkę dolną i półkę belki

Nośność śrub

Scinanie trzpienia śruby

Pole ścinanej części śruby

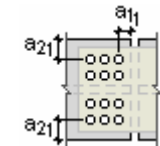
$$A_v = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0.25 \cdot 3.14 \cdot (18.00[\text{mm}])^2 = 2.54[\text{cm}^2]$$

Nośność na ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot m \cdot R_m \cdot A_v = 0.45 \cdot 1 \cdot 400.00[\text{MPa}] \cdot 2.54[\text{cm}^2] = 45.80[\text{kN}]$$

Docisk śruby

Docisk śruby do półki belki

	$a_{11} = 35.00[\text{mm}]$
	$a_{21} = 32.50[\text{mm}]$
$a_{1\text{min}} = \min[a_{11}; a_{21}] = 32.50[\text{mm}]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^I = \min[a_{1\text{min}}/d; (a/d) - 0.75; 2.5] = \min[32.50[\text{mm}] / 18.00[\text{mm}]; (60.00[\text{mm}] / 18.00[\text{mm}]) - 0.75; 2.5] = 1.81$$

$$\alpha^I > 0$$

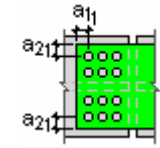
$$1.81 > 0.00$$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^I = \alpha^I \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.81 \cdot 215.00[\text{MPa}] \cdot 18.00[\text{mm}] \cdot 10.20[\text{mm}] = 71.27[\text{kN}]$$

Docisk śruby do nakładki

	$a_{11} = 35.00[\text{mm}]$
	$a_{21} = 30.00[\text{mm}]$
$a_{1\text{min}} = \min[a_{11}; a_{21}] = 30.00[\text{mm}]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^{II} = \min[a_{1\text{min}}/d; (a/d) - 0.75; 2.5] = \min[30.00[\text{mm}] / 18.00[\text{mm}]; (60.00[\text{mm}] / 18.00[\text{mm}]) - 0.75; 2.5] = 1.67$$

$$\alpha^{II} > 0$$

$$1.67 > 0.00$$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^{II} = \alpha^{II} \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.67 \cdot 205.00[\text{MPa}] \cdot 18.00[\text{mm}] \cdot 20.00[\text{mm}] = 129.00[\text{kN}]$$

Stan graniczny nośności

Siły w śrubach

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3] / 12 = [6.60[mm] \cdot (249.60[mm])^3] / 12 = 855.26[cm^4]$$

Część momentu przypadająca na środek belki

$$M_w = [M_{dL} \cdot I_w] / I_{y0} = [0.00[kNm] \cdot 855.26[cm^4]] / 5789.78[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Część momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = M_{dL} - M_w = 0.00[kNm] - 0.00[kNm] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$N_0 = N_{dL} / 3 - M_f / h_b = 50.00[kN] / 3 - 0.00[kNm] / 270.00[mm] = 16.67[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły podłużnej

$$S = N_0 / n_b = 16.67[kN] / 4 = 4.17[kN]$$

Miarodajna nośność obliczeniowa śruby

$$S_R = \min[S_{RV}; S_{RB}^I; S_{RB}^II] = \min[45.80[kN]; 71.27[kN]; 129.00[kN]] = 45.80[kN]$$

Współczynnik redukcyjny dla długiego połączenia

$$\eta = \min[1.0; 1 - (L - 15 \cdot d) / (200 \cdot d)] = \min[1.0; 1 - (60.00[mm] - 15 \cdot 18.00[mm]) / (200 \cdot 18.00[mm])] = 1.00$$

$$|S| \leq \eta \cdot S_R$$

$$|4.17[kN]| < 45.80[kN]$$

0.09



Oslabienie otworami

Przykładka

Siły w elemencie

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3] / 12 = [6.60[mm] \cdot (249.60[mm])^3] / 12 = 855.26[cm^4]$$

Część momentu przypadająca na środek belki

$$M_w = [M_{dL} \cdot I_w] / I_{y0} = [0.00[kNm] \cdot 855.26[cm^4]] / 5789.78[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$N_0 = 0.5 \cdot N_{dL} / 3 = 0.5 \cdot 50.00[kN] / 3 = 8.33[kN]$$

Siła poprzeczna

$$V_0 = 0.5 \cdot V_{dL} = 0.5 \cdot 100.00[kN] = 50.00[kN]$$

Mimośród działania siły względem środka ciężkości układu śrub

$$e_0 = 70.00[mm]$$

Rzeczywisty moment zginający

$$M_0 = 0.5 \cdot M_w + V_0 \cdot e_0 = 0.5 \cdot 0.00[kNm] + 50.00[kN] \cdot 70.00[mm] = 3.50[kNm]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 10.22[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t \cdot d_0 \cdot n_t = 10.22[cm^2] - 10.00[mm] \cdot 22.00[mm] \cdot 3 = 8.02[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_{\psi} = A_{tn} \cdot 0.8 \cdot (R_m / R_e) = 8.02[cm^2] \cdot 0.8 \cdot (375.00[MPa] / 235.00[MPa]) = 10.23[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_{\psi} / A_t] = \min[1.0, 10.23[cm^2] / 10.22[cm^2]] = 1.00$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0 / A = 8.33[kN] / 19.00[cm^2] = 4.39[MPa]$$

Naprężenie od zginania

$$\Delta \sigma = M_0 / W = 3.50[kNm] / 60.17[cm^3] = 58.17[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_e = \sigma / \psi_{0t} + \Delta \sigma = 4.39[MPa] / 1.00 + 58.17[MPa] = 62.56[MPa]$$

$ \sigma_e \leq f_d$	$ 62.56[MPa] < 215.00[MPa]$	0.29	
-----------------------	------------------------------	-------------	--

Pole przekroju czynnego przy ścinaniu

$$A_v = H \cdot t = 190.00[mm] \cdot 10.00[mm] = 19.00[cm^2]$$

Pole przekroju netto czynnego przy ścinaniu

$$A_{vn} = A_v - n_z \cdot d_0 \cdot t = 19.00[cm^2] - 3 \cdot 22.00[mm] \cdot 10.00[mm] = 12.40[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy ścinaniu

$$\psi_{ov} = \min[1.0; (A_{vn} / A_v) \cdot 0.8 \cdot (R_m / R_e)] = \min[1.0; (12.40[cm^2] / 19.00[cm^2]) \cdot 0.8 \cdot (375.00[MPa] / 235.00[MPa])] = 0.83$$

Naprężenie ścinające

$$\tau = V_0 / A_v = 50.00[kN] / 19.00[cm^2] = 26.32[MPa]$$

Średnie naprężenie ścinające

$$\tau_e = \tau / \psi_{ov} = 26.32[MPa] / 0.83 = 31.59[MPa]$$

$ \tau_e \leq 0.58 \cdot f_d$	$ 31.59[MPa] < 124.70[MPa]$	0.25	
--------------------------------	------------------------------	-------------	--

Naprężenie zastępcze

$$\sigma_{ze} = \sqrt{[\sigma_e]^2 + 3 \cdot [\tau_e]^2} = \sqrt{[(62.56[MPa])]^2 + 3 \cdot [(31.59[MPa])]^2} = 83.11[MPa]$$

$\sigma_{ze} \leq f_d$	$83.11[MPa] < 215.00[MPa]$	0.39	
------------------------	----------------------------	-------------	--

Belka

Siły w elemencie

Siła podłużna

$$N_0 = N_{dL} / 3 = 50.00[kN] / 3 = 16.67[kN]$$

Siła poprzeczna

$$V_0 = V_{dL} = 100.00[kN]$$

Mimośród działania siły względem środka ciężkości układu śrub

$$e_0 = 70.00[mm]$$

Rzeczywisty moment zginający

$$M_0 = M_w + V_0 \cdot e_0 = 0.00[kNm] + 100.00[kN] \cdot 70.00[mm] = 7.00[kNm]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 10.25[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t \cdot d_0 \cdot n_t = 10.25[cm^2] - 6.60[mm] \cdot 22.00[mm] \cdot 3 = 7.35[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_{\psi} = A_{tn} \cdot 0.8 \cdot (R_m/R_e) = 7.35[cm^2] \cdot 0.8 \cdot (375.00[MPa]/235.00[MPa]) = 9.38[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_{\psi}/A_t] = \min[1.0, 9.38[cm^2]/10.25[cm^2]] = 0.91$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0/A = 16.67[kN]/17.82[cm^2] = 9.03[MPa]$$

Naprężenie od zginania

$$\Delta\sigma = M_0/W = 7.00[kNm]/80.19[cm^3] = 81.40[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_e = \sigma/\psi_{0t} + \Delta\sigma = 9.03[MPa]/0.91 + 81.40[MPa] = 91.27[MPa]$$

$$|\sigma_e| \leq f_d$$

$$|91.27[MPa]| < 215.00[MPa]$$

0.42



Pole przekroju czynnego przy ścinaniu

$$A_v = H \cdot t = 270.00[mm] \cdot 6.60[mm] = 18.45[cm^2]$$

Pole przekroju netto czynnego przy ścinaniu

$$A_{vn} = A_v - n_z \cdot d_0 \cdot t = 18.45[cm^2] - 3 \cdot 22.00[mm] \cdot 6.60[mm] = 14.10[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy ścinaniu

$$\psi_{ov} = \min[1.0; (A_{vn}/A_v) \cdot 0.8 \cdot (R_m/R_e)] = \min[1.0; (14.10[cm^2]/18.45[cm^2]) \cdot 0.8 \cdot (375.00[MPa]/235.00[MPa])] = 0.98$$

Naprężenie ścinające

$$\tau = V_0/A_v = 100.00[kN]/18.45[cm^2] = 54.19[MPa]$$

Średnie naprężenie ścinające

$$\tau_e = \tau/\psi_{ov} = 54.19[MPa]/0.98 = 55.57[MPa]$$

$$|\tau_e| \leq 0.58 \cdot f_d$$

$$|55.57[MPa]| < 124.70[MPa]$$

0.45



Naprężenie zastępcze

$$\sigma_{ze} = \sqrt{[\sigma_e]^2 + 3 \cdot [\tau_e]^2} = \sqrt{[91.27[MPa]]^2 + 3 \cdot [55.57[MPa]]^2} = 132.64[MPa]$$

$$\sigma_{ze} \leq f_d$$

$$132.64[MPa] < 215.00[MPa]$$

0.62



Nakładka górna

Część momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = M_{dL} - M_w = 0.00[kNm] - 0.00[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$S = M_f/h_b + N_{dL}/3 = 0.00[kNm]/270.00[mm] + 50.00[kN]/3 = 16.67[kN]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 26.00[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t \cdot d_0 \cdot n_t = 26.00[cm^2] - 10.20[mm] \cdot 20.00[mm] \cdot 2 = 0.00[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_{\psi} = A_{tn} \cdot 0.8 \cdot (R_m/R_e) = 0.00[cm^2] \cdot 0.8 \cdot (315.00[MPa]/225.00[MPa]) = 24.64[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_{\psi}/A_t] = \min[1.0, 24.64[cm^2]/26.00[cm^2]] = 0.95$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0/A_t = 16.67[kN]/26.00[cm^2] = 6.41[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_{et} = \sigma/\psi_{0t} = 6.41[MPa]/0.95 = 6.76[MPa]$$

$$|\sigma_{et}| \leq f_d$$

$$6.76[MPa] < 205.00[MPa]$$

0.03



Nakładka dolna

Cześć momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = M_{dL} - M_w = 0.00[kNm] - 0.00[kNm] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$S = N_{dL}/3 - M_f/h_b = 50.00[kN]/3 - 0.00[kNm]/270.00[mm] = 16.67[kN]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 26.00[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t \cdot d_0 \cdot n_t = 26.00[cm^2] - 10.20[mm] \cdot 20.00[mm] \cdot 2 = 0.00[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_\psi = A_{tn} \cdot 0.8 \cdot (R_m/R_e) = 0.00[cm^2] \cdot 0.8 \cdot (315.00[MPa]/225.00[MPa]) = 24.64[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_\psi/A_t] = \min[1.0, 24.64[cm^2]/26.00[cm^2]] = 0.95$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0/A_t = 16.67[kN]/26.00[cm^2] = 6.41[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_{et} = \sigma/\psi_{0t} = 6.41[MPa]/0.95 = 6.76[MPa]$$

$$|\sigma_{et}| \leq f_d$$

$$6.76[MPa] < 205.00[MPa]$$

0.03



Ścięcie i rozerwanie

Przykładka

Siły w elemencie

Siła poprzeczna

$$V_0 = 0.5 \cdot V_{dL} = 0.5 \cdot 100.00[kN] = 50.00[kN]$$

Pole ścinanej części przekroju netto

$$A_{nv} = [h_v - (n_v - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [185.00[mm] - (3 - 0.5) \cdot 22.00[mm]] \cdot 10.00[mm] = 13.00[cm^2]$$

Pole rozciąganej części przekroju netto

$$A_{nt} = [w_t - (n_t - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [125.00[mm] - (2 - 0.5) \cdot 22.00[mm]] \cdot 10.00[mm] = 15.20[cm^2]$$

Nośność obliczeniowa przekroju osłabionego otworami

$$F_{Rj} = f_d \cdot [0.6 \cdot A_{nv} + (n_v/n_b) \cdot A_{nt}] = 215.00[MPa] \cdot [0.6 \cdot 13.00[cm^2] + (3/6) \cdot 15.20[cm^2]] = 331.10[kN]$$

$ V_0 \leq F_{Rj}$	$ 50.00[kN] < 331.10[kN]$	0.15	✓
---------------------	----------------------------	------	---

Belka

Siły w elemencie

Siła poprzeczna

$$V_0 = V_{dL} = 100.00[kN]$$

Pole ścinanej części przekroju netto

$$A_{nv} = [h_v - (n_v - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [225.00[mm] - (3 - 0.5) \cdot 22.00[mm]] \cdot 6.60[mm] = 11.22[cm^2]$$

Pole rozciąganej części przekroju netto

$$A_{nt} = [w_t - (n_t - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [5.00[mm] - (2 - 0.5) \cdot 22.00[mm]] \cdot 6.60[mm] = 2.11[cm^2]$$

Nośność obliczeniowa przekroju osłabionego otworami

$$F_{Rj} = f_d \cdot [0.6 \cdot A_{nv} + (n_v/n_b) \cdot A_{nt}] = 215.00[MPa] \cdot [0.6 \cdot 11.22[cm^2] + (3/6) \cdot 2.11[cm^2]] = 167.44[kN]$$

$ V_0 \leq F_{Rj}$	$ 100.00[kN] < 167.44[kN]$	0.60	✓
---------------------	-----------------------------	------	---

Strona prawa

Śruby łączące przykładkę i środnik belki

Nośność śrub

Scinanie trzpienia śruby

Pole ścinanej części śruby

$$A_v = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0.25 \cdot 3.14 \cdot (20.00[mm])^2 = 3.14[cm^2]$$

Nośność na ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot m \cdot R_m \cdot A_v = 0.45 \cdot 2 \cdot 400.00[MPa] \cdot 3.14[cm^2] = 113.10[kN]$$

Docisk śruby

Docisk śruby do belki

	$a_{11} = 75.00[mm]$
	$a_{12} = 75.00[mm]$
	$a_{21} = 35.00[mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{12}; a_{21}] = 35.00[mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

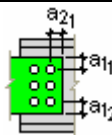
$$\alpha^l = \min[a_{1min}/d; (\min[a, a_3]/d) - 0.75; 2.5] = \min[35.00[mm]/20.00[mm]; (\min[60.00[mm], 60.00[mm]]/20.00[mm]) - 0.75; 2.5] = 1.75$$

$\alpha^l > 0$	$1.75 > 0.00$		✓
----------------	---------------	--	---

Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^l = \alpha^l \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.75 \cdot 215.00[MPa] \cdot 20.00[mm] \cdot 6.60[mm] = 49.67[kN]$$

Docisk śruby do przykładki

	$a_{11} = 35.00[mm]$
	$a_{12} = 35.00[mm]$
	$a_{21} = 35.00[mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{12}; a_{21}] = 35.00[mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^{\parallel} = \min[a_{1min}/d; (\min[a, a_3]/d) - 0.75; 2.5] = \min[35.00[mm]/20.00[mm]; (\min[60.00[mm], 60.00[mm]]/20.00[mm]) - 0.75; 2.5] = 1.75$$

$$\alpha^{\parallel} > 0$$

$$1.75 > 0.00$$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^{\parallel} = \alpha^{\parallel} \cdot f_d \cdot d \cdot \sum t_i = 1.75 \cdot 215.00[MPa] \cdot 20.00[mm] \cdot 20.00[mm] = 150.50[kN]$$

Stan graniczny nośności

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3]/12 = [6.60[mm] \cdot (249.60[mm])^3]/12 = 855.26[cm^4]$$

Część momentu przypadająca na średnik belki

$$M_w = [M_{dP} \cdot I_w]/I_{y0} = [0.00[kNm] \cdot 855.26[cm^4]]/5789.78[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Siły w śrubach

Siła podłużna

$$N_0 = N_{dP}/3 = 50.00[kN]/3 = 16.67[kN]$$

Siła poprzeczna

$$V_0 = V_{dP} = 100.00[kN]$$

Mimośród działania siły względem środka ciężkości układu śrub

$$e_0 = 70.00[mm]$$

Rzeczywisty moment zginający

$$M_0 = M_w + V_0 \cdot e_0 = 0.00[kNm] + 100.00[kN] \cdot 70.00[mm] = 7.00[kNm]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły podłużnej

$$S_N = N_0/n_b = 16.67[kN]/6 = 2.78[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły ścinającej

$$S_V = V_0/n_b = 100.00[kN]/6 = 16.67[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu momentu na kierunku x

$$S_{Mx} = (M_0 \cdot z_{max})/\sum[x_i^2 + z_i^2] = (7.00[kNm] \cdot 60.00[mm])/198.00[cm^2] = 21.21[kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu momentu na kierunku z

$$S_{Mz} = (M_0 \cdot x_{max})/\sum[x_i^2 + z_i^2] = (7.00[kNm] \cdot 30.00[mm])/198.00[cm^2] = 10.61[kN]$$

Wypadkowa siła ścinająca w śrubie

$$S = \sqrt{(S_N + S_{Mx})^2 + (S_V + S_{Mz})^2} = \sqrt{(2.78[kN] + 21.21[kN])^2 + (16.67[kN] + 10.61[kN])^2} = 36.32[kN]$$

Miarodajna nośność obliczeniowa śruby

$$S_R = \min[S_{RV}; S_{RB}^{\perp}; S_{RB}^{\parallel}] = \min[113.10[kN]; 49.67[kN]; 150.50[kN]] = 49.67[kN]$$

$S \leq S_R$

$36.32[kN] < 49.67[kN]$

0.73



Śruby łączące nakładkę górną i półkę belki

Nośność śrub

Scinanie trzpienia śruby

Pole ścinanej części śruby

$$A_v = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0.25 \cdot 3.14 \cdot (18.00[mm])^2 = 2.54[cm^2]$$

Nośność na ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot m \cdot R_m \cdot A_v = 0.45 \cdot 1 \cdot 400.00[MPa] \cdot 2.54[cm^2] = 45.80[kN]$$

Docisk śruby

Docisk śruby do półki belki

	$a_{11} = 35.00[mm]$
	$a_{21} = 32.50[mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{21}] = 32.50[mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^I = \min[a_{1min}/d; (a/d)-0.75; 2.5] = \min[32.50[mm]/18.00[mm]; (60.00[mm]/18.00[mm])-0.75; 2.5] = 1.81$$

$\alpha^I > 0$

$1.81 > 0.00$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^I = \alpha^I \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.81 \cdot 215.00[MPa] \cdot 18.00[mm] \cdot 10.20[mm] = 71.27[kN]$$

Docisk śruby do nakładki

	$a_{11} = 35.00[mm]$
	$a_{21} = 30.00[mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{21}] = 30.00[mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^{II} = \min[a_{1min}/d; (a/d)-0.75; 2.5] = \min[30.00[mm]/18.00[mm]; (60.00[mm]/18.00[mm])-0.75; 2.5] = 1.67$$

$\alpha^{II} > 0$

$1.67 > 0.00$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^{II} = \alpha^{II} \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.67 \cdot 205.00[MPa] \cdot 18.00[mm] \cdot 20.00[mm] = 129.00[kN]$$

Stan graniczny nośności

Siły w śrubach

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3] / 12 = [6.60 [mm] \cdot (249.60 [mm])^3] / 12 = 855.26 [cm^4]$$

Część momentu przypadająca na środek belki

$$M_w = [M_{dP} \cdot I_w] / I_{y0} = [0.00 [kNm] \cdot 855.26 [cm^4]] / 5789.78 [cm^4] = 0.00 [kNm]$$

Cześć momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = [M_{dP} \cdot I_f] / I_{y0} = 0.00 [kNm] - 0.00 [kNm] = 0.00 [kNm]$$

Siła podłużna

$$N_0 = M_f / h_b + N_{dP} / 3 = 0.00 [kNm] / 270.00 [mm] + 50.00 [kN] / 3 = 16.67 [kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły podłużnej

$$S = N_0 / n_b = 16.67 [kN] / 4 = 4.17 [kN]$$

Miarodajna nośność obliczeniowa śruby

$$S_R = \min[S_{Rv}; S_{Rb}^I; S_{Rb}^{II}] = \min[45.80 [kN]; 71.27 [kN]; 129.00 [kN]] = 45.80 [kN]$$

Współczynnik redukcyjny dla długiego połączenia

$$\eta = \min[1.0; 1 - (L - 15 \cdot d) / (200 \cdot d)] = \min[1.0; 1 - (60.00 [mm] - 15 \cdot 18.00 [mm]) / (200 \cdot 18.00 [mm])] = 1.00$$

$$|S| \leq \eta \cdot S_R$$

$$|4.17 [kN]| < 45.80 [kN]$$

0.09



Śruby łączące nakładkę dolną i półkę belki

Nośność śrub

Scinanie trzpienia śruby

Pole ścinanej części śruby

$$A_v = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0.25 \cdot 3.14 \cdot (18.00 [mm])^2 = 2.54 [cm^2]$$

Nośność na ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot m \cdot R_m \cdot A_v = 0.45 \cdot 1 \cdot 400.00 [MPa] \cdot 2.54 [cm^2] = 45.80 [kN]$$

Docisk śruby

Docisk śruby do półki belki

	$a_{11} = 35.00 [mm]$
	$a_{21} = 32.50 [mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{21}] = 32.50 [mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^I = \min[a_{1min} / d; (a/d) - 0.75; 2.5] = \min[32.50 [mm] / 18.00 [mm]; (60.00 [mm] / 18.00 [mm]) - 0.75; 2.5] = 1.81$$

$$\alpha^I > 0$$

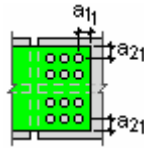
$$1.81 > 0.00$$



Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^I = \alpha^I \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.81 \cdot 215.00 [MPa] \cdot 18.00 [mm] \cdot 10.20 [mm] = 71.27 [kN]$$

Docisk śruby do nakładki

	$a_{11} = 35.00 [mm]$
	$a_{21} = 30.00 [mm]$
$a_{1min} = \min[a_{11}; a_{21}] = 30.00 [mm]$	

Współczynnik zależny od rozstawu śrub

$$\alpha^II = \min[a_{1min}/d; (a/d) - 0.75; 2.5] = \min[30.00 [mm] / 18.00 [mm]; (60.00 [mm] / 18.00 [mm]) - 0.75; 2.5] = 1.67$$

$\alpha^II > 0$	$1.67 > 0.00$	<input checked="" type="checkbox"/>
-----------------	---------------	-------------------------------------

Nośność obliczeniowa w stanie granicznym uplastycznienia ścianki otworu

$$S_{Rb}^{II} = \alpha^II \cdot f_d \cdot d \cdot \Sigma t_i = 1.67 \cdot 205.00 [MPa] \cdot 18.00 [mm] \cdot 20.00 [mm] = 129.00 [kN]$$

Stan graniczny nośności

Siły w śrubach

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3] / 12 = [6.60 [mm] \cdot (249.60 [mm])^3] / 12 = 855.26 [cm^4]$$

Część momentu przypadająca na średnik belki

$$M_w = [M_{dP} \cdot I_w] / I_{y0} = [0.00 [kNm] \cdot 855.26 [cm^4]] / 5789.78 [cm^4] = 0.00 [kNm]$$

Cześć momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = M_{dP} - M_w = 0.00 [kNm] - 0.00 [kNm] = 0.00 [kNm]$$

Siła podłużna

$$N_0 = N_{dP} / 3 - M_f / h_b = 50.00 [kN] / 3 - 0.00 [kNm] / 270.00 [mm] = 16.67 [kN]$$

Siła składowa w śrubie od wpływu siły podłużnej

$$S = N_0 / n_b = 16.67 [kN] / 4 = 4.17 [kN]$$

Miarodajna nośność obliczeniowa śruby

$$S_R = \min[S_{Rv}; S_{Rb}^I; S_{Rb}^{II}] = \min[45.80 [kN]; 71.27 [kN]; 129.00 [kN]] = 45.80 [kN]$$

Współczynnik redukcyjny dla długiego połączenia

$$\eta = \min[1.0; 1 - (L - 15 \cdot d) / (200 \cdot d)] = \min[1.0; 1 - (60.00 [mm] - 15 \cdot 18.00 [mm]) / (200 \cdot 18.00 [mm])] = 1.00$$

$ S \leq \eta \cdot S_R$	$ 4.17 [kN] < 45.80 [kN]$	0.09	<input checked="" type="checkbox"/>
---------------------------	----------------------------	-------------	-------------------------------------

Oslabienie otworami			
----------------------------	--	--	--

Przykładka

Siły w elemencie

Moment bezwładności środka belki

$$I_w = [t_{wb} \cdot h_{wb}^3] / 12 = [6.60 [mm] \cdot (249.60 [mm])^3] / 12 = 855.26 [cm^4]$$

Część momentu przypadająca na środek belki

$$M_w = [M_{dP} \cdot I_w] / I_{y0} = [0.00 [kNm] \cdot 855.26 [cm^4]] / 5789.78 [cm^4] = 0.00 [kNm]$$

Siła podłużna

$$N_0 = 0.5 \cdot N_{dP} / 3 = 0.5 \cdot 50.00 [kN] / 3 = 8.33 [kN]$$

Siła poprzeczna

$$V_0 = 0.5 \cdot V_{dP} = 0.5 \cdot 100.00 [kN] = 50.00 [kN]$$

Mimośród działania siły względem środka ciężkości układu śrub

$$e_0 = 70.00 [mm]$$

Rzeczywisty moment zginający

$$M_0 = 0.5 \cdot M_w + V_0 \cdot e_0 = 0.5 \cdot 0.00 [kNm] + 50.00 [kN] \cdot 70.00 [mm] = 3.50 [kNm]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 10.22 [cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t \cdot d_0 \cdot n_t = 10.22 [cm^2] - 10.00 [mm] \cdot 22.00 [mm] \cdot 3 = 8.02 [cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_\psi = A_{tn} \cdot 0.8 \cdot (R_m / R_e) = 8.02 [cm^2] \cdot 0.8 \cdot (375.00 [MPa] / 235.00 [MPa]) = 10.23 [cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_\psi / A_t] = \min[1.0, 10.23 [cm^2] / 10.22 [cm^2]] = 1.00$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0 / A = 8.33 [kN] / 19.00 [cm^2] = 4.39 [MPa]$$

Naprężenie od zginania

$$\Delta \sigma = M_0 / W = 3.50 [kNm] / 60.17 [cm^3] = 58.17 [MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_e = \sigma / \psi_{0t} + \Delta \sigma = 4.39 [MPa] / 1.00 + 58.17 [MPa] = 62.56 [MPa]$$

$$|\sigma_e| \leq f_d$$

$$|62.56 [MPa]| < 215.00 [MPa]$$

0.29



Pole przekroju czynnego przy ścinaniu

$$A_v = H \cdot t = 190.00 [mm] \cdot 10.00 [mm] = 19.00 [cm^2]$$

Pole przekroju netto czynnego przy ścinaniu

$$A_{vn} = A_v - n_z \cdot d_0 \cdot t = 19.00 [cm^2] - 3 \cdot 22.00 [mm] \cdot 10.00 [mm] = 12.40 [cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy ścinaniu

$$\psi_{ov} = \min[1.0; (A_{vn} / A_v) \cdot 0.8 \cdot (R_m / R_e)] = \min[1.0; (12.40 [cm^2] / 19.00 [cm^2]) \cdot 0.8 \cdot (375.00 [MPa] / 235.00 [MPa])] = 0.83$$

Naprężenie ścinające

$$\tau = V_0 / A_v = 50.00 [kN] / 19.00 [cm^2] = 26.32 [MPa]$$

Średnie naprężenie ścinające

$$\tau_e = \tau / \psi_{ov} = 26.32 [MPa] / 0.83 = 31.59 [MPa]$$

$$|\tau_e| \leq 0.58 \cdot f_d$$

$$|31.59 [MPa]| < 124.70 [MPa]$$

0.25



Naprężenie zastępcze

$$\sigma_{ze} = \sqrt{[\sigma_e]^2 + 3 \cdot [\tau_e]^2} = \sqrt{[(62.56 [MPa])]^2 + 3 \cdot [(31.59 [MPa])]^2} = 83.11 [MPa]$$

$$\sigma_{ze} \leq f_d$$

$$83.11[MPa] < 215.00[MPa]$$

0.39



Belka

Siły w elemencie

Siła podłużna

$$N_0 = N_{dP}/3 = 50.00[kN]/3 = 16.67[kN]$$

Siła poprzeczna

$$V_0 = V_{dP} = 100.00[kN]$$

Mimośród działania siły względem środka ciężkości układu śrub

$$e_0 = 70.00[mm]$$

Rzeczywisty moment zginający

$$M_0 = M_w + V_0 * e_0 = 0.00[kNm] + 100.00[kN] * 70.00[mm] = 7.00[kNm]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 10.25[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t * d_0 * n_t = 10.25[cm^2] - 6.60[mm] * 22.00[mm] * 3 = 7.35[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_\psi = A_{tn} * 0.8 * (R_m/R_e) = 7.35[cm^2] * 0.8 * (375.00[MPa]/235.00[MPa]) = 9.38[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_\psi/A_t] = \min[1.0, 9.38[cm^2]/10.25[cm^2]] = 0.91$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0/A = 16.67[kN]/17.82[cm^2] = 9.03[MPa]$$

Naprężenie od zginania

$$\Delta\sigma = M_0/W = 7.00[kNm]/80.19[cm^3] = 81.40[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_e = \sigma/\psi_{0t} + \Delta\sigma = 9.03[MPa]/0.91 + 81.40[MPa] = 91.27[MPa]$$

$$|\sigma_e| \leq f_d$$

$$|91.27[MPa]| < 215.00[MPa]$$

0.42



Pole przekroju czynnego przy ścinaniu

$$A_v = H * t = 270.00[mm] * 6.60[mm] = 18.45[cm^2]$$

Pole przekroju netto czynnego przy ścinaniu

$$A_{vn} = A_v - n_z * d_0 * t = 18.45[cm^2] - 3 * 22.00[mm] * 6.60[mm] = 14.10[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy ścinaniu

$$\psi_{0v} = \min[1.0; (A_{vn}/A_v) * 0.8 * (R_m/R_e)] = \min[1.0; (14.10[cm^2]/18.45[cm^2]) * 0.8 * (375.00[MPa]/235.00[MPa])] = 0.98$$

Naprężenie ścinające

$$\tau = V_0/A_v = 100.00[kN]/18.45[cm^2] = 54.19[MPa]$$

Średnie naprężenie ścinające

$$\tau_e = \tau/\psi_{0v} = 54.19[MPa]/0.98 = 55.57[MPa]$$

$$|\tau_e| \leq 0.58 * f_d$$

$$|55.57[MPa]| < 124.70[MPa]$$

0.45



Naprężenie zastępcze

$$\sigma_{ze} = \sqrt{[\sigma_e]^2 + 3 * [\tau_e]^2} = \sqrt{[(91.27[MPa])]^2 + 3 * [(55.57[MPa])]^2} = 132.64[MPa]$$

$$\sigma_{ze} \leq f_d$$

$$132.64[MPa] < 215.00[MPa]$$

0.62



Nakładka górna

Część momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = [M_{dP} * I_f] / I_{y0} = 0.00[kNm] - 0.00[cm^4] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$S = M_f / h_b + N_{dL} / 3 = 0.00[kNm] / 270.00[mm] + 50.00[kN] / 3 = 16.67[kN]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 26.00[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t * d_0 * n_t = 26.00[cm^2] - 10.20[mm] * 20.00[mm] * 2 = 0.00[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_{\psi} = A_{tn} * 0.8 * (R_m / R_e) = 0.00[cm^2] * 0.8 * (315.00[MPa] / 225.00[MPa]) = 24.64[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_{\psi} / A_t] = \min[1.0, 24.64[cm^2] / 26.00[cm^2]] = 0.95$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0 / A_t = 16.67[kN] / 26.00[cm^2] = 6.41[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_{et} = \sigma / \psi_{0t} = 6.41[MPa] / 0.95 = 6.76[MPa]$$

$$|\sigma_{et}| \leq f_d$$

$$6.76[MPa] < 205.00[MPa]$$

0.03



Nakładka dolna

Część momentu przypadająca na nakładki

$$M_f = M_{dP} - M_w = 0.00[kNm] - 0.00[kNm] = 0.00[kNm]$$

Siła podłużna

$$S = N_{dL} / 3 - M_f / h_b = 50.00[kN] / 3 - 0.00[kNm] / 270.00[mm] = 16.67[kN]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju brutto

$$A_t = 26.00[cm^2]$$

Pole rozciąganej strefy przekroju netto

$$A_{tn} = A_t - t * d_0 * n_t = 26.00[cm^2] - 10.20[mm] * 20.00[mm] * 2 = 0.00[cm^2]$$

Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu

$$A_{\psi} = A_{tn} * 0.8 * (R_m / R_e) = 0.00[cm^2] * 0.8 * (315.00[MPa] / 225.00[MPa]) = 24.64[cm^2]$$

Wskaźnik osłabienia przekroju przy rozciąganiu

$$\psi_{0t} = \min[1.0, A_{\psi} / A_t] = \min[1.0, 24.64[cm^2] / 26.00[cm^2]] = 0.95$$

Naprężenie od siły podłużnej

$$\sigma = N_0 / A_t = 16.67[kN] / 26.00[cm^2] = 6.41[MPa]$$

Naprężenie średnie

$$\sigma_{et} = \sigma / \psi_{0t} = 6.41[MPa] / 0.95 = 6.76[MPa]$$

$$|\sigma_{et}| \leq f_d$$

$$6.76[MPa] < 205.00[MPa]$$

0.03



Przykładka

Siły w elemencie

Siła poprzeczna

$$V_0 = 0.5 \cdot V_{dP} = 0.5 \cdot 100.00 [kN] = 50.00 [kN]$$

Pole ścinanej części przekroju netto

$$A_{nv} = [h_v - (n_v - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [185.00 [mm] - (3 - 0.5) \cdot 22.00 [mm]] \cdot 10.00 [mm] = 13.00 [cm^2]$$

Pole rozciąganej części przekroju netto

$$A_{nt} = [w_t - (n_t - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [125.00 [mm] - (2 - 0.5) \cdot 22.00 [mm]] \cdot 10.00 [mm] = 15.20 [cm^2]$$

Nośność obliczeniowa przekroju osłabionego otworami

$$F_{Rj} = f_d \cdot [0.6 \cdot A_{nv} + (n_v/n_b) \cdot A_{nt}] = 215.00 [MPa] \cdot [0.6 \cdot 13.00 [cm^2] + (3/6) \cdot 15.20 [cm^2]] = 331.10 [kN]$$

$$|V_0| \leq F_{Rj}$$

$$|50.00 [kN]| < 331.10 [kN]$$

0.15



Belka

Siły w elemencie

Siła poprzeczna

$$V_0 = V_{dP} = 100.00 [kN]$$

Pole ścinanej części przekroju netto

$$A_{nv} = [h_v - (n_v - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [225.00 [mm] - (3 - 0.5) \cdot 22.00 [mm]] \cdot 6.60 [mm] = 11.22 [cm^2]$$

Pole rozciąganej części przekroju netto

$$A_{nt} = [w_t - (n_t - 0.5) \cdot d_0] \cdot t = [5.00 [mm] - (2 - 0.5) \cdot 22.00 [mm]] \cdot 6.60 [mm] = 2.11 [cm^2]$$

Nośność obliczeniowa przekroju osłabionego otworami

$$F_{Rj} = f_d \cdot [0.6 \cdot A_{nv} + (n_v/n_b) \cdot A_{nt}] = 215.00 [MPa] \cdot [0.6 \cdot 11.22 [cm^2] + (3/6) \cdot 2.11 [cm^2]] = 167.44 [kN]$$

$$|V_0| \leq F_{Rj}$$

$$|100.00 [kN]| < 167.44 [kN]$$

0.60

