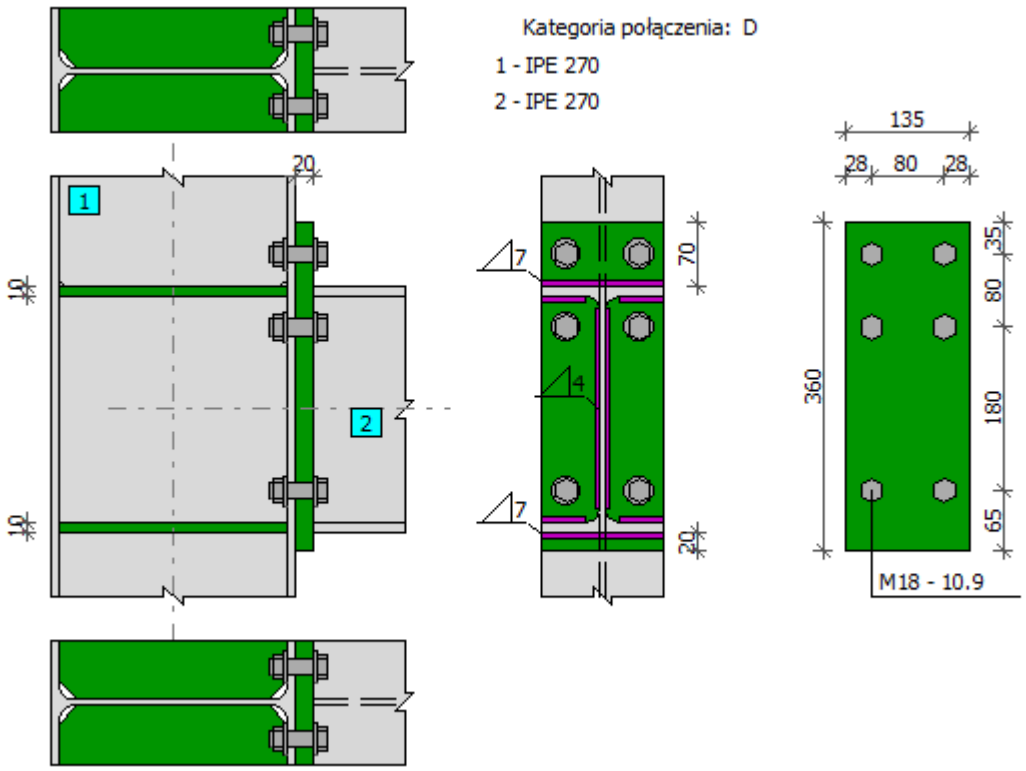
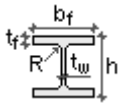
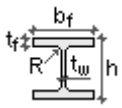
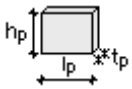
	Belka - słup (blacha czołowa)	Wytężenie: 0.98	
BeamRigidColumn v. 0.9.9.7	EC3 1991-1-8: 2006		



Dane

Słup IPE 270					
	h_c	b_{fc}	t_{fc}	t_{wc}	R_c
	270.00*[mm]*	135.00*[mm]*	10.20*[mm]*	6.60*[mm]*	15.00*[mm]*
	A_c	J_{y0c}	J_{z0c}	y_{0c}	z_{0c}
	45.95*[cm²]*	5791.07*[cm⁴]*	419.88*[cm⁴]*	67.50*[mm]*	135.00*[mm]*
Materiał	Klasa	f_y	f_u		
	S 235	235.00*[MPa]*	360.00*[MPa]*		

Belka IPE 270					
	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*[cm²]*	5791.07*[cm⁴]*	419.88*[cm⁴]*	67.50*[mm]*	135.00*[mm]*
Materiał	Klasa	f_y	f_u		
	S 235	235.00*[MPa]*	360.00*[MPa]*		

Blacha czołowa				
	l_p	h_p	t_p	
	135.00*[mm]*	360.00*[mm]*	20.00*[mm]*	
Materiał	Klasa	f_y	f_u	
	S 235	235.00*[MPa]*	360.00*[MPa]*	

Śruby łączące blachę czołową i półkę słupa

Klasa śruby	Klasa	10.9	
Granica plastyczności	f_{yb} =	900.00	*[MPa]*
Wytrzymałość na rozciąganie	f_{ub} =	1000.00	*[MPa]*
Średnica śruby	d =	18.00	*[mm]*
Średnica otworu dla śruby	d_0 =	20.00	*[mm]*
Pole powierzchni śruby	A =	2.54	*[cm²]*
Pole powierzchni czynnej śruby	A_s =	1.57	*[cm²]*
Liczba wierszy	w =	3.00	
Odległość od krawedzi poziomej	e_1 =	35.00	*[mm]*
Rozstaw poziomy	w_1 =	80.00	*[mm]*

Liczba śrub w wierszach m_1=2; m_2=2; m_3=2

Rozstawy pionowe wierszy $p`_1$=80.00*[mm]*; $p`_2$=180.00*[mm]*

Spoiny

Grubość spoin pachwinowych łączących półki belki i blachę czołową	a_f =	7.00	*[mm]*
Grubość spoin pachwinowych łączących środnik belki i blachę czołową	a_w =	4.00	*[mm]*

Współczynniki materiałowe

Współczynnik	γ_{M0} =	1.00
Współczynnik	γ_{M1} =	1.00
Współczynnik	γ_{M2} =	1.25

Siły

Obciążenie obliczeniowe SGN

Prawa belka

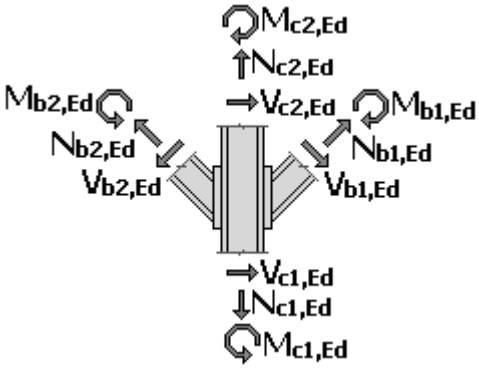
Siła podłużna	$N_{b1,Ed}$ =	0.00	*[kN]*
Siła poprzeczna	$V_{b1,Ed}$ =	0.00	*[kN]*
Moment zginający	$M_{b1,Ed}$ =	50.00	*[kNm]*

Słup dolny

Siła podłużna	$N_{c1,Ed}$ =	0.00	*[kN]*
Siła poprzeczna	$V_{c1,Ed}$ =	0.00	*[kN]*
Moment zginający	$M_{c1,Ed}$ =	0.00	*[kNm]*

Słup górny

Siła podłużna	$N_{c2,Ed}$ =	0.00	*[kN]*
Siła poprzeczna	$V_{c2,Ed}$ =	0.00	*[kN]*
Moment zginający	$M_{c2,Ed}$ =	0.00	*[kNm]*



Rezultaty

Panel środnika słupa w warunkach ścinania

Przekrój czynny słupa na ścinanie

$A_{vc} = A_c-2*b_{fc}*t_{fc}+(t_{wc}+2*r_c)*t_{fc}$ = 45.95*[cm²]*-2*135.00*[mm]*10.20*[mm]*+(6.60*[mm]*+2*15.00*[mm]*)*10.20*[mm]* =

22.15$[cm^2]$
Obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie półki slupa
$M_{pl,fc,Rd}$ = 0.27$[kNm]$
Osiowy rozstaw zeber
d_s = 230.00$[mm]$
Dodatkowa nośność na scianie spowodowana użebrowaniem
$V_{wp,add,Rd} = (4*M_{pl,fc,Rd})/d_s = (4*0.27[kNm])/230.00[mm]$ = 0.00$[kN]$
Obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie żebra
$M_{pl,st,Rd}$ = 0.00$[kNm]$
Nośność plastyczna przy ścinaniu panelu środnika słupa
$V_{wp,Rd} = (0.9*A_{vc}*f_{ywc})/(\sqrt{3}*\gamma_{M0}) = (0.9*22.15[cm^2]*235.00[MPa])/(\sqrt{3}*1.00)$ = 270.44$[kN]$

Wypadkowa sila scinajaca w panelu srodniku slupa
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed}-M_{b2,Ed})/z - 0.5*(V_{c1,Ed}-V_{c2,Ed}) = (50.00[kNm]-0.00[kNm])/259.90[mm] - 0.5*(0.00[kN]-0.00[kN])$ = 192.38$[kN]$

$V_{wp,Ed} \le V_{wp,Rd}$	192.38$[kN]$ < 270.44$[kN]$	**0.71**

Środnik słupa w strefie poprzecznego ściskania

Odleglośc s_p ----------
s_p= min[t_p+c; 2*t_p] = min[20.00$[mm]$+20.00$[mm]$; 2*20.00$[mm]$] = 40.00$[mm]$
Efektywna szerokość środnika słupa przy ściskaniu
$b_{eff,c,wc} = t_{fb}+2*\sqrt{2}*a_f+5*(t_{fc}+r_c)+s_p$ = 10.20$[mm]$+2*$\sqrt{2}$*7.00$[mm]$+5*(10.20$[mm]$+15.00$[mm]$)+40.00$[mm]$ = 196.00$[mm]$

Współczynnik ω ----------
$\omega = 1/\sqrt{[1+1.3*((b_{eff,c,wc}*t_{wc})/A_{vc})^2]} = 1/\sqrt{[1+1.3*((196.00[mm]*6.60[mm])/22.15[cm^2])^2}$ = 0.83
Obliczeniowa nośność środnika słupa przy ściskaniu
$F_{c,wc,Rd1} = (\omega*k_{wc}*\rho*b_{eff,c,wc}*t_{wc}*f_{y,wc})/\gamma_{M0} = (0.83*1.00*196.00[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00$ = 253.02$[kN]$

Wysokość panelu środnika słupa
$d_{wc} = h_c-2*(t_{fc}+r_c)$ = 270.00$[mm]$-2*(10.20$[mm]$+15.00$[mm]$) = 219.60$[mm]$
Współczynnik wyboczeniowy ρ ----------
$\lambda_p = 0.932*\sqrt{[(b_{eff,c,wc}*d_{wc}*f_{y,wc})/(E*t_{wc}^2)]} =$
$0.932*\sqrt{[(196.00[mm]*219.60[mm]*235.00[MPa])/(210000000.00[MPa]*(6.60[mm])^2)]}$ = 0.98
Obliczeniowa nośność środnika słupa przy ściskaniu
$F_{c,wc,Rd2} = (\omega*k_{wc}*\rho*b_{eff,c,wc}*t_{wc}*f_{y,wc})/\gamma_{M1} = (0.83*1.00*0.81*196.00[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00$ = 205.49$[kN]$

Obliczeniowa nośność środnika słupa przy ściskaniu
$F_{c,wc,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd1}; F_{c,wc,Rd2}) = \min(253.02[kN]; 205.49[kN])$ = 205.49$[kN]$

Pas i środnik belki w strefie ściskanej

Wskaźnik plastyczny przekroju
W_{pl} = 484.10$[cm^3]$
Nośność przekroju belki na zginanie .....
$M_{c,Rd} = (W_{pl}*f_{yb})/\gamma_{M0} = (484.10[cm^3]*235.00[MPa])/1.00$ = 113.76$[kNm]$

Odleglosc pomiedzy polkami

h_f = 259.80*[mm]*
Obliczeniowa nośność środnika słupa przy ściskaniu
$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd}/h_f$ = 113.76*[kNm]*/259.80*[mm]* = 437.89*[kN]*

Śruby łączące blachę czołową i półkę słupa

Nośność śruby na rozciąganie
$F_{t,Rd} = (k_2*f_{ub}*A_s)/\gamma_{M2}$ = (0.90*1000.00*[MPa]*1.57*[cm^2]*)/1.25 = 113.04*[kN]*

Pole ścinanej cześci śruby
$A = 0.25*\pi*d^2$ = 0.25*π*(18.00*[mm]*)^2 = 2.54*[cm^2]*
Nośność śruby na ścinanie w jednej płaszczyźnie
$F_{v,Rd} = (\alpha_v*m*f_{ub}*A)/\gamma_{M2}$ = (0.60*1*1000.00*[MPa]*2.54*[cm^2]*)/1.25 = 101.79*[kN]*
Nośność na przeciaganie
$B_{p,Rd} = (0.6*\pi*d_m*t_{fc}*f_{ub})/\gamma_{M2}$ = (0.6*π*18.00*[mm]*10.20*1000.00*[MPa]*)/1.25 = 309.43*[kN]*

Szereg śrub 1

Pas słupa lokalnie zginany

Parametry geometryczne

Odległość śruby od środnika belki
$m_{fc} = 0.5*(w-t_{wc}-0.8*r_c)$ = 0.5*(80.00*[mm]*-6.60*[mm]*-0.8*15.00*[mm]*) = 24.70*[mm]*
Odległość e_{min}
e_{min} = 27.50*[mm]*
Parametr obliczeniowy n
$n = min(e_{min}; 1.25*m_{fc})$ = min(27.50*[mm]*; 1.25*24.70*[mm]*) = 27.50*[mm]*

$\lambda_1 = m_{fc}/(m_{fc}+e_{fc})$ = 24.70*[mm]*/(24.70*[mm]* + 27.50*[mm]*) = 0.47
$\lambda_2 = m_2/(m_{fc}+e_{fc})$ = 1.00*[mm]*/(24.70*[mm]* + 27.50*[mm]*) = 0.56

α = 5.76

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w kołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,cp} = 2*\pi*m_{fc}$ = 2*π*24.70*[mm]* = 155.19*[mm]*

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w niekołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,nc} = e_1+\alpha*m-(2*m+0.625*e)$ = 0.00*[mm]*+5.76*24.70*[mm]*-(2*24.70*[mm]*+0.625*27.50*[mm]*) = 75.79*[mm]*

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie
$l_{eff,1} = min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc})$ = 75.79*[mm]*
Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie
$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ = 75.79*[mm]*

Model 1: Całkowite uplastycznienie półki słupa (mechanizm)

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*l_{eff,1}*t_{fc}^2*f_{yc})/\gamma_{M0} = (0.25*75.79[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 0.46[kNm]$

Metoda 1

$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m_{fc} = 4*0.46[kNm]/24.70[mm] = 75.02[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)

Parametr dla strefy docisku

$e_w = 0.25*d_w = 0.25*24.90[mm] = 8.50[mm]$

$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m_{fc}*n-e_w*(m_{fc}+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*0.46[kNm]]/[2*24.70[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(24.70[mm]+27.50[mm])] = 102.79[kN]$

$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (75.02[kN]; 102.79[kN]) = 75.02[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem półki słupa

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*l_{eff,2}*t_{fc}^2*f_{yc})/\gamma_{M0} = (0.25*75.79[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 0.46[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m_{fc}+n) = (2*0.46[kNm]+27.50[mm]*2*113.04[kN])/(24.70[mm]+27.50[mm]) = 136.85[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2*113.04[kN] = 226.08[kN]$

Nośność komponentu

$F_{t,fc,Rd(1)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (75.02[kN]; 136.85[kN]; 226.08[kN]) = 75.02[kN]$

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

Przekrój czynny słupa na ścinanie

$A_{vc} = A_c-2*b_{fc}*t_{fc}+(t_{wc}+r_c)*t_{fc} = 45.95[cm^2]-2*135.00[mm]*10.20[mm]+(6.60[mm]+15.00[mm])*10.20[mm] = 22.15[cm^2]$

Efektywna szerokość środnika słupa przy rozciaganiu

$b_{eff,t,wc} = l_{eff,1(1)} = 75.79[mm]$

Współczynnik redukcyjny

$\omega = 1/\sqrt{[1+1.3*((b_{eff,t,wc}*t_{wc})/A_{vc})^2]} = 1/\sqrt{[1+1.3*((75.79*6.60[mm])/22.15[cm^2])^2} = 0.97$

Obliczeniowa nośność środnika słupa przy rozciąganiu

$F_{t,wc,Rd(1)} = (\omega*b_{eff,t,wc}*t_{wc}*f_{y,wc})/\gamma_{M0} = (0.97*75.79[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00 = 113.83[kN]$

Blacha czołowa zginana

Parametry geometryczne

Odległość śruby od krawędzi zewnętrznej

$e_{ep} = 27.50[mm]$

Odległość śruby od środnika belki

$m_{ep} = 0.5*(w-t_{wb}-0.8*\sqrt{2}*a_w) = 0.5*(80.00[mm]-6.60[mm]-0.8*\sqrt{2}*7.00[mm]) = 32.17[mm]$

Parametr obliczeniowy n

$n = \min(e_{min}; 1.25*m_{ep}) = \min(0.00[mm]; 1.25*32.17[mm]) = 27.50[mm]$

Odległość śruby od półki belki

$m_x = e_{p1}-e_1-0.8*a_f*\sqrt{2} = 135.00[mm]-35.00[mm]-0.8*7.00[mm]*\sqrt{2} = 27.08[mm]$

Odległość śruby od poziomej krawędzi zewnętrznej

$e_x = e_1 = 35.00[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w kołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,cp,1} = 2*\pi*m_x = 2*\pi*27.08[mm] = 170.15[mm]$
$l_{eff,cp,2} = \pi*m_x+w = \pi*27.08[mm]+80.00[mm] = 165.08[mm]$
$l_{eff,cp,3} = \pi*m_x+2*e = \pi*27.08[mm]+2*27.50[mm] = 140.08[mm]$
$l_{eff,cp} = \min(l_{eff,cp,1}; l_{eff,cp,2}; l_{eff,cp,3}) = \min(170.15[mm]; 165.08[mm]; 140.08[mm]) = 140.08[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w niekołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,nc,1} = 4*m_x+1.25*e_x = 4*27.08[mm]+1.25*35.00[mm] = 152.07[mm]$
$l_{eff,nc,2} = e+2*m_x+0.625*e_x = 27.50[mm]+2*27.08[mm]+0.625*35.00[mm] = 103.54[mm]$
$l_{eff,nc,3} = 0.5*b_p = 0.5*0.00[mm] = 67.50[mm]$
$l_{eff,nc,4} = 0.5*w+2*m_x+0.625*e_x = 0.5*80.00[mm]+2*27.08[mm]+0.625*35.00[mm] = 116.04[mm]$
$l_{eff,nc} = \min(l_{eff,nc,1}; l_{eff,nc,2}; l_{eff,nc,3}; l_{eff,nc,4}) = \min(152.07[mm]; 103.54[mm]; 67.50[mm]; 116.04[mm]) = 67.50[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie
$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 67.50[mm]$
Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie
$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 67.50[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie blachy czołowej (mechanizm)

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*l_{eff,1}*t_p^2*f_{yp})/\gamma_{M0} = (0.25*67.50[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 1.59[kNm]$

Metoda 1
$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m_{ep} = 4*1.59[kNm]/32.17[mm] = 197.21[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)
Parametr dla strefy docisku
$e_w = 0.25*d_w = 0.25*24.90[mm] = 8.50[mm]$
$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m_{ep}*n-e_w*(m_{ep}+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*1.59[kNm]]/[2*32.17[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(32.17[mm]+27.50[mm])] = 255.08[kN]$
$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (197.21[kN]; 255.08[kN]) = 197.21[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem blachy czołowej

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*l_{eff,2}*t_p^2*f_{yp})/\gamma_{M0} = (0.25*67.50[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 1.59[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m_{ep}+n) = (2*1.59[kNm]+27.50[mm]*2*113.04[kN])/(32.17[mm]+27.50[mm]) = 157.35[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2*113.04[kN] = 226.08[kN]$

Nośność komponentu
$F_{t,ep,Rd(1)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (197.21[kN]; 157.35[kN]; 226.08[kN]) = 157.35[kN]$

Nośność rzędu śrub 1

$$F_{t,Rd(1)} = \min \begin{matrix}[\ F_{t,fc,Rd(1)};\ F_{t,wc,Rd(1)};\ F_{t,ep,Rd(1)}\ ] \\ [\ V_{wp,Rd}/\beta;\ F_{cwc,Rd};\ F_{cfb,Rd}\ ]\end{matrix} = \min \begin{matrix}[\ 75.02[kN];\ 113.83[kN];\ 157.35[kN]\ ] \\ [\ 270.44[kN]/1.00;\ 205.49[kN];\ 437.89[kN]\ ]\end{matrix} = 75.02[kN]$$

Szereg śrub 2

Pas słupa lokalnie zginany

Parametry geometryczne

Odległość śruby od środnika belki

$m_{fc} = 0.5*(w-t_{wc}-0.8*r_c) = 0.5*(80.00[mm]-6.60[mm]-0.8*15.00[mm]) = 24.70[mm]$

Odległość e_{min}

$e_{min} = 27.50[mm]$

Parametr obliczeniowy n

$n = \min(e_{min}; 1.25*m_{fc}) = \min(27.50[mm]; 1.25*24.70[mm]) = 27.50[mm]$

$\lambda_1 = m_{fc}/(m_{fc}+e_{fc}) = 24.70[mm]/(24.70[mm] + 27.50[mm]) = 0.47$

$\lambda_2 = m_2/(m_{fc}+e_{fc}) = 1.00[mm]/(24.70[mm] + 27.50[mm]) = 0.75$

$\alpha = 5.59$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w kołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,cp} = 2*\pi*m_{fc} = 2*\pi*24.70[mm] = 155.19[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w niekołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,nc} = \alpha*m_{fc} = 5.59*24.70[mm] = 138.12[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie

$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 138.12[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie

$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 138.12[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie półki słupa (mechanizm)

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*l_{eff,1}*t_{fc}^2*f_{yc})/\gamma_{M0} = (0.25*138.12[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 0.84[kNm]$

Metoda 1

$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m_{fc} = 4*0.84[kNm]/24.70[mm] = 136.72[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)

Parametr dla strefy docisku

$e_w = 0.25*d_w = 0.25*24.90[mm] = 8.50[mm]$

$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m_{fc}*n-e_w*(m_{fc}+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*0.84[kNm]]/[2*24.70[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(24.70[mm]+27.50[mm])] = 187.34[kN]$

$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (136.72[kN]; 187.34[kN]) = 136.72[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem półki słupa

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*l_{eff,2}*t_{fc}^2*f_{yc})/\gamma_{M0} = (0.25*138.12[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 0.84[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m_{fc}+n) = (2*0.84[kNm]+27.50[mm]*2*113.04[kN])/(24.70[mm]+27.50[mm]) = 151.45[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2*113.04[kN] = 226.08[kN]$

Nośność komponentu

$F_{t,fc,Rd(1)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (136.72[kN]; 151.45[kN]; 226.08[kN]) = 136.72[kN]$

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

Przekrój czynny słupa na ścinanie

$A_{vc} = A_c-2*b_{fc}*t_{fc}+(t_{wc}+r_c)*t_{fc} = 45.95[cm^2]-2*135.00[mm]*10.20[mm]+(6.60[mm]+15.00[mm])*10.20[mm] = 22.15[cm^2]$

Efektywna szerokość środnika słupa przy rozciaganiu

$b_{eff,t,wc} = l_{eff,1(2)} = 138.12[mm]$

Współczynnik redukcyjny

$\omega = 1/\sqrt{[1+1.3*((b_{eff,t,wc}*t_{wc})/A_{vc})^2]} = 1/\sqrt{[1+1.3*((138.12*6.60[mm])/22.15[cm^2])^2} = 0.91$

Obliczeniowa nośność środnika słupa przy rozciąganiu

$F_{t,wc,Rd(2)} = (\omega*b_{eff,t,wc}*t_{wc}*f_{y,wc})/\gamma_{M0} = (0.91*138.12[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00 = 193.93[kN]$

Blacha czołowa zginana

Parametry geometryczne

Odległość śruby od krawędzi zewnętrznej

$e_{ep} = 27.50[mm]$

Odległość śruby od środnika belki

$m_{ep} = 0.5*(w-t_{wb}-0.8*\sqrt{2}*a_w) = 0.5*(80.00[mm]-6.60[mm]-0.8*\sqrt{2}*7.00[mm]) = 32.17[mm]$

Parametr obliczeniowy n

$n = \min(e_{min}; 1.25*m_{ep}) = \min(0.00[mm]; 1.25*32.17[mm]) = 27.50[mm]$

$\lambda_1 = m_{ep}/(m_{ep}+e_{ep}) = 32.17[mm]/(32.17[mm] + 27.50[mm]) = 0.54$

$\lambda_2 = m_2/(m_{ep}+e_{ep}) = 1.00[mm]/(32.17[mm] + 27.50[mm]) = 0.50$

$\alpha = 5.51$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w kołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,cp} = 2*\pi*m_{ep} = 2*\pi*32.17[mm] = 202.16[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w niekołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,nc} = \alpha*m_{ep} = 5.51*32.17[mm] = 177.23[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie

$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 177.23[mm]$
Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie
$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 177.23[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie blachy czołowej (mechanizm)

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*l_{eff,1}*t_p^2*f_{yp})/\gamma_{M0} = (0.25*177.23[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 4.16[kNm]$

Metoda 1
$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m_{ep} = 4*4.16[kNm]/32.17[mm] = 517.79[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)
Parametr dla strefy docisku
$e_w = 0.25*d_w = 0.25*24.90[mm] = 8.50[mm]$
$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m_{ep}*n-e_w*(m_{ep}+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*4.16[kNm]]/[2*32.17[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(32.17[mm]+27.50[mm])] = 669.75[kN]$
$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (517.79[kN]; 669.75[kN]) = 517.79[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem blachy czołowej

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*l_{eff,2}*t_p^2*f_{yp})/\gamma_{M0} = (0.25*177.23[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 4.16[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m_{ep}+n) = (2*4.16[kNm]+27.50[mm]*2*113.04[kN])/(32.17[mm]+27.50[mm]) = 243.77[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2*113.04[kN] = 226.08[kN]$

Nośność komponentu
$F_{t,ep,Rd(1)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (517.79[kN]; 243.77[kN]; 226.08[kN]) = 226.08[kN]$

Środnik belki w strefie rozciąganej

Efektywna szerokośc środnika belki przy rozciąganiu.....
$b_{eff,t,wb} = l_{eff1(2)} = 177.23[mm]$
Nośność komponentu
$F_{t,wb,Rd(2)}=(b_{eff,t,wb}*t_{wb}*f_{yb})/\gamma_{M0} = (177.23[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00 = 274.88[kN]$

Nośność rzędu śrub 2

$$F_{t,Rd(2)} = \min\begin{bmatrix} F_{t,fc,Rd(2)}; F_{t,wc,Rd(2)}; F_{t,ep,Rd(2)}; \\ F_{t,wb,Rd(2)} \end{bmatrix} = \min\begin{bmatrix} V_{wp,Rd}/\beta - F_{t,Rd(1)}; F_{cwc,Rd} - \\ F_{t,Rd(1)}; F_{cfb,Rd} - F_{t,Rd(1)} \end{bmatrix}$$

$$= \min\begin{bmatrix} 136.72[kN]; 193.93[kN]; 226.08[kN]; 274.88[kN] \end{bmatrix} = \min\begin{bmatrix} 270.44[kN]/1.00 - 75.02[kN]; 205.49[kN] - \\ 75.02[kN]; 437.89[kN] - 75.02[kN] \end{bmatrix} = 130.47[kN]$$

Szereg śrub 3

Pas słupa lokalnie zginany

Parametry geometryczne

Odległość śruby od środnika belki
$m_{fc} = 0.5*(w-t_{wc}-0.8*r_c) = 0.5*(80.00[mm]-6.60[mm]-0.8*15.00[mm]) = 24.70[mm]$
Odległość e_{min}
$e_{min} = 27.50[mm]$
Parametr obliczeniowy n
$n = \min(e_{min}; 1.25*m_{fc}) = \min(27.50[mm]; 1.25*24.70[mm]) = 27.50[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w kołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,cp} = 2*\pi*m_{fc} = 2*\pi*24.70[mm] = 155.19[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w niekołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,nc} = 4*m+1.25*e = 4*24.70[mm]+1.25*27.50[mm] = 133.18[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie
$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 133.18[mm]$
Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie
$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 133.18[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie półki słupa (mechanizm)

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*l_{eff,1}*t_{fc}^2*f_{yc})/\gamma_{M0} = (0.25*133.18[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 0.81[kNm]$

Metoda 1
$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m_{fc} = 4*0.81[kNm]/24.70[mm] = 131.82[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)
Parametr dla strefy docisku
$e_w = 0.25*d_w = 0.25*24.90[mm] = 8.50[mm]$
$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m_{fc}*n-e_w*(m_{fc}+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*0.81[kNm]]/[2*24.70[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(24.70[mm]+27.50[mm])] = 180.63[kN]$
$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (131.82[kN]; 180.63[kN]) = 131.82[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem półki słupa

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*l_{eff,2}*t_{fc}^2*f_{yc})/\gamma_{M0} = (0.25*133.18[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 0.81[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m_{fc}+n) = (2*0.81[kNm]+27.50[mm]*2*113.04[kN])/(24.70[mm]+27.50[mm]) = 150.29[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2*113.04[kN] = 226.08[kN]$

Nośność komponentu
$F_{t,fc,Rd(1)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (131.82[kN]; 150.29[kN]; 226.08[kN]) = 131.82[kN]$

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

Przekrój czynny słupa na ścinanie
$A_{vc} = A_c-2*b_{fc}*t_{fc}+(t_{wc}+r_c)*t_{fc} = 45.95[cm^2]-2*135.00[mm]*10.20[mm]+(6.60[mm]+15.00[mm])*10.20[mm] = 22.15[cm^2]$
Efektywna szerokość środnika słupa przy rozciaganiu
$b_{eff,t,wc} = l_{eff,1(3)} = 133.18[mm]$
Współczynnik redukcyjny
$\omega = 1/\sqrt{[1+1.3*((b_{eff,t,wc}*t_{wc})/A_{vc})^2]} = 1/\sqrt{[1+1.3*((133.18*6.60[mm])/22.15[cm^2])^2} = 0.91$
Obliczeniowa nośność środnika słupa przy rozciąganiu
$F_{t,wc,Rd(3)} = (\omega*b_{eff,t,wc}*t_{wc}*f_{y,wc})/\gamma_{M0} = (0.91*133.18[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00 = 188.18[kN]$

Blacha czołowa zginana

Parametry geometryczne

Odległość śruby od krawędzi zewnętrznej
$e_{ep} = 27.50[mm]$
Odległość śruby od środnika belki
$m_{ep} = 0.5*(w-t_{wb}-0.8*\sqrt{2}*a_w) = 0.5*(80.00[mm]-6.60[mm]-0.8*\sqrt{2}*7.00[mm]) = 32.17[mm]$
Parametr obliczeniowy n
$n = \min(e_{min}; 1.25*m_{ep}) = \min(0.00[mm]; 1.25*32.17[mm]) = 27.50[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w kołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,cp} = 2*\pi*m_{ep} = 2*\pi*32.17[mm] = 202.16[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby w niekołowym trybie zniszczenia

$l_{eff,nc} = 4*m+1.25*e = 4*32.17[mm]+1.25*27.50[mm] = 163.07[mm]$

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie
$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = 163.07[mm]$
Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie
$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 163.07[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie blachy czołowej (mechanizm)

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*l_{eff,1}*t_p^2*f_{yp})/\gamma_{M0} = (0.25*163.07[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 3.83[kNm]$

Metoda 1
$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m_{ep} = 4*3.83[kNm]/32.17[mm] = 476.43[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)
Parametr dla strefy docisku
$e_w = 0.25*d_w = 0.25*24.90[mm] = 8.50[mm]$
$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m_{ep}*n-e_w*(m_{ep}+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*3.83[kNm]]/[2*32.17[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(32.17[mm]+27.50[mm])] = 616.26[kN]$
$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (476.43[kN]; 616.26[kN]) = 476.43[kN]$
Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem blachy czołowej

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*l_{eff,2}*t_p^2*f_{yp})/\gamma_{M0} = (0.25*163.07[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 3.83[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m_{ep}+n) = (2*3.83[kNm]+27.50[mm]*2*113.04[kN])/(32.17[mm]+27.50[mm]) = 232.62[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2*113.04[kN] = 226.08[kN]$

Nośność komponentu

$F_{t,ep,Rd(1)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (476.43[kN]; 232.62[kN]; 226.08[kN]) = 226.08[kN]$

Środnik belki w strefie rozciąganej

Efektywna szerokośc środnika belki przy rozciąganiu.....

$b_{eff,t,wb} = l_{eff1(3)} = 163.07[mm]$

Nośność komponentu

$F_{t,wb,Rd(3)}=(b_{eff,t,wb}*t_{wb}*f_{yb})/\gamma_{M0} = (163.07[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00 = 252.93[kN]$

Pas słupa lokalnie zginany

Wiersz 2+3 traktowany jako grupa

Mechanizmy kołowe

Szereg śrub 2

$l_{eff,cp(2,g)} = \pi*m+p = *\pi*24.70[mm]+180.00[mm] = 257.60[mm]$

Szereg śrub 3

$l_{eff,cp(3,g)} = 2*p = 2*180.00[mm] = 360.00[mm]$

$\Sigma l_{eff(2+3)}= l_{eff,cp(2,g)}+l_{eff,cp(3,g)} = 257.60[mm]+360.00[mm] = 617.60[mm]$

Mechanizmy niekołowe

Szereg śrub 2

$l_{eff,nc(2,g)} = 0.5*p+\alpha*m-(2*m+0.625*e) = 0.5*180.00[mm]+5.59*24.70[mm]-(2*24.70[mm]+0.625*27.50[mm]) = 161.53[mm]$

Szereg śrub 3

$l_{eff,nc(3,g)} = p = 180.00[mm]$

$\Sigma l_{eff,nc(2+3)} = l_{eff,nc(2,g)}+l_{eff,nc(3,g)} = 161.53[mm]+180.00[mm] = 341.53[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie półki słupa (mechanizm)

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie

$\Sigma l_{eff,1(2+3)} = \Sigma l_{eff,cp(2+3)} = 341.53[mm]$

$M_{pl,1,Rd} = (0.25*\Sigma l_{eff,1(2+3)}*t_{fc}^2*f_y)/\gamma_{M0} = (0.25*617.60[mm]*10.20[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 3.77[kNm]$

Metoda 1

$F_{T,1,Rd1} = (4*M_{pl,1,Rd})/m = 4*3.77[kNm]/24.70[mm] = 611.33[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)

$F_{T,1,Rd2}$ = [(8*n-2*e_w)*$M_{pl,1,Rd}$]/[2*m*n-e_w*(m+n)] = [(8*27.50$[mm]$-2*8.50$[mm]$)*3.77$[kNm]$]/[2*24.70$[mm]$*27.50$[mm]$-8.50$[mm]$*(24.70$[mm]$+27.50$[mm]$)] = 837.69$[kN]$

$F_{T,1,Rd}$ = min($F_{T,1,Rd1}$; $F_{T,1,Rd2}$) = (611.33$[kN]$; 837.69$[kN]$) = 452.16$[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem półki słupa

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie

$\Sigma l_{eff,2(2+3)}$ = $\Sigma l_{eff,cp(2+3)}$ = 341.53$[mm]$

$M_{pl,2,Rd}$ = (0.25*$\Sigma l_{eff,2(2+3)}$*t_f^2*f_y)/γ_{M0} = (0.25*341.53$[mm]$*10.20$[mm]^2$*235.00$[MPa]$)/1.00 = 3.77$[kNm]$

$F_{T,2,Rd}$ = (2*$M_{pl,2,Rd}$+n*$\Sigma F_{t,Rd}$)/(m+n) = (2*3.77$[kNm]$+27.50$[mm]$*113.04$[kN]$)/(24.70$[mm]$+27.50$[mm]$) = 570.77$[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd}$ = $\Sigma F_{t,Rd}$ = 4*113.04$[kN]$ = 800.49$[kN]$

Nośność grupy .....

$F_{t,fc(2+3)}$ = min($F_{T,1,Rd}$; $F_{T,2,Rd}$; $F_{T,3,Rd}$) = (452.16$[kN]$; 570.77$[kN]$; 800.49$[kN]$) = 452.16$[kN]$

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

Przekrój czynny słupa na ścinanie

A_{vc} = A_c-2*b_{fc}*t_{fc}+(t_{wc}+r_c)*t_{fc} = 45.95$[cm^2]$-2*135.00$[mm]$*10.20$[mm]$+(6.60$[mm]$+15.00$[mm]$)*10.20$[mm]$ = 22.15$[cm^2]$

Efektywna szerokość środnika słupa przy rozciaganiu

$b_{eff,t,wc}$ = $\Sigma l_{eff,1(2+3)}$ = 617.60$[mm]$

Współczynnik redukcyjny

ω = 1/$\sqrt{}$[1+1.3*(($b_{eff,t,wc}$*t_{wc})/A_{vc})^2] = 1/$\sqrt{}$[1+1.3*((617.60*6.60$[mm]$)/22.15$[cm^2]$)^2 = 0.43

Obliczeniowa nośność środnika słupa przy rozciąganiu

$F_{t,wc,Rd(2+3)}$ = (ω*$b_{eff,t,wc}$*t_{wc}*$f_{y,wc}$)/γ_{M0} = (0.43*617.60$[mm]$*6.60$[mm]$*235.00$[MPa]$)/1.00 = 412.08$[kN]$

Blacha czołowa zginana

Wiersz 2+3 traktowany jako grupa

Mechanizmy kołowe

Szereg śrub 2

$l_{eff,cp(2,g)}$ = π*m+p = *π*32.17$[mm]$+180.00$[mm]$ = 281.08$[mm]$

Szereg śrub 3

$l_{eff,cp(3,g)}$ = 2*p = 2*180.00$[mm]$ = 360.00$[mm]$

$\Sigma l_{eff(2+3)}$= $l_{eff,cp(2,g)}$+$l_{eff,cp(3,g)}$ = 281.08$[mm]$+360.00$[mm]$ = 641.08$[mm]$

Mechanizmy niekołowe

Szereg śrub 2

$l_{eff,nc(2,g)}$ = 0.5*p+α*m-(2*m+0.625*e) = 0.5*180.00$[mm]$+5.51*32.17$[mm]$-(2*32.17$[mm]$+0.625*27.50$[mm]$) = 185.69$[mm]$

Szereg śrub 3

$l_{eff,nc(3,g)}$ = p = 180.00$[mm]$

$\Sigma l_{eff,nc(2+3)}$ = $l_{eff,nc(2,g)}$+$l_{eff,nc(3,g)}$ = 185.69$[mm]$+180.00$[mm]$ = 365.69$[mm]$

Model 1: Całkowite uplastycznienie blachy czołowej (mechanizm)

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 1 postaci zniszczenie

$\Sigma l_{eff,1(2+3)}$ = $\Sigma l_{eff,cp(2+3)}$ = 365.69$[mm]$

$M_{pl,1,Rd}$ = (0.25*$\Sigma l_{eff,1(2+3)}$*t_{fc}^2*f_y)/γ_{M0} = (0.25*641.08$[mm]$*20.00$[mm]^2$*235.00$[MPa]$)/1.00 = 15.07$[kNm]$

Metoda 1

$F_{T,1,Rd1}$ = (4*$M_{pl,1,Rd}$)/m = 4*15.07$[kNm]$/32.17$[mm]$ = 1872.96$[kN]$

Metoda 2 (metoda alternatywna)

$F_{T,1,Rd2} = [(8*n-2*e_w)*M_{pl,1,Rd}]/[2*m*n-e_w*(m+n)] = [(8*27.50[mm]-2*8.50[mm])*15.07[kNm]]/[2*32.17[mm]*27.50[mm]-8.50[mm]*(32.17[mm]+27.50[mm])] = 2422.65[kN]$

$F_{T,1,Rd} = \min(F_{T,1,Rd1}; F_{T,1,Rd2}) = (1872.96[kN]; 2422.65[kN]) = 452.16[kN]$

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem blachy czołowej

Długość efektywna dla pojedyńczej śruby dla 2 postaci zniszczenie

$\Sigma l_{eff,2(2+3)} = \Sigma l_{eff,cp(2+3)} = 365.69[mm]$

$M_{pl,2,Rd} = (0.25*\Sigma l_{eff,2(2+3)}*t_f^2*f_y)/\gamma_{M0} = (0.25*365.69[mm]*20.00[mm]^2*235.00[MPa])/1.00 = 15.07[kNm]$

$F_{T,2,Rd} = (2*M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd})/(m+n) = (2*15.07[kNm]+27.50[mm]*113.04[kN])/(32.17[mm]+27.50[mm]) = 745.74[kN]$

Model 3: Zniszczenie śrub

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 4*113.04[kN] = 1308.15[kN]$

Nośność grupy .....

$F_{t,ep(2+3)} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = (452.16[kN]; 745.74[kN]; 1308.15[kN]) = 452.16[kN]$

Środnik belki w strefie rozciąganej

Efektywna szerokośc środnika belki przy rozciąganiu.....

$b_{eff,t,wb} = \Sigma l_{eff1(2+3)} = 641.08[mm]$

Nośność komponentu

$F_{t,wb,Rd(2+3)}=(b_{eff,t,wb}*t_{wb}*f_{yb})/\gamma_{M0} = (641.08[mm]*6.60[mm]*235.00[MPa])/1.00 = 994.31[kN]$

Nośność rzędu śrub 3

$$F_{t,Rd(3)} = \min \begin{bmatrix} F_{t,fc,Rd(3)}; F_{t,wc,Rd(3)}; F_{t,ep,Rd(3)}; F_{t,wb,Rd(3)} \\ F_{t,fc,Rd(2+3)}-F_{t,Rd(2)}; F_{t,wc,Rd(2+3)}-F_{t,Rd(2)}; F_{t,ep,Rd(2+3)}-F_{t,Rd(2)}; F_{t,wb,Rd(2+3)}-F_{t,Rd(2)} \\ V_{wp,Rd}/\beta-F_{t,Rd(1)}-F_{t,Rd(2)}; F_{cwc,Rd}-F_{t,Rd(1)}-F_{t,Rd(2)}; F_{cfb,Rd}-F_{t,Rd(1)}-F_{t,Rd(2)} \end{bmatrix} = \min \begin{bmatrix} 131.82[kN]; 188.18[kN]; 226.08[kN]; 252.93[kN] \\ 452.16[kN]-130.47[kN]; 412.08[kN]-130.47[kN]; 452.16[kN]-130.47[kN]; 994.31[kN]-130.47[kN] \\ 270.44[kN]/1.00-75.02[kN]-130.47[kN]; 205.49[kN]-75.02[kN]-130.47[kN]; 437.89[kN]-75.02[kN]-130.47[kN] \end{bmatrix} = 0.00[kN]$$

Nośność na zginanie

Stan graniczny nośności

Siły w śrubach

Rzeczywisty moment zginający

$M_0 = M_d = 50.00[kNm]$

$M_{Rd} = F_{t,Rd(1)}* h_1 + F_{t,Rd(2)}* h_2 + F_{t,Rd(3)}* h_3 = 75.02[kN]*299.90[mm] + 130.47[kN]*219.90[mm] + 0.00[kN]*39.90[mm] = 51.19[kNm]$

$\lvert M_{Ed}\rvert/M_{Rd} \le 1$	0.98 < 1.00	**0.98**	✓

Spoiny pachwinowe łączące belkę i blachę czołową

Siły w spoinach

Siła podłużna

$N_0 = N_{b1,Ed}*\cos(\alpha) + V_{b1,Ed}*\sin(\alpha) = 0.00[kN]*\cos(0.00[Deg]) + 0.00[kN]*\sin(0.00[Deg]) = 0.00[kN]$

Siła poprzeczna

$V_0 = -N_{b1,Ed}*\sin(\alpha) + V_{b1,Ed}*\cos(\alpha) = -(0.00[kN])*\sin(0.00[Deg]) + 0.00[kN]*\cos(0.00[Deg]) = 0.00[kN]$

Rzeczywisty moment zginający

$M_0 = M_{b1,Ed} = 50.00[kNm]$

Charakterystyki geometryczne układu spoin

Pole spoin poziomych na półce górnej

$A_{wfu} = 2*[b_{fb}+(b_{fb}-t_{wb}-2*r_b)]*a_f = 2*[135.00[mm]+(135.00[mm]-6.60[mm]-2*15.00[mm])]*7.00[mm] = 16.34[cm^2]$

Pole spoin poziomych na pólce dolnej

$A_{wfl} = 2*[b_{fb}+(b_{fb}-t_{wb}-2*r_b)]*a_f = 2*[135.00[mm]+(135.00[mm]-6.60[mm]-2*15.00[mm])]*7.00[mm] = 16.34[cm^2]$

Pole spoin poziomych

$A_{wf} = A_{wfu}+A_{wfl} = 16.34[cm^2]+16.34[cm^2] = 32.68[cm^2]$

Pole spoin pionowych

$A_{ww} = 2*[(h_b-2*(t_{fb}-r_b))/\cos(\alpha)]*a_w = 2*[(270.00[mm]-2*(10.20[mm]-15.00[mm]))/\cos(0.00[Deg])]*4.00[mm] = 17.57[cm^2]$

Pole wszystkich spoin

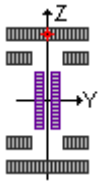
$A_w = A_{wfu}+A_{wfl}+A_{ww} = 16.34[cm^2]+16.34[cm^2]+17.57[cm^2] = 50.24[cm^2]$

Przesunięcie środka ciężkości układu spoin względem środka ciężkości belki

$e_{0w} = 0.00[mm]$

Moment bezwładnosci układu spoin

$I_w = 6359.74[cm^4]$

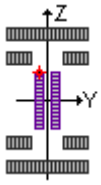
Punkt w którym sprawdzane są naprężenia	$z_i = 138.50[mm]$
Wskaźnik sprężysty układu spoin	
$W_w = 459.19[cm^3]$	
Naprężenie od siły podłużnej	
$\sigma_N = N_0/A_w = 0.00[kN]/50.24[cm^2] = 0.00[MPa]$	
Naprężenie od zginania	
$\sigma_M = M_0/W_w = 50.00[kNm]/459.19[cm^3] = 108.89[MPa]$	
Maksymalne naprężenie normalne	
$\sigma = \sigma_N + \sigma_M = 0.00[MPa] + 108.89[MPa] = 108.89[MPa]$	
Naprężenie normalne prostopadłe	
$\sigma_\perp = \sigma/\sqrt{2} = 108.89[MPa]/\sqrt{2} = 77.00[MPa]$	
Naprężenie styczne prostopadłe	
$\tau_\perp = \sigma/\sqrt{2} = 108.89[MPa]/\sqrt{2} = 77.00[MPa]$	

Współczynnik wytrzymałości spoin

$\beta_w = 1.00$

$\lvert\sigma_\perp\rvert \le 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	$\lvert 77.00[MPa]\rvert < 259.20[MPa]$	**0.21**	✓
$\sqrt{[\sigma_\perp^2+3*(\tau_\perp^2)]} \le f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	$153.99[MPa] < 288.00[MPa]$	**0.53**	✓

Punkt w którym sprawdzane są naprężenia	z_i = 109.80*[mm]*
Wskaźnik sprężysty układu spoin	
W_w = 579.21*[cm³]*	
Naprężenie od siły podłużnej	
$\sigma_N = N_0/A_w$ = 0.00*[kN]*/50.24*[cm²]* = 0.00*[MPa]*	
Naprężenie od zginania	
$\sigma_M = M_0/W_w$ = 50.00*[kNm]*/579.21*[cm³]* = 86.32*[MPa]*	
Maksymalne naprężenie normalne	
$\sigma = \sigma_N + \sigma_M$ = 0.00*[MPa]* + 86.32*[MPa]* = 86.32*[MPa]*	
Naprężenie normalne prostopadłe	
$\sigma_\perp = \sigma/\sqrt{2}$ = 86.32*[MPa]*/√2 = 61.04*[MPa]*	
Naprężenie styczne prostopadłe	
$\tau_\perp = \sigma/\sqrt{2}$ = 86.32*[MPa]*/√2 = 61.04*[MPa]*	
Naprężenie styczne równoległe	
$\tau_{II} = V_0/A_{ww}$ = 0.00*[kN]*/17.57*[cm²]* = 0.00*[MPa]*	

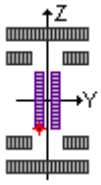


Współczynnik wytrzymałości spoin

β_w = 1.00

$\lvert\sigma_\perp\rvert \le 0.9 \cdot f_u/\gamma_{M2}$	|61.04*[MPa]*| < 259.20*[MPa]*	**0.17**	✓
$\sqrt{[\sigma_\perp^2+3\cdot(\tau_\perp^2)]} \le f_u/(\beta_w\cdot\gamma_{M2})$	122.08*[MPa]* < 288.00*[MPa]*	**0.42**	✓

Punkt w którym sprawdzane są naprężenia	z_i = -109.80*[mm]*
Wskaźnik sprężysty układu spoin	
W_w = 579.21*[cm³]*	
Naprężenie od siły podłużnej	
$\sigma_N = N_0/A_w$ = 0.00*[kN]*/50.24*[cm²]* = 0.00*[MPa]*	
Naprężenie od zginania	
$\sigma_M = M_0/W_w$ = 50.00*[kNm]*/579.21*[cm³]* = 86.32*[MPa]*	
Maksymalne naprężenie normalne	
$\sigma = \sigma_N + \sigma_M$ = 0.00*[MPa]* + 86.32*[MPa]* = 86.32*[MPa]*	
Naprężenie normalne prostopadłe	
$\sigma_\perp = \sigma/\sqrt{2}$ = 86.32*[MPa]*/√2 = 61.04*[MPa]*	
Naprężenie styczne prostopadłe	
$\tau_\perp = \sigma/\sqrt{2}$ = 86.32*[MPa]*/√2 = 61.04*[MPa]*	
Naprężenie styczne równoległe	
$\tau_{II} = V_0/A_{ww}$ = 0.00*[kN]*/17.57*[cm²]* = 0.00*[MPa]*	

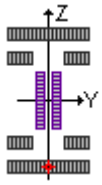


Współczynnik wytrzymałości spoin

β_w = 1.00

$\lvert\sigma_\perp\rvert \le 0.9 \cdot f_u/\gamma_{M2}$	|61.04*[MPa]*| < 259.20*[MPa]*	**0.17**	✓
$\sqrt{[\sigma_\perp^2+3\cdot(\tau_\perp^2)]} \le f_u/(\beta_w\cdot\gamma_{M2})$	122.08*[MPa]* < 288.00*[MPa]*	**0.42**	✓

Punkt w którym sprawdzane są naprężenia	z_i = -138.50*[mm]*
Wskaźnik sprężysty układu spoin	
W_w = 459.19*[cm³]*	
Naprężenie od siły podłużnej	
$\sigma_N = N_0/A_w$ = 0.00*[kN]*/50.24*[cm²]* = 0.00*[MPa]*	
Naprężenie od zginania	
$\sigma_M = M_0/W_w$ = 50.00*[kNm]*/459.19*[cm³]* = 108.89*[MPa]*	
Maksymalne naprężenie normalne	
$\sigma = \sigma_N + \sigma_M$ = 0.00*[MPa]* + 108.89*[MPa]* = 108.89*[MPa]*	
Naprężenie normalne prostopadłe	
$\sigma_\perp = \sigma/\sqrt{2}$ = 108.89*[MPa]*/√2 = 77.00*[MPa]*	
Naprężenie styczne prostopadłe	
$\tau_\perp = \sigma/\sqrt{2}$ = 108.89*[MPa]*/√2 = 77.00*[MPa]*	



Współczynnik wytrzymałości spoin

β_w = 1.00

$\lvert\sigma_\perp\rvert \le 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	|77.00*[MPa]*| < 259.20*[MPa]*	**0.21**	✓
$\sqrt{[\sigma_\perp^2+3*(\tau_\perp^2)]} \le f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	153.99*[MPa]* < 288.00*[MPa]*	**0.53**	✓

Sztywność obrotowa węzła

Panel środnika słupa w warunkach ścinania

$k_1 = (0.385*A_{vc})/(\beta*h) = (0.385*22.15[cm^2])/(1.00*270.00[mm]) = 3.24[mm]$

Środnik słupa w strefie poprzecznego ściskania

$k_2 = \infty$

Baza wydłużalności śruby

$L_b = t_p+t_{fc}+0.5*(m+k)+t_{wa} = 20.00[mm]+10.20[mm]+0.5*(16.90[mm]+11.50[mm])+3.00[mm]=50.40[mm]$

Rozciąganie śrub

$k_{10} = (3.2*A_s)/L_b = (3.2*1.57[cm^2])/50.40[mm] = 4.98[mm]$

Wysokość panelu środnika słupa

$d_c = h_c-2*(t_{fc}+r_c) = 270.00[mm]-2*(10.20[mm]+15.00[mm]) = 2214.72[mm]$

Wiersz 1

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

$k_{3(1)} = (0.7*b_{eff,wc,t}*t_{wc})/d_c = (0.7*75.79[mm]*6.60[mm])/2214.72[mm] = 1.59[mm]$

Pas słupa lokalnie zginany

$k_{4(1)} = (0.9*l_{eff,fc,t}*t_{fc}^3)/m^3 = (0.9*75.79[mm]*10.20[mm]^3)/24.70[mm]^3 = 4.80[mm]$

Blacha czołowa zginana

$k_{5(1)} = (0.9*l_{eff}*t_p^3)/m_x^3 = (0.9*67.50[mm]*20.00[mm]^3)/27.08[mm]^3 = 14.59[mm]$

$k_{eff(1)} = 1/(\ 1/k_{3(1)}+1/k_{4(1)}+1/k_{5(1)}+1/k_{10}\ ) = 1/(\ 1/1.59[mm] + 1/4.80[mm] + 1/14.59[mm] +1/4.98[mm]\ ) = 0.95[mm]$

Wiersz 2

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

$k_{3(2)} = (0.7*b_{eff,wc,t}*t_{wc})/d_c = (0.7*138.12[mm]*6.60[mm])/2214.72[mm] = 2.91[mm]$

Pas słupa lokalnie zginany

$k_{4(2)} = (0.9*l_{eff,fc,t}*t_{fc}^3)/m^3 = (0.9*138.12[mm]*10.20[mm]^3)/24.70[mm]^3 = 8.75[mm]$

Blacha czołowa zginana

$k_{5(2)} = (0.9*l_{eff}*t_p^3)/m_x^3 = (0.9*177.23[mm]*20.00[mm]^3)/0.00[mm]^3 = 38.31[mm]$

$k_{eff(2)} = 1/(1/k_{3(2)}+1/k_{4(2)}+1/k_{5(2)}+1/k_{10}) = 1/(1/2.91[mm] + 1/8.75[mm] + 1/38.31[mm] +1/4.98[mm]) = 1.48[mm]$

Wiersz 3

Środnik słupa w strefie poprzecznego rozciągania

$k_{3(3)} = (0.7*b_{eff,wc,t}*t_{wc})/d_c = (0.7*133.18[mm]*6.60[mm])/2214.72[mm] = 2.80[mm]$

Pas słupa lokalnie zginany

$k_{4(3)} = (0.9*l_{eff,fc,t}*t_{fc}^3)/m^3 = (0.9*133.18[mm]*10.20[mm]^3)/24.70[mm]^3 = 8.44[mm]$

Blacha czołowa zginana

$k_{5(3)} = (0.9*l_{eff}*t_p^3)/m_x^3 = (0.9*163.07[mm]*20.00[mm]^3)/0.00[mm]^3 = 35.25[mm]$

$k_{eff(3)} = 1/(1/k_{3(3)}+1/k_{4(3)}+1/k_{5(3)}+1/k_{10}) = 1/(1/2.80[mm] + 1/8.44[mm] + 1/35.25[mm] +1/4.98[mm]) = 1.43[mm]$

Zastępcze ramię sił wewnętrznych

$z_{eq} = [k_{eff(1)}*h_1^2+k_{eff(2)}*h_2^2+k_{eff(3)}*h_3^2]/[k_{eff(1)}*h_1+k_{eff(2)}*h_2+k_{eff(3)}*h_3] =$
$[0.95[mm]*299.90[mm]^2+1.48[mm]*219.90[mm]^2+1.43[mm]*39.90[mm]^2]/[0.95[mm]*299.90[mm]+1.48[mm]*219.90[mm]+1.43$
$= 237.65[mm]$

Zastępczy współczynnik sztywności grupy szeregów śrub

$k_{eq} = [k_{eff(1)}*h_1+k_{eff(2)}*h_2+k_{eff(3)}*h_3]/z_{eq} =$
$[0.95[mm]*299.90[mm]+1.48[mm]*219.90[mm]+1.43[mm]*39.90[mm]]/237.65[mm] = 2.73[mm]$

Początkowa sztywność obrotowa węzła

$S_{j,ini} = E*z_{eq}^2/(1/k_1+1/k_2+1/k_{eq}) = (210000000.00[MPa]*(237.65[mm])^2)/(1/3.24[mm] + 1/\infty + 1/2.73[mm]) =$
$6266531.59[kNm]$

Sztywność obrotowa dla węzła przegubowego

$S_{j,pin} = (0.5*E*I_{yb})/L_b = (0.5*210000000.00[MPa]*5791.07[cm^4])/4000.00[mm] = 1520154.86[kNm]$

Sztywność obrotowa dla węzła sztywnego

$S_{j,rig} = (0.5*E*I_{yb})/L_b = (0.5*210000000.00[MPa]*5791.07[cm^4])/4000.00[mm] = 76007743.14[kNm]$

Stosunek sztywnosci

$\mu = \min(1.0; |M_{b1,Ed}|/M_{Rd} = \min(1.0; 50.00[kNm]/51.19[kNm]) = 2.80$

Sztywność obrotowa węzła

$S_j = S_{j,ini}/\mu = 6266531.59[kNm]/2.80 = 2234222.22[kNm]$

Klasyfikacja wezla

Podatny