



Program Uczenie się przez całe życie

Projekt SKILLS



WĘZŁY RAMOWE – CZĘŚĆ 2



Program
Uczenie się
przez całe życie

OMAWIANE ZAGADNIENIA

- **Przykład obliczeniowy węzła okapowego konstrukcji ramowej budynku parterowego z doczołowym połączeniem śrubowym**
 - ✓ **Nośność węzła przy zginaniu**
 - ✓ **Nośność węzła przy ścinaniu**
 - ✓ **Sztywność początkowa węzła**

SPIS TREŚCI

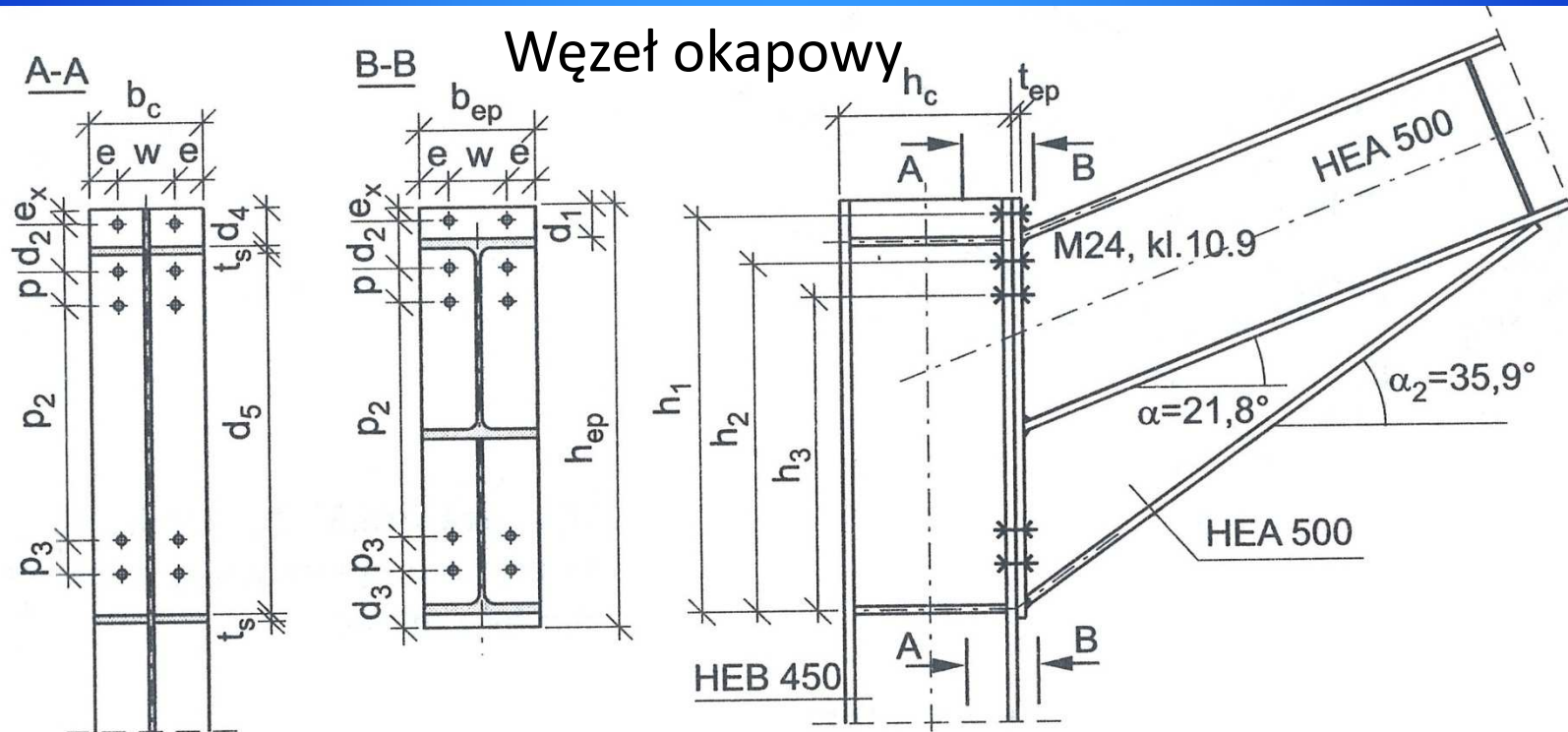
- **Dane do projektowania**
- **Obliczenie nośności węzła przy zginaniu**
- **Obliczenie nośności węzła przy ścinaniu**
- **Obliczenie początkowej sztywności obrotowej węzła**
- **Podsumowanie**

DANE DO PROJEKTOWANIA



Program
Uczenie się
przez całe życie

DANE DO PROJEKTOWANIA – GEOMETRIA WĘZŁA



Połączenie kategorii D (niesprężane)

Blacha czołowa - nieusztywniona: $t_{ep} = 25\text{mm}$, $w = 150\text{mm}$, $e = 75\text{mm}$

$b_{ep} = 300\text{mm}$, $e_x = 40\text{mm}$, $d_1 = 88\text{mm}$, $d_2 = 125\text{mm}$, $d_3 = 145\text{mm}$

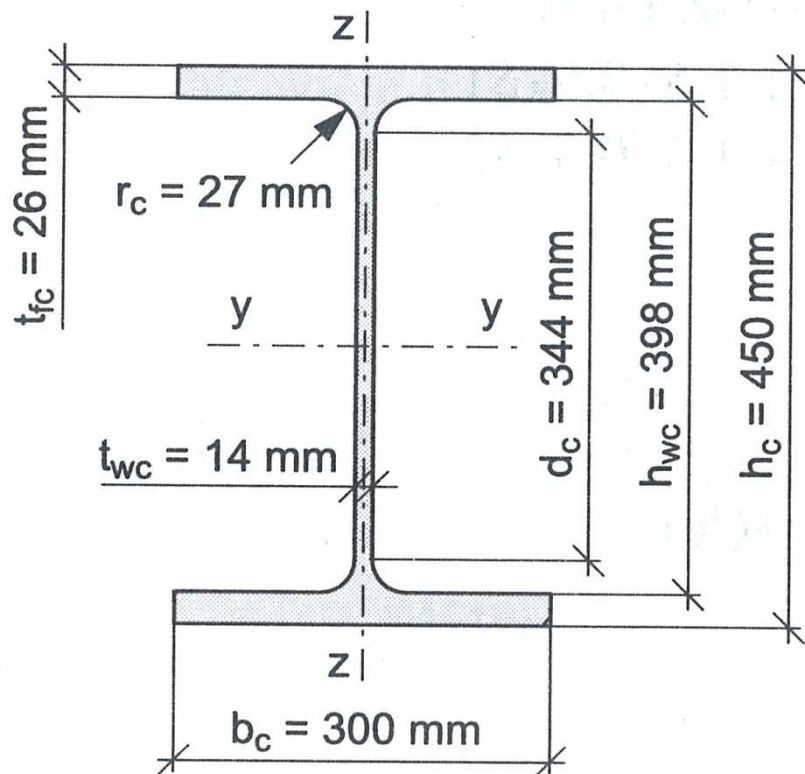
$d_4 = 100\text{mm}$, $d_5 = 953\text{mm}$, $p = 90\text{mm}$, $p_2 = 620\text{mm}$, $p_3 = 90\text{mm}$

$h_{ep} = 1110\text{mm}$, $h_1 = 1044\text{mm}$, $h_2 = 919\text{mm}$, $h_3 = 829\text{mm}$

$L_b = 12924\text{mm}$ – długość rygla (od kalenicy do okapu)

$L_c = 5380\text{mm}$ – wysokość słupa (od $\pm 0,00$ do spodu skosu)

DANE DO PROJEKTOWANIA – PRZEKROJE SŁUPA I RYGLA



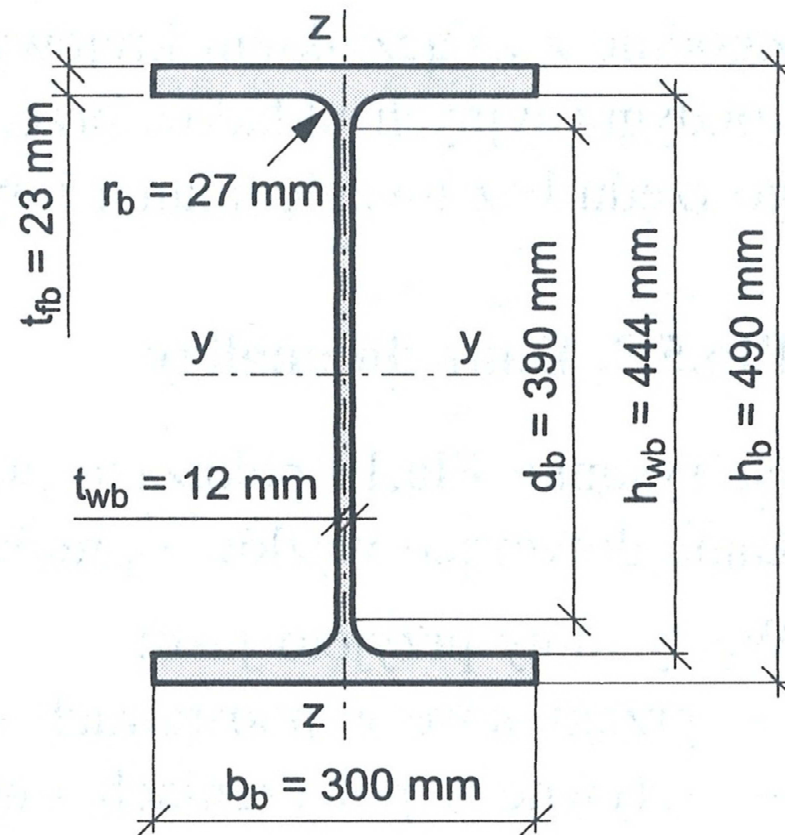
Słup: HEB 450

$$A_c = 218 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,c} = 79890 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y,c} = 3551 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y,c} = 3983 \text{ cm}^3$$



Rygiel: HEA 500

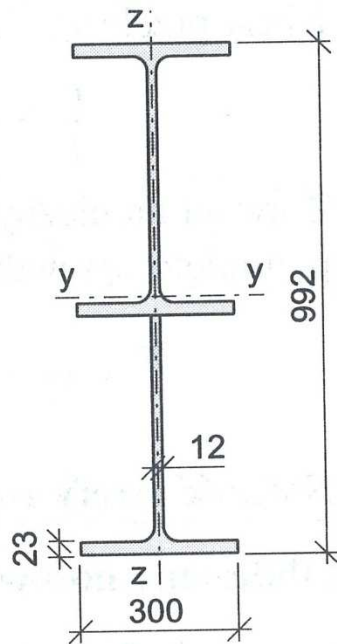
$$A_b = 197,5 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,b} = 86970 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y,b} = 3550 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y,b} = 3949 \text{ cm}^3$$

DANE DO PROJEKTOWANIA – SKOS RYGLA I ŻEBRA SŁUPA

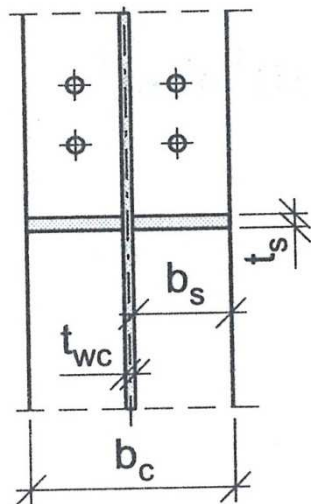


Skos: z HEA 500

Belka ze skosem:

$$b_h = 300\text{mm}$$

$$h_h = 992\text{mm}$$



Żebra usztywniające słup:

$$t_s = 20\text{mm}$$

$$b_s = 143\text{mm}$$

DANE DO PROJEKTOWANIA – WŁAŚCIWOŚCI STALI I ŚRUB

Stal 235JR (dla wszystkich elementów konstrukcyjnych):

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2,$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (t < 40 \text{ mm})$$

Moduł sprężystości podłużnej: $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Śruby M24 kl. 10.9 SB:

$$A_s = 353 \text{ mm}^2, f_{yb} = 900 \text{ N/mm}^2, f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 24 \text{ mm}, d_0 = 26 \text{ mm}, k_2 = 0,9$$

Nośność pojedynczej śruby na rozciąganie:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

DANE DO PROJEKTOWANIA – SPOINY

Dla elementów wykonanych ze stali S235JR $\Rightarrow \beta_w = 0,8$ PN-EN 1993-1-8

Spoiny łączące pasy rygla z blachą czołową:

Tablica 4.1

$$a_f \geq t_{fb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right) = 23 \left(\frac{235}{1,0} \right) \left(\frac{0,8 \cdot 1,25}{360 \cdot \sqrt{2}} \right) = 10,6 \text{ mm}$$

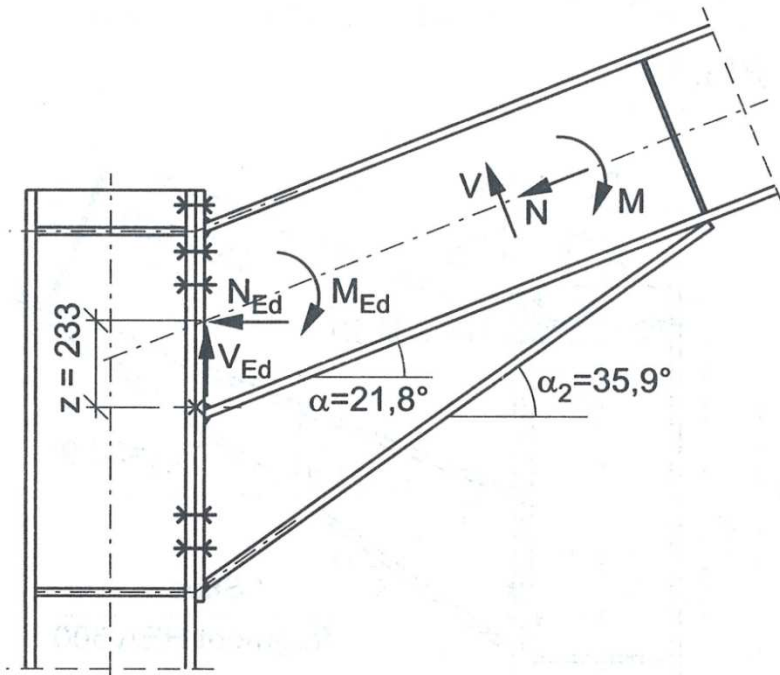
Przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grubości $a_f = 12 \text{ mm}$.
Założono jednakową grubość spoin w połączeniu obu pasów:
rozciąganego i ściskanego.

Spoiny łączące środek rygla z blachą czołową:

$$a_w \geq t_{wb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right) = 12 \left(\frac{235}{1,0} \right) \left(\frac{0,8 \cdot 1,25}{360 \sqrt{2}} \right) = 5,5 \text{ mm}$$

Przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grubości $a_w = 6 \text{ mm}$.
Założono jednakową grubość spoin w połączeniu środka:
w części rozciąganej i ścinanej.

DANE DO PROJEKTOWANIA – SIŁY WEWNĘTRZNE



Siły wewnętrzne w ryglu:

$$M = 629,25 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N = -170,55 \text{ kN}$$

$$V = 146,48 \text{ kN}$$

Sprowadzenie sił wewnętrznych w ryglu do płaszczyzny pionowej blachy czołowej:

$$V_{Ed} = V \cos \alpha - N \sin \alpha = 146,48 \cdot \cos 21,8 + 170,55 \cdot \sin 21,8 = 199,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N \cos \alpha + V \sin \alpha = -170,55 \cdot \cos 21,8 + 146,48 \cdot \sin 21,8 = -103,9 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M - N_{Ed} z = 629,25 - 103,9 \cdot 0,233 = 605,0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

OBLICZENIE NOŚNOŚCI WĘZŁA PRZY ZGINANIU



Program
Uczenie się
przez całe życie

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – INFORMACJE OGÓLNE

➤ Procedura projektowa

- ✓ Określenie nośności części podstawowych węzła w strefie ściskania $F_{c,Rd}$
- ✓ Określenie nośności panelu środka przy ścinaniu w strefie ścinania $V_{wp,Rd}$
- ✓ Określenie potencjalnej nośności szeregów śrub w strefie rozciągania $F_{t,Rd(r)}$
- ✓ Obliczenie efektywnej nośności przy rozciąganiu poszczególnych szeregów śrub $F_{tr,Rd}$
- ✓ Obliczenie nośności węzła przy zginaniu $M_{j,Rd} = \sum_r F_{tr,Rd} h_r$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

- **Obliczeniowa nośność strefy ściskania** może być ograniczona przez:

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}, F_{c,fb,Rd}, F_{c,hb,Rd}) \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7.2}$$

Część podstawowa węzła	Symbol	Odniesienie w PN-EN 1993-1-8
Środek słupa ściskany poprzecznie	$F_{c,wc,Rd}$	6.2.6.2
Pas i środek rygla w strefie ściskania	$F_{c,fb,Rd}$	6.2.6.7
Rygiel ze skosem w strefie ściskania	$F_{c,hb,Rd}$	6.2.6.7/6.2.6.2

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

- Obliczeniowa nośność środka słupa przy poprzecznym ściskaniu $F_{c,wc,Rd}$

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2}$$

- ✓ Ze względu usztywnienie środka słupa obustronnymi żebrami, nie istnieje konieczność obliczania współczynnika redukcyjnego ze względu na wyboczenie miejscowe $\Rightarrow \rho = 1,0$
- ✓ Ponieważ maksymalne ściskające naprężenie normalne $\sigma_{c,Ed}$ od siły podłużnej i momentu zginającego w części płaskiej środka słupa nie przekracza $0,7f_{y,wc} \Rightarrow$ współczynnik redukcyjny $k_{wc} = 1$
- ✓ Współczynniki częściowe: $\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M1} = 1,0$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

✓ Szerokość efektywna środka słupa przy ściskaniu $b_{\text{eff,c,wc}}$

Dla połączeń śrubowych z blachą czołową:

PN-EN 1993-1-8

§ 6.2.6.2

$$b_{\text{eff,c,wc}} = t_{\text{fb}} + z_{\text{fh},1} + z_{\text{fh},2} + 5(t_{\text{fc}} + s) + s_{\text{p}}$$

Przy dwuteownikach walcowanych: $s = r_{\text{c}}$

Szerokość spoiny łączącej pas skosu rygla do blachy czołowej od góry: $z_{\text{fh},1} = \frac{a_{\text{f}}}{\cos\left(\frac{90 - \alpha_2}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90 - 35,9}{2}\right)} = 13,5\text{mm}$

Szerokość spoiny łączącej pas skosu rygla do blachy czołowej od dołu: $z_{\text{fh},2} = \frac{a_{\text{f}}}{\cos\left(\frac{90 + \alpha_2}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90 + 35,9}{2}\right)} = 26,4\text{mm}$

Odcinek blachy czołowej wystający poza pas rygla (poza spoinę łączącą pas skosu rygla): $c = h_{\text{ep}} - d_1 - h_{\text{h}} - z_{\text{fh},2} = 1110 - 88 - 992 - 26,4 = 3,6\text{mm}$

$$s_{\text{p}} = t_{\text{ep}} + c = 25 + 3,6 = 28,6\text{mm} \leq 2t_{\text{ep}} = 2 \cdot 25 = 50\text{mm} \Rightarrow s_{\text{p}} = 28,6\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,c,wc}} = 23 + 13,5 + 26,4 + 5(26 + 27) + 28,6 = 356,5\text{mm}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

Aby wyznaczyć współczynnik redukcyjny ω należy wyznaczyć β .

Dla węzła o konfiguracji jednostronnej, parametr przeniesienia $\beta = 1$

PN-EN 1993-1-8 § 5.3(9) lub Tablica 5.4

✓ **Określenie współczynnika redukcyjnego ω ze względu na interakcję ze ścinaniem**

PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.3

Parametr przeniesienia β	Współczynnik redukcyjny ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2}}$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

✓ Przekrój czynny przy ścinaniu słupa A_{vc}

dla walcowanych dwuteowników, ścinanych prostopadle do osi y-y:

$$A_{vc} = A_c - 2b_{fc}t_{fc} + t_{fc}(t_{wc} + 2r_c) \geq \eta h_{wc}t_{wc} \quad \text{PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6.1}$$

Przyjęto $\eta = 1,0$

$$A_{vc} = 218 - 2 \cdot 30 \cdot 2,6 + 2,6(1,4 + 2 \cdot 2,7) = 79,7 \text{ cm}^2 \geq 1,0 \cdot 39,8 \cdot 1,4 = 55,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{vc} = 79,7 \text{ cm}^2$$

✓ Współczynnik redukcyjny ω

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wc}t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(35,65 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,81$$

✓ Obliczeniowa nośność środka słupa przy poprzecznym ściskaniu

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,81 \cdot 1,0 \cdot 356,5 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 950,0 \text{ kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6.2(5)

Jeżeli zastosowano żebra poprzeczne słupa, to można zwiększyć obliczeniową nośność jego środnika przy poprzecznym ściskaniu.

Pole powierzchni żeber usztywniających środnik słupa:

$$A_s = 2b_s t_s = 2 \cdot 143 \cdot 20 = 5720 \text{mm}^2$$

Przyrost nośności obliczeniowej :

(przekrój klasy 1; wyboczenie pominięto ze względu na małą smukłość żebra)

$$F_{c,wc,add,Rd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5720 \cdot 235}{1,0} = 1344,2 \text{kN}$$

✓ **Obliczeniowa nośność środnika słupa przy poprzecznym ściskaniu z uwzględnieniem usztywnienia żebrami**

$$F_{c,wc,Rd} = 950,0 + 1344,2 = 2294,2 \text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

➤ Obliczeniowa nośność pasa rygla przy ściskaniu $F_{c,fb,Rd}$

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.7

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})}$$

Moment bezwładności przekroju rygla ze skosem
(z pominięciem pasa pośredniego):

$$J_y = 2 \cdot (300 \cdot 23 \cdot 484,5^2) + \frac{(992 - 2 \cdot 23)^3 \cdot 12}{12} = 408600,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

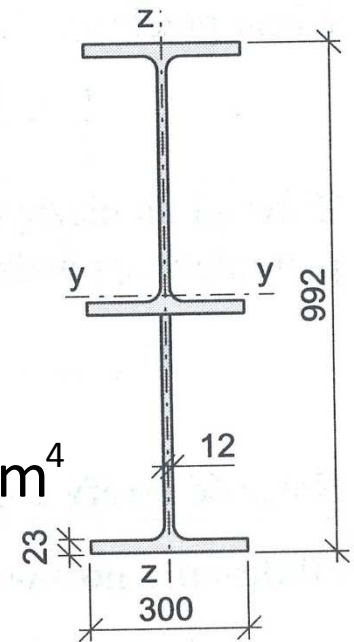
Wskaźnik wytrzymałości przekroju:

$$W_{el,y} = \frac{408600,6 \cdot 10^4 \cdot 2}{992} = 8237,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Stąd: } M_{c,Rd} = W_{el,yb} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8237,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0} = 1935,9 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.5

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{1935,9 \cdot 10^6}{(992 - 23)} = 1997,8 \text{ kN}$$



NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

Jeżeli wysokość rygła wraz ze skosem przekracza 600mm udział średnika rygła w obliczeniowej nośności na ściskanie powinien być ograniczony do 20%.

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.7(1)

Stąd, jeżeli nośność pasa jest równa $t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}$ to $F_{c,fb,Rd} \leq \frac{t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}}{0,8}$

$$h_h = 992\text{mm} > 600\text{mm}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1997,8\text{kN} \leq \frac{23 \cdot 300 \cdot 235}{0,8} = 2026,9\text{kN}$$

✓ **Obliczeniowa nośność pasa rygła przy ściskaniu $F_{c,fb,Rd}$**

$$F_{c,fb,Rd} = 1997,8\text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

- Obliczeniowa nośność rygła ze skosem w strefie ściskania $F_{c,hb,Rd}$

$$F_{c,hb,Rd} = \frac{F_{c,wb,Rd}}{\tan(\alpha_2 - \alpha)} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.7(3)} \quad F_{c,wb,Rd} = \frac{\omega k_{wb} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M1}}$$

- ✓ Efektywna szerokość środka rygła przy ściskaniu

$$b_{eff,c,wb} = \frac{t_{fb}}{\sin(\alpha_2 - \alpha)} + 5(t_{fb} + r_b) = \frac{23}{\sin(35,9^\circ - 21,8^\circ)} + 5(23 + 27) = 344\text{mm}$$

- ✓ Ze względu na usztywnienie środka rygła obustronnymi żebrami, nie istnieje konieczność obliczania współczynnika redukcyjnego ze względu na wyboczenie miejscowe $\Rightarrow \rho = 1,0$

- ✓ Ponieważ maksymalne ściskające naprężenie normalne $\sigma_{c,Ed}$ od siły podłużnej i momentu zginającego w części płaskiej środka rygła nie przekracza $0,7f_{y,wb} \Rightarrow$ współczynnik redukcyjny $k_{wb} = 1$

- Dla $\beta = 1$ współczynnik redukcyjny $\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{eff,c,wb} t_{wb} / A_{vb})^2}}$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

✓ Przekrój czynny przy ścinaniu rygla A_{vb}

dla walcowanych dwuteowników, ścinanych prostopadle do osi y-y:

$$A_{vb} = A_b - 2b_{fb}t_{fb} + t_{fb}(t_{wb} + 2r_b) \geq \eta h_{wb}t_{wb}$$

Przyjęto $\eta = 1,0$

$$A_{vb} = 197,5 - 2 \cdot 30 \cdot 2,3 + 2,3(1,2 + 2 \cdot 2,7) = 74,7 \text{ cm}^2 \geq 1,0 \cdot 44,4 \cdot 1,2 = 53,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{vb} = 74,7 \text{ cm}^2$$

✓ Współczynnik redukcyjny ω

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wb}t_{wb} / A_{vb})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(34,4 \cdot 1,2 / 74,7)^2}} = 0,85$$

✓ Obliczeniowa nośność środka rygla przy poprzecznym ściskaniu

$$F_{c,wb,Rd} = \frac{\omega k_{wb} b_{\text{eff},c,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,85 \cdot 1,0 \cdot 344 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 824,6 \text{ kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

Jeżeli zastosowano żebra poprzeczne rygła, to można zwiększyć obliczeniową nośność jego środka przy poprzecznym ściskaniu.

Zastosowano obustronne żebra: $t_s = 12\text{mm}$, $b_s = 144\text{mm}$

Pole powierzchni żeber usztywniających środek rygła:

$$A_s = 2b_s t_s = 2 \cdot 144 \cdot 12 = 3456\text{mm}^2$$

Przyrost nośności obliczeniowej:

(przekrój klasy 3; wyboczenie pominięto ze względu na małą smukłość żebra)

$$F_{c,wb,add,Rd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3456 \cdot 235}{1,0} = 812,2\text{kN}$$

Obliczeniowa nośność środka rygła przy poprzecznym ściskaniu z uwzględnieniem usztywnienia żebrami

$$F_{c,wb,Rd} = 824,6 + 812,2 = 1636,8\text{kN}$$

✓ **Obliczeniowa nośność rygła ze skosem w strefie ściskania**

$$F_{c,hb,Rd} = \frac{F_{c,wb,Rd}}{\tan(\alpha_2 - \alpha)} = \frac{1636,8}{\tan(35,9^\circ - 21,8^\circ)} = 6516,4\text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCINANIA

➤ Obliczeniowa nośność panelu środka przy ścinaniu $V_{wp,Rd}$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.1}$$

Powyższe wyrażenie ma zastosowanie pod warunkiem, że smukłość środka słupa spełnia warunek: $d_c / t_{wc} \leq 69 \varepsilon$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,wc}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0 \quad d_c / t_{wc} = 344 / 14 = 24,6 \leq 69 \varepsilon = 69 \cdot 1,0 = 69$$

Warunek spełniony

A_{vc} - przekrój czynny przy ścinaniu słupa (PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6(3))

$$A_{vc} = 7970 \text{mm}^2$$

$\gamma_{M0} = 1,00$ - wsp. częściowy do obliczania nośności przekroju

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 7970}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 973,2 \text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCINANIA

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6.2(5)

Jeżeli zastosowano żebra poprzeczne słupa, to można zwiększyć obliczeniową nośność jego środka przy ścinaniu.

Przyrost nośności obliczeniowej:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

gdzie:

d_s – osiowy rozstaw żeber $d_s = d_5 + t_s = 953 + 20 = 973\text{mm}$

$M_{pl,fc,Rd}$ – obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie pasa słupa:

$$M_{pl,fc,Rd} = 0,25 b_{fc} t_{fc}^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 300 \cdot 26^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 11,91\text{kN} \cdot \text{m}$$

$M_{pl,st,Rd}$ – obliczeniowa nośność plastyczna na zginanie żebra:

$$M_{pl,st,Rd} = 0,25 \cdot 2 b_s t_s^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 2 \cdot 143 \cdot 20^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 6,72\text{kN} \cdot \text{m}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCINANIA

PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6.2(5)

Przyrost nośności obliczeniowej:

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right) =$$
$$= \min\left(\frac{4 \cdot 11,91}{0,973}; \frac{2 \cdot 11,91 + 2 \cdot 6,72}{0,973}\right) = \min(49,0\text{kN}; 38,3\text{kN}) = 38,3\text{kN}$$

✓ **Obliczeniowa nośność panelu środka słupa przy ścinaniu z uwzględnieniem usztywnienia żebrami**

$$V_{wp,Rd} = 973,2 + 38,3 = 1011,5\text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Potencjalna nośność poszczególnych szeregów śrub w strefie rozciąganej:

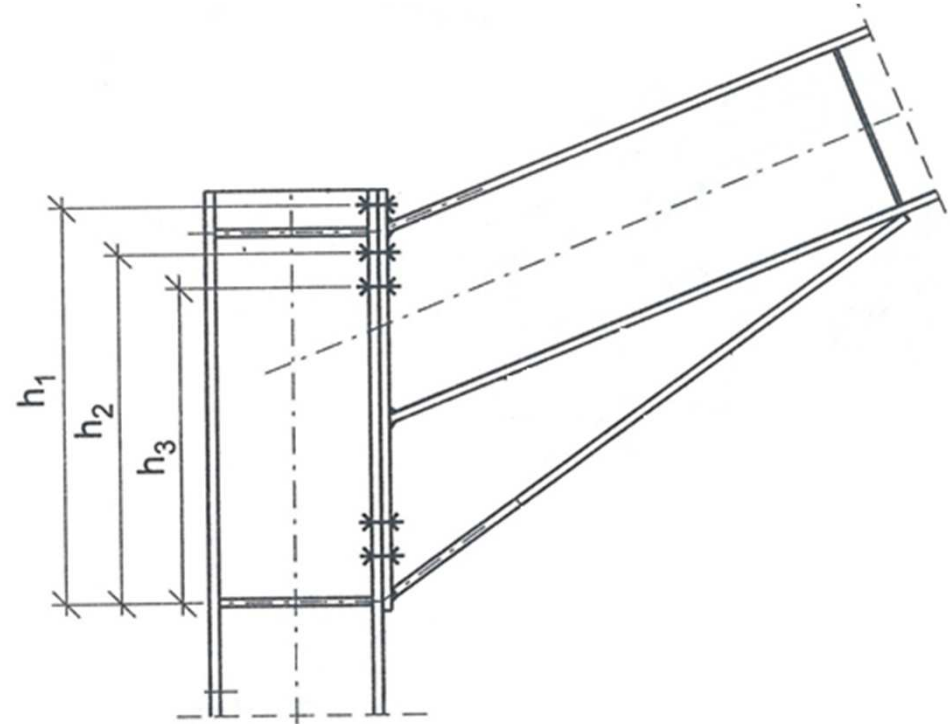
$$F_{t,Rd(r)} = \min(F_{t,fc,Rd}, F_{t,wc,Rd}, F_{t,ep,Rd}, F_{t,wb,Rd}) \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7.2(6)}$$

Część podstawowa węzła	Symbol	Odniesienie w PN-EN 1993-1-8
Pas słupa zginany	$F_{t,fc,Rd}$	6.2.6.4 i tablice: 6.2, 6.5
Środek słupa rozciągany poprzecznie	$F_{t,wc,Rd}$	6.2.6.3
Blacha czołowa zginana	$F_{t,ep,Rd}$	6.2.6.5 i tablice: 6.2, 6.6
Środek rygla rozciągany	$F_{t,wb,Rd}$	6.2.6.8

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Obliczenia potencjalnych obliczeniowych nośności każdego pojedynczego szeregu śrub w strefie rozciągania:

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7.2(6)

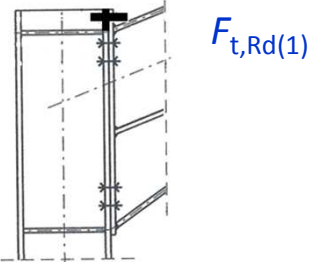
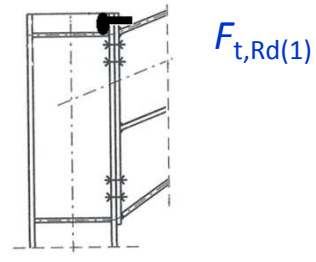
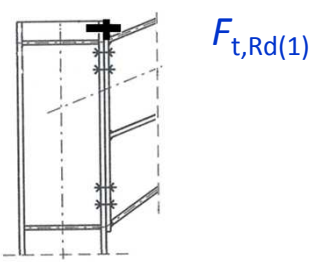
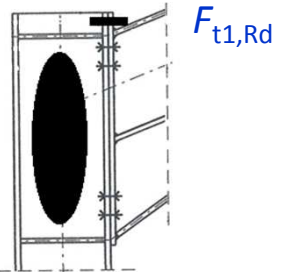
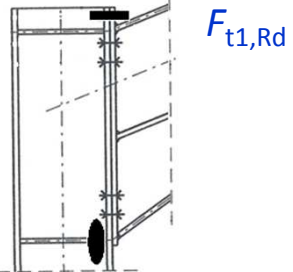
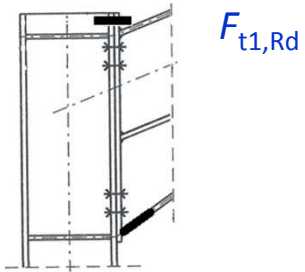


$$F_{t,Rd(1)} = \min(F_{t1,fc,Rd}, F_{t1,wc,Rd}, F_{t1,ep,Rd})$$

$$F_{t,Rd(2)} = \min(F_{t2,fc,Rd}, F_{t2,wc,Rd}, F_{t2,ep,Rd}, F_{t2,wb,Rd})$$

$$F_{t,Rd(3)} = \min(F_{t3,fc,Rd}, F_{t3,wc,Rd}, F_{t3,ep,Rd}, F_{t3,wb,Rd})$$

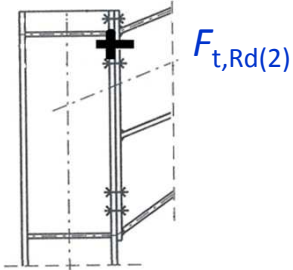
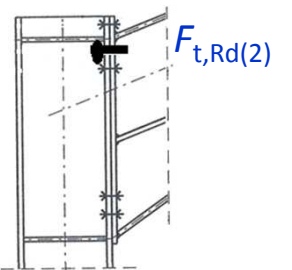
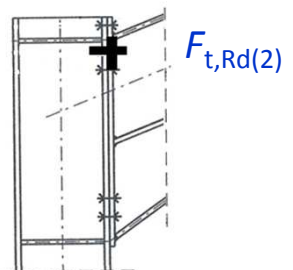
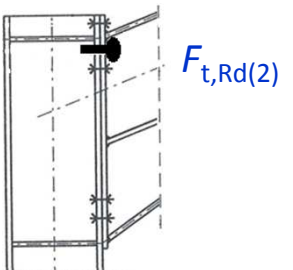
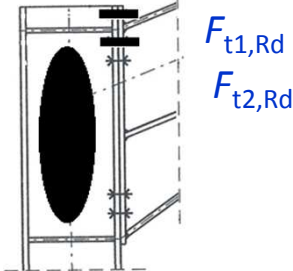
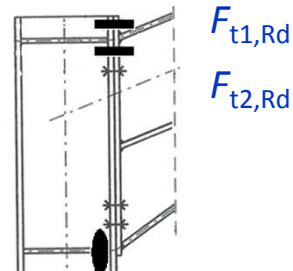
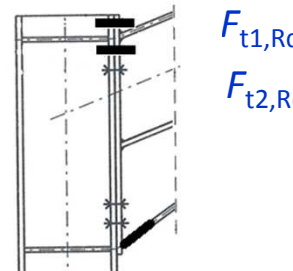
Obliczenie nośności 1. szeregu śrub (z pominięciem wpływu szeregów 2. i 3.)

	Zginanie pasa słupa $F_{t1,fc,Rd}$	Rozciąganie środka słupa $F_{t1,wc,Rd}$	Zginanie blachy czołowej $F_{t1,ep,Rd}$
Potencjalna nośność na rozciąganie 1. szeregu śrub $F_{t,Rd(1)}$ ze względu na:			
	$F_{t,Rd(1)} \leq F_{t1,fc,Rd}$	$F_{t,Rd(1)} \leq F_{t1,wc,Rd}$	$F_{t,Rd(1)} \leq F_{t1,ep,Rd}$
Ograniczenie nośności ze względu na:	Ścinanie panelu środka słupa $V_{wp,Rd}$ 	Ściskanie środka słupa $F_{c,wc,Rd}$ 	Ściskanie pasa i środka rygla $F_{c,fb,Rd}$ 
	$F_{t1,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$	$F_{t1,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$	$F_{t1,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$
	$F_{c,hb,Rd}$ pominięto, ponieważ wartość ta jest znacznie wyższa od nośności obliczeniowych innych składników w strefie ściskania		

Efektywna nośność 1. szeregu śrub:

$$F_{t1,Rd} = \min(F_{t1,fc,Rd}; F_{t1,wc,Rd}; F_{t1,ep,Rd}; V_{wp,Rd}/\beta; F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd})$$

Obliczenie nośności 2. szeregu śrub (z pominięciem wpływu szeregu 3.)

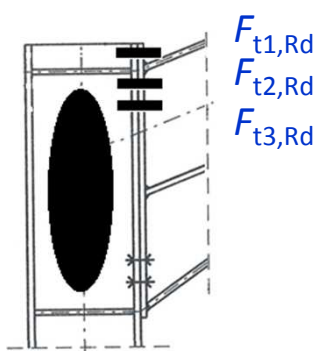
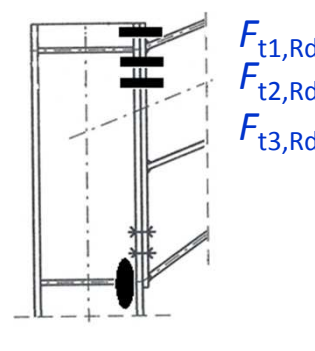
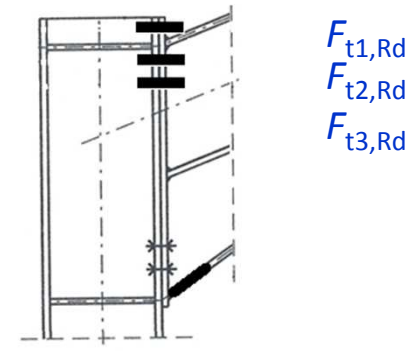
Obliczenie nośności 2. szeregu śrub (z pominięciem wpływu szeregu 3.)				
Potencjalna nośność na rozciąganie 2. szeregu śrub $F_{t,Rd(2)}$ ze względu na:	Zginanie pasa słupa $F_{t2,fc,Rd}$	Rozciąganie środka słupa $F_{t2,wc,Rd}$	Zginanie blachy czołowej $F_{t2,ep,Rd}$	Rozciąganie środka rygla $F_{t2,wb,Rd}$
				
	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,fc,Rd}$	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,wc,Rd}$	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,ep,Rd}$	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,wb,Rd}$
Ograniczenie nośności ze względu na:	Ścinanie panelu środka słupa $V_{wp,Rd}$		Ściskanie środka słupa $F_{c,wc,Rd}$	Ściskanie pasa i środka rygla $F_{c,fb,Rd}$
				
	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq V_{wp,Rd} / \beta$		$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$
		$F_{c,hb,Rd}$ pominięto, ponieważ wartość ta jest znacznie wyższa od nośności obliczeniowych innych składników w strefie ściskania		
Efektywna nośność 2. szeregu śrub:				
$F_{t2,Rd} = \min(F_{t2,fc,Rd}; F_{t2,wc,Rd}; F_{t2,ep,Rd}; F_{t2,wb,Rd}; V_{wp,Rd} / \beta - F_{t1,Rd}; F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd}; F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd})$				

Obliczenie nośności 3. szeregu śrub

	Zginanie pasa słupa $F_{t3,fc,Rd}$	Rozciąganie środka słupa $F_{t3,wc,Rd}$	Zginanie blachy czołowej $F_{t3,ep,Rd}$	Rozciąganie środka rygla $F_{t3,wb,Rd}$
Potencjalna nośność na rozciąganie 3. szeregu śrub $F_{t,Rd(3)}$ ze względu na:				
	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,fc,Rd}$	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,wc,Rd}$	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,ep,Rd}$	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,wb,Rd}$
Nośność na rozciąganie grupy szere- gów śrub 2. i 3. $F_{t(2+3),Rd}$ ze względu na:				
	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),fc,Rd}$	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),wc,Rd}$ 32	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),ep,Rd}$	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),wb,Rd}$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

Obliczenie nośności 3. szeregu śrub (ciąg dalszy)

	Ścinanie panelu środnika słupa $V_{wp,Rd}$	Ściskanie środka słupa $F_{c,wc,Rd}$	Ściskanie pasa i środka rygla $F_{c,fb,Rd}$
Ograniczenie nośności ze względu na:			
	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq V_{wp,Rd} / \beta$	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$
		$F_{c,hb,Rd}$ pominięto, ponieważ wartość ta jest znacznie wyższa od nośności obliczeniowych innych składników w strefie ściskania	

Efektywna nośność 3. szeregu śrub:

$$F_{t3,Rd} = \min(F_{t3,fc,Rd}; F_{t3,wc,Rd}; F_{t3,ep,Rd}; F_{t3,wb,Rd};$$

$$F_{t(2+3),fc,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(2+3),wc,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(2+3),ep,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(2+3),wb,Rd} - F_{t2,Rd};$$

$$V_{wp,Rd} / \beta - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd})$$

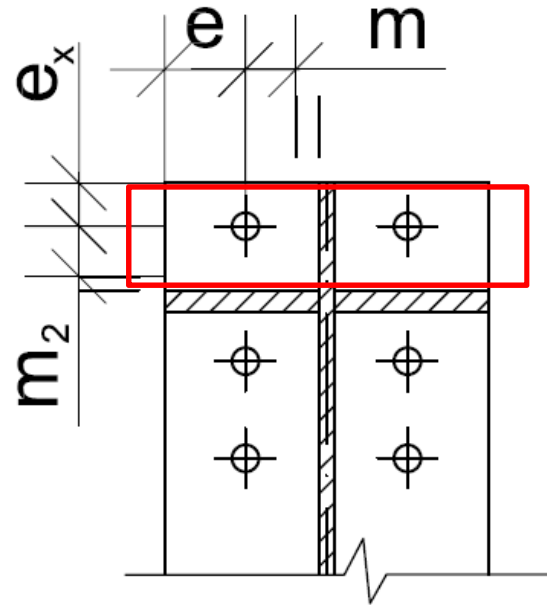
STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,fc,Rd}$)

- Pas słupa zginany $F_{t1,fc,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **usztwniony pas słupa**

PN-EN 1993-1-8
§ 6.2.6.4 Tablica 6.5

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany indywidualnie	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub w pobliżu żebra	$2\pi m$	αm
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2\pi m$	$4m+1,25e$
Inny skrajny szereg śrub	Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	Minimum z: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$
Skrajny szereg śrub w pobliżu żebra	Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	$e_1+\alpha m$ $-(2m+0,625e)$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,fc,Rd}$)



$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

$$e_1 = e_x = 40\text{mm}$$

$$m = 0,5(w - 2 \cdot 0,8r_c - t_{wc}) = 0,5(150 - 2 \cdot 0,8 \cdot 27 - 14) = 46,4\text{mm}$$

Spoina łącząca żebro z pasem słupa: $a_{fs} = 12\text{mm}$

$$m_2 = d_4 - e_x - 0,8a_{fs} \sqrt{2} = 100 - 40 - 0,8 \cdot 12 \cdot \sqrt{2} = 46,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$

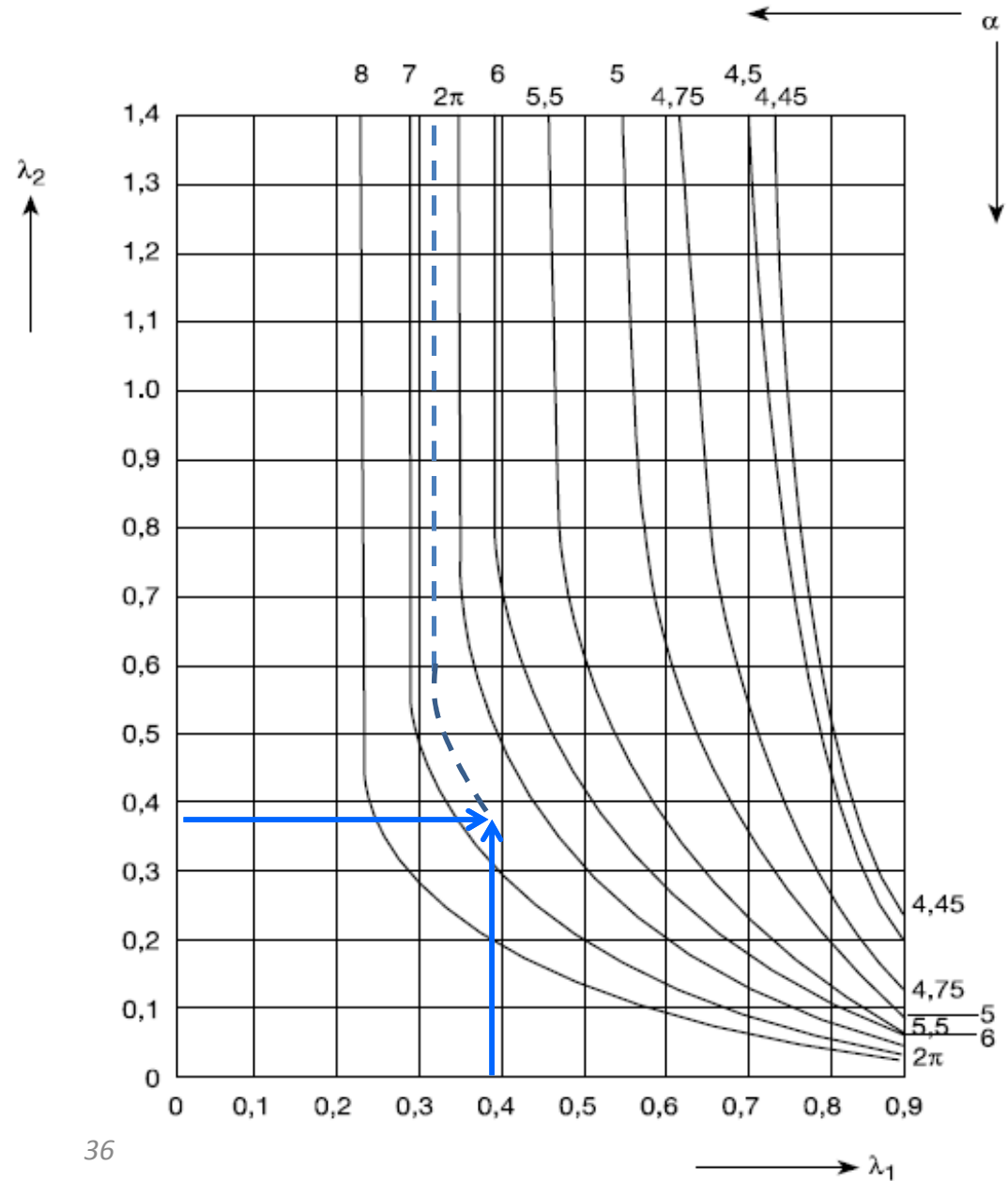
STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,fc,Rd}$)

PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.11

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{46,4}{46,4+75} = 0,38$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{46,4}{46,4+75} = 0,38$$

$$\alpha = 6,8$$



STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,fc,Rd}$)

Długości efektywne zastępczego króćca teowego:

✓ Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},1,\text{cp}} = \min\left(\frac{2\pi m}{\pi m + 2e_1}\right) = \min\left(\frac{2\pi \cdot 46,4}{\pi \cdot 46,4 + 2 \cdot 40}\right) = \min\left(\begin{matrix} 291,5\text{mm} \\ 225,8\text{mm} \end{matrix}\right)$$

$$l_{\text{eff},1,\text{cp}} = 225,8\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = \min\left(\frac{\alpha m}{e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)}\right)$$

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = \min\left(\frac{6,8 \cdot 46,4}{40 + 6,8 \cdot 46,4 - (2 \cdot 46,4 + 0,625 \cdot 75)}\right) = \min\left(\begin{matrix} 315,5\text{mm} \\ 215,8\text{mm} \end{matrix}\right)$$

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = 215,8\text{mm}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,fc,Rd}$)

Model 1 $l_{eff,1} = \min(l_{eff,1,cp}, l_{eff,1,nc}) = 215,8\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 215,8 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 8570,5\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 8570,5}{46,4} = 738,8\text{kN}$$

Model 2 $l_{eff,2} = l_{eff,1,nc} = 215,8\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 215,8 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 8570,5\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 8570,5 + 58 \cdot 2 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 446,6\text{kN}$$

Model 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

Obliczeniowa nośność zginanego pasa słupa:

$$F_{t1,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(738,8; 446,6; 508,3) = 446,6\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,wc,Rd}$)

➤ Środek słupa rozciągany $F_{t1,wc,Rd}$

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$b_{eff,t,wc}$ - szerokość współpracująca środka słupa przy rozciąganiu; dla połączeń śrubowych jest równa efektywnej długości równoważnego króćca teowego, reprezentującego pas słupa dla 1. szeregu śrub:

$$b_{eff,c,wc} = \min(l_{eff,1,cp}; l_{eff,1,nc}) = \min(225,8; 215,8) = 215,8 \text{ mm}$$

Dla $\beta=1$:

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(21,58 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,92$$

Obliczeniowa nośność rozciąganego środka słupa:

$$F_{t1,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,92 \cdot 215,8 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 653,2 \text{ kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,ep,Rd}$)

- **Blacha czołowa zginana** $F_{t1,ep,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **blachę czołową** [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tablica 6.6](#)

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany indywidualnie	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub poza rozciąganiem pasem belki	Minimum z: $2\pi m_x$, $\pi m_x + w$, $\pi m_x + 2e$	Minimum z: $4m_x + 1,25e_x$, $e + 2m_x + 0,625e_x$, $0,5b_p$, $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$
Pierwszy szereg śrub poniżej rozciąganego pasa belki	$2\pi m$	αm
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2\pi m$	$4m + 1,25e$
Inny skrajny szereg śrub	$2\pi m$	$4m + 1,25e$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,ep,Rd}$)

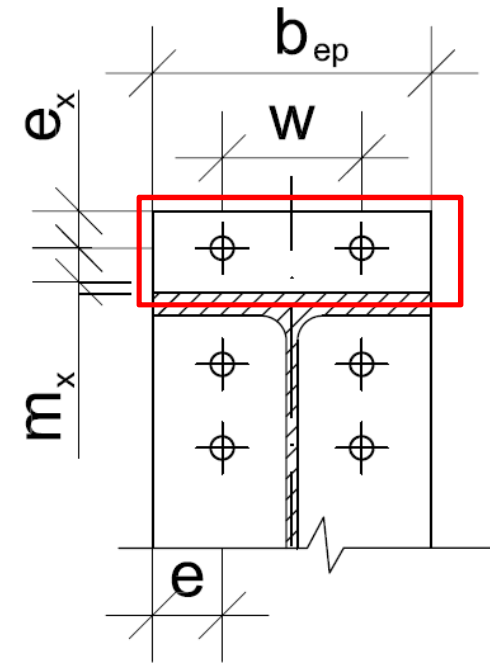
$$e_{\min} = e_x = 40\text{mm}$$

Szerokość spoiny łączącej pas rygla do blachy czołowej od góry:

$$z_1 = \frac{a_f}{\cos\left(\frac{90 - \alpha}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90 - 21,8}{2}\right)} = 14,5\text{mm}$$

$$m_x = d_1 - e_x - 0,8 \cdot z_1 = 88 - 40 - 0,8 \cdot 14,5 = 36,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m_x) = \min(40; 1,25 \cdot 36,4) = \min(40; 45,5) = 40\text{mm}$$



STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,ep,Rd}$)

➤ Długości efektywne zastępczego króćca teowego:

✓ Mechanizmy kołowe:

$$l_{\text{eff},1,\text{cp}} = \min \begin{pmatrix} 2\pi m_x \\ \pi m_x + w \\ \pi m_x + 2e \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 2\pi \cdot 36,4 \\ \pi \cdot 36,4 + 150 \\ \pi \cdot 36,4 + 2 \cdot 75 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 228,7 \\ 264,3 \\ 264,3 \end{pmatrix} = 228,7\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe:

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = \min \begin{pmatrix} 4m_x + 1,25e_x \\ e + 2m_x + 0,625e_x \\ 0,5b_p \\ 0,5w + 2m_x + 0,625e_x \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 4 \cdot 36,4 + 1,25 \cdot 40 \\ 75 + 2 \cdot 36,4 + 0,625 \cdot 40 \\ 0,5 \cdot 300 \\ 0,5 \cdot 150 + 2 \cdot 36,4 + 0,625 \cdot 40 \end{pmatrix} =$$
$$= \min(195,6; 172,8; 150; 172,8) = 150\text{mm}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 1 ($F_{t1,ep,Rd}$)

Model 1 $l_{eff,1} = \min(l_{eff,1,cp}, l_{eff,1,nc}) = 150\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 150 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 5507,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_x} = \frac{4 \cdot 5507,8}{36,4} = 605,3\text{kN}$$

Model 2 $l_{eff,2} = l_{eff,1,nc} = 150\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 150 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 5507,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m_x + n} = \frac{2 \cdot 5507,8 + 40 \cdot 2 \cdot 254,16}{36,4 + 40} = 410,3\text{kN}$$

Model 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

Obliczeniowa nośność zginanej blachy czołowej:

$$F_{t1,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(605,3; 410,3; 508,3) = 410,3\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – NOŚNOŚĆ SZEREGU ŚRUB NR 1

➤ Efektywna nośność 1. szeregu śrub:

$$F_{t1,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{t1,fc,Rd} = 446,6\text{kN} \\ F_{t1,wc,Rd} = 653,2\text{kN} \\ F_{t1,ep,Rd} = 410,3\text{kN} \\ F_{c,wc,Rd} = 2294,2\text{kN} \\ F_{c,fb,Rd} = 1997,8\text{kN} \\ F_{c,hb,Rd} = 6516,4\text{kN} \\ V_{wp,Rd} / \beta = 1011,5 / 1,0 = 1011,5\text{kN} \end{array} \right\} = 410,3\text{kN}$$

$$F_{t1,Rd} = 410,3\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,fc,Rd}$)

- Pas słupa zginany $F_{t2,fc,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **usztwniony pas słupa**

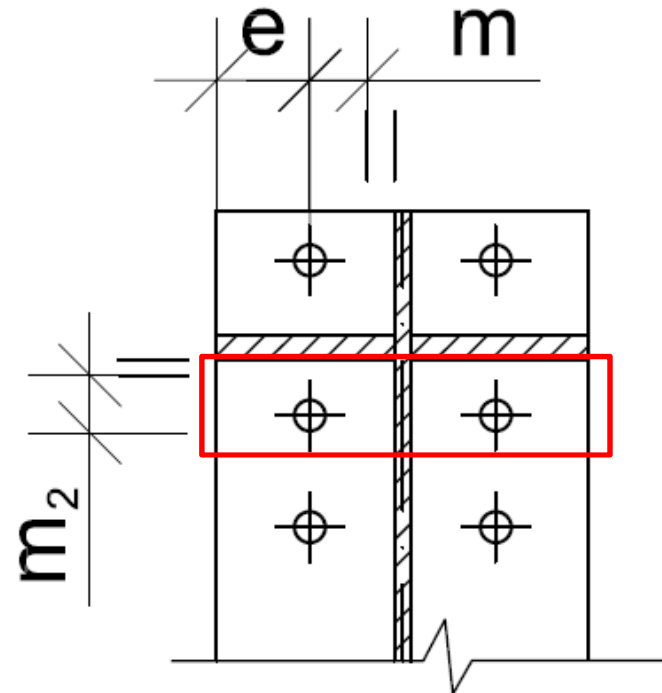
PN-EN 1993-1-8
§ 6.2.6.4 Tablica 6.5

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany indywidualnie	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub w pobliżu żebra	$2\pi m$	αm
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2\pi m$	$4m+1,25e$
Inny skrajny szereg śrub	Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	Minimum z: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$
Skrajny szereg śrub w pobliżu żebra	Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	$e_1+\alpha m$ $-(2m+0,625e)$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,fc,Rd}$)

$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

$$m = 46,4\text{mm}$$



$$m_2 = d_2 + e_x - d_4 - t_s - 0,8a_{fs} \sqrt{2} = 125 + 40 - 100 - 20 - 0,8 \cdot 12 \cdot \sqrt{2}$$

$$m_2 = 31,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$

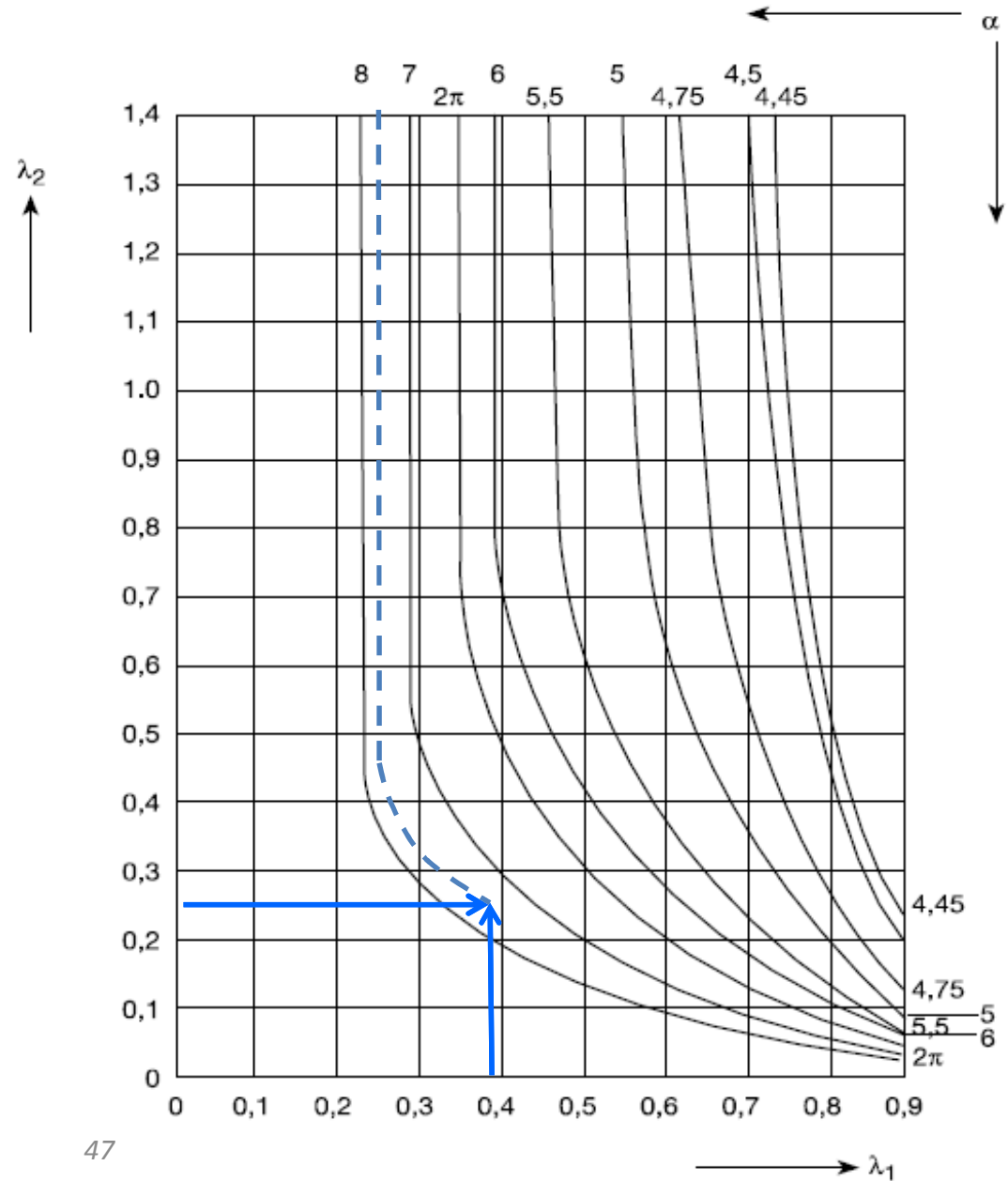
STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,fc,Rd}$)

PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.11

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{46,4}{46,4+75} = 0,38$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{31,4}{46,4+75} = 0,26$$

$$\alpha = 7,6$$



STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,fc,Rd}$)

Długości efektywne zastępczego króćca teowego:

✓ Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 46,4 = 291,5\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},2,\text{nc}} = \alpha m = 7,6 \cdot 46,4 = 352,6\text{mm}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,fc,Rd}$)

Model 1 $l_{eff,1} = \min(l_{eff,2,cp}, l_{eff,2,nc}) = 291,5\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 291,5 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 11576,9\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 11576,9}{46,4} = 998,0\text{kN}$$

Model 2 $l_{eff,2} = l_{eff,2,nc} = 352,6\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 352,6 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 14003,5\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 14003,5 + 58 \cdot 2 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 550,7\text{kN}$$

Model 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

Obliczeniowa nośność zginanego pasa słupa:

$$F_{t2,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(998,0; 550,7; 508,3) = 508,3\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,wc,Rd}$)

➤ Środek słupa rozciągany $F_{t2,wc,Rd}$

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$$F_{t2,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$b_{\text{eff},t,wc}$ jest równa efektywnej długości równoważnego króćca teowego, reprezentującego pas słupa dla 2. szeregu śrub:

$$b_{\text{eff},t,wc} = \min(l_{\text{eff},2,cp}; l_{\text{eff},2,nc}) = \min(291,5; 352,6) = 291,5\text{mm}$$

Dla $\beta=1$:

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(29,15 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,86$$

Obliczeniowa nośność rozciąganego środka słupa:

$$F_{t2,wc,Rd} = \frac{0,86 \cdot 291,5 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 824,8\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,ep,Rd}$)

- **Blacha czołowa zginana** $F_{t2,ep,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **blachę czołową** [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tablica 6.6](#)

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany indywidualnie	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub poza rozciągany pasem belki	Minimum z: $2\pi m_x$, $\pi m_x + w$, $\pi m_x + 2e$	Minimum z: $4m_x + 1,25e_x$, $e + 2m_x + 0,625e_x$, $0,5b_p$, $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$
Pierwszy szereg śrub poniżej rozciąganego pasa belki	$2\pi m$	am
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2\pi m$	$4m + 1,25e$
Inny skrajny szereg śrub	$2\pi m$	$4m + 1,25e$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,ep,Rd}$)

$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

Szerokość spoiny łączącej pas rygla do blachy od dołu:

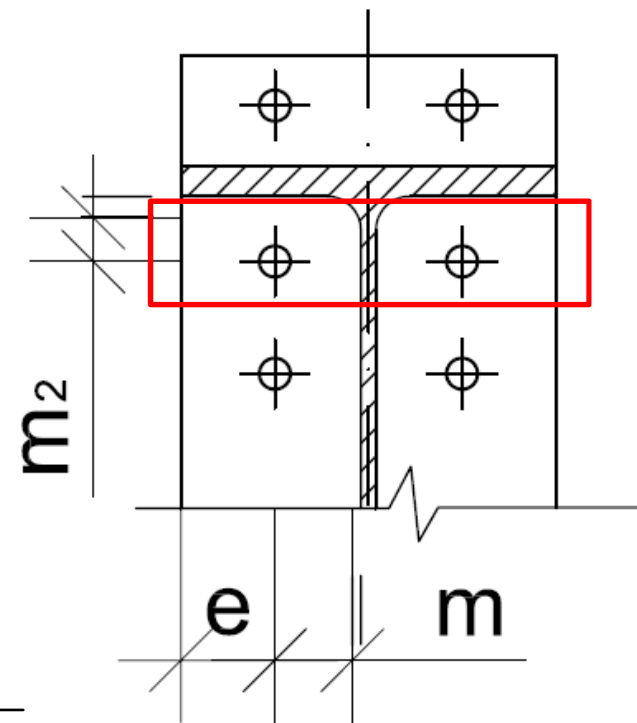
$$z_2 = \frac{a_f}{\cos\left(\frac{90 + \alpha}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90 + 21,8}{2}\right)} = 21,4\text{mm}$$

$$m = \frac{w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} a_w}{2} = \frac{150 - 12 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{2} = 62,2\text{mm}$$

$$m_2 = e_x + d_2 - d_1 - \frac{t_{fb}}{\cos \alpha} - 0,8 \cdot z_2 = 40 + 125 - 88 - \frac{23}{\cos 21,8^\circ} - 0,8 \cdot 21,4$$

$$m_2 = 35,1\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 62,2) = \min(75; 77,7) = 75\text{mm}$$



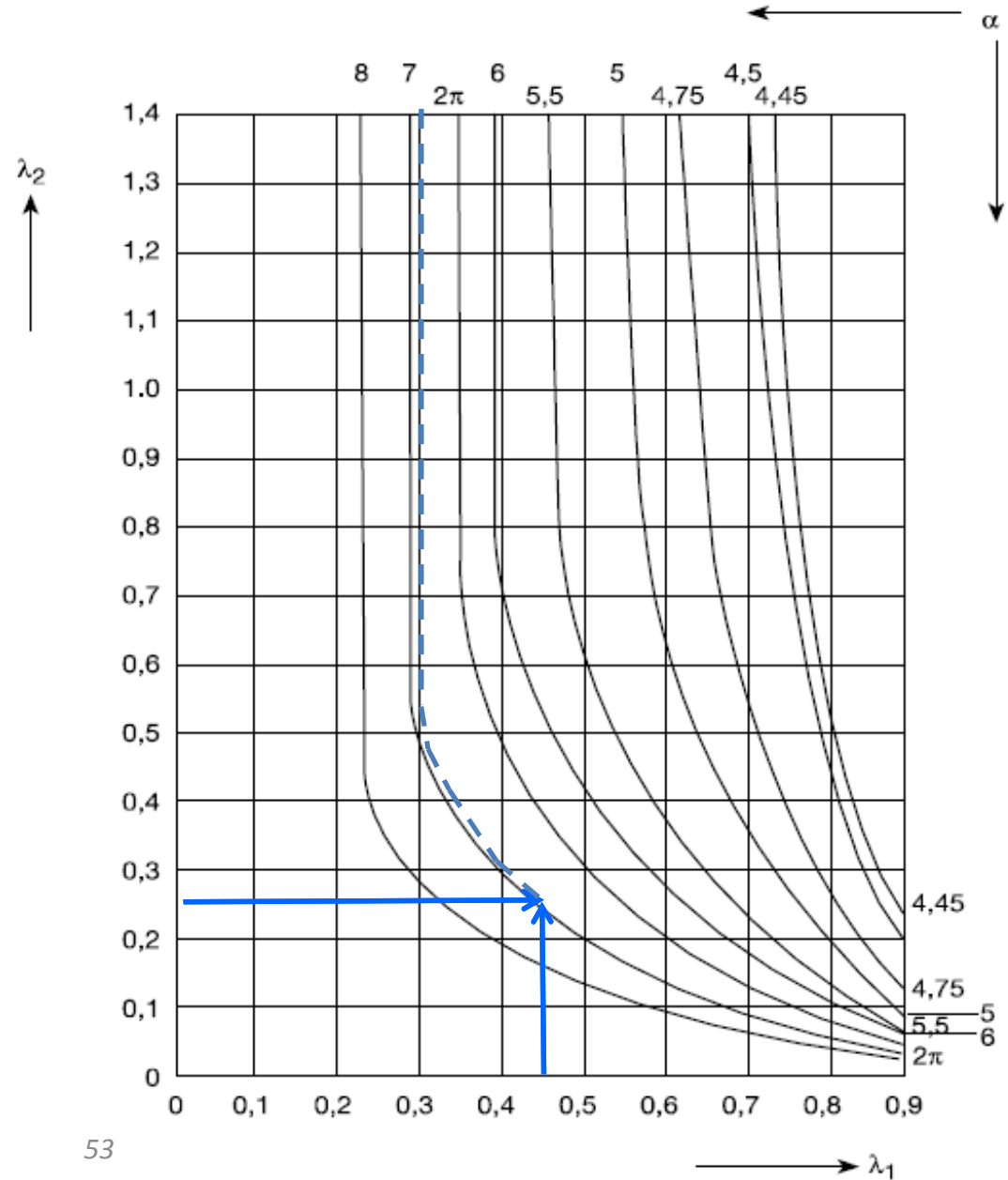
STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,ep,Rd}$)

PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.11

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{62,2}{62,2+75} = 0,45$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{35,1}{62,2+75} = 0,26$$

$$\alpha = 6,9$$



STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,ep,Rd}$)

Długości efektywne zastępczego króćca teowego:

✓ Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 62,2 = 390,8\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},2,\text{nc}} = \alpha m = 6,9 \cdot 62,2 = 429,2\text{mm}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,ep,Rd}$)

Model 1 $l_{eff,1} = \min(l_{eff,2,cp}, l_{eff,2,nc}) = 390,8\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 390,8 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 14349,7\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 14349,7}{62,2} = 922,8\text{kN}$$

Model 2 $l_{eff,2} = l_{eff,2,nc} = 429,2\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 429,2 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 15759,7\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 15759,7 + 75 \cdot 2 \cdot 254,16}{62,2 + 75} = 507,6\text{kN}$$

Model 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

Obliczeniowa nośność zginanej blachy czołowej:

$$F_{t2,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(922,8; 507,6; 508,3) = 507,6\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 2 ($F_{t2,wb,Rd}$)

➤ Środek rygla rozciągany $F_{t2,wb,Rd}$

$$F_{t2,wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.8}$$

$b_{\text{eff},t,wb}$ - szerokość efektywna środka belki przy rozciąganiu; jest równa długości efektywnej zastępczego króćca teowego, reprezentującego zginaną blachę czołową dla 2. szeregu śrub

$$b_{\text{eff},t,wb} = \min(l_{\text{eff},2,cp}; l_{\text{eff},2,nc}) = \min(390,8; 429,2) = 390,8\text{mm}$$

$$F_{t2,wb,Rd} = \frac{390,8 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 1102,0\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – NOŚNOŚĆ SZEREGU ŚRUB NR 2

➤ Efektywna nośność 2. szeregu śrub:

$$F_{t2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{t2,fc,Rd} = 508,3\text{kN} \\ F_{t2,wc,Rd} = 824,8\text{kN} \\ F_{t2,ep,Rd} = 507,6\text{kN} \\ F_{t2,wb,Rd} = 1102,0\text{kN} \\ F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd} = 2294,2 - 410,3 = 1883,9\text{kN} \\ F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd} = 1997,8 - 410,3 = 1587,5\text{kN} \\ F_{c,hb,Rd} - F_{t1,Rd} = 6516,4 - 410,3 = 6106,1\text{kN} \\ V_{wp,Rd} / \beta - F_{t1,Rd} = 1011,5 / 1,0 - 410,3 = 601,2\text{kN} \end{array} \right. = 507,6\text{kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 507,6\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,fc,Rd}$)

- Pas słupa zginany $F_{t3,fc,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **usztwniony pas słupa**

PN-EN 1993-1-8
§ 6.2.6.4 Tablica 6.5

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany indywidualnie	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub w pobliżu żebra	$2\pi m$	αm
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2\pi m$	$4m+1,25e$
Inny skrajny szereg śrub	Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	Minimum z: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$
Skrajny szereg śrub w pobliżu żebra	Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	$e_1+\alpha m$ $-(2m+0,625e)$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,fc,Rd}$)

$$e_{\min} = e = 75\text{mm} \quad m = 46,4\text{mm}$$

Długości efektywne zastępczego króćca teowego:

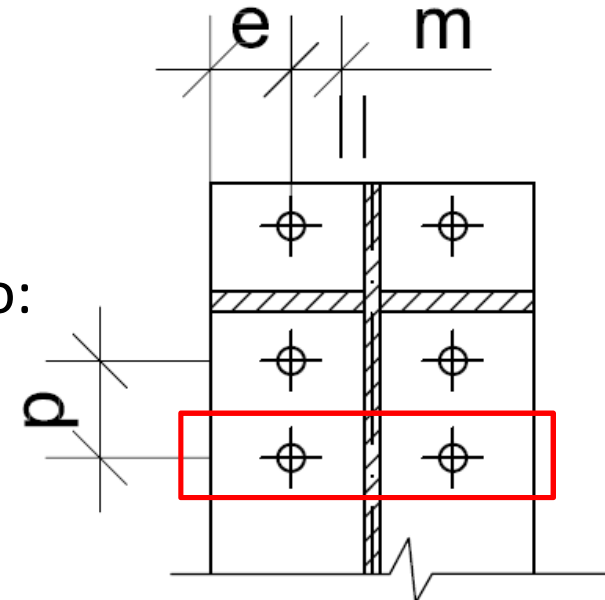
✓ Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 46,4 = 291,5\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 4m + 1,25e = 4 \cdot 46,4 + 1,25 \cdot 75 = 279,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$



STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,fc,Rd}$)

Model 1 $l_{eff,1} = \min(l_{eff,3,cp}, l_{eff,3,nc}) = 279,4\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 279,4 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 11096,4\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 11096,4}{46,4} = 956,6\text{kN}$$

Model 2 $l_{eff,2} = l_{eff,3,nc} = 279,4\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 279,4 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 11096,4\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 11096,4 + 58 \cdot 2 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 495,0\text{kN}$$

Model 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

Obliczeniowa nośność zginanego pasa słupa:

$$F_{t3,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(956,6; 495,0; 508,3) = 495,0\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,wc,Rd}$)

➤ Środek słupa rozciągany $F_{t3,wc,Rd}$

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$$F_{t3,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$b_{\text{eff},t,wc}$ jest równa efektywnej długości równoważnego króćca teowego, reprezentującego pas słupa dla 3. szeregu śrub:

$$b_{\text{eff},t,wc} = \min(l_{\text{eff},3,cp}; l_{\text{eff},3,nc}) = \min(291,5; 279,4) = 279,4\text{mm}$$

Dla $\beta=1$:

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(27,94 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,87$$

Obliczeniowa nośność rozciąganego środka słupa:

$$F_{t3,wc,Rd} = \frac{0,87 \cdot 279,4 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 799,7\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,ep,Rd}$)

- **Blacha czołowa zginana** $F_{t3,ep,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **blachę czołową** [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tablica 6.6](#)

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany indywidualnie	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub poza rozciągany pasem belki	Minimum z: $2\pi m_x$, $\pi m_x + w$, $\pi m_x + 2e$	Minimum z: $4m_x + 1,25e_x$, $e + 2m_x + 0,625e_x$, $0,5b_p$, $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$
Pierwszy szereg śrub poniżej rozciąganego pasa belki	$2\pi m$	αm
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2\pi m$	$4m + 1,25e$
Inny skrajny szereg śrub	$2\pi m$	$4m + 1,25e$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,ep,Rd}$)

$$m = \frac{w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} a_w}{2} = \frac{150 - 12 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{2}$$

$$m = 62,2 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = e = 75 \text{ mm}$$

Długości efektywne zastępczego króćca teowego:

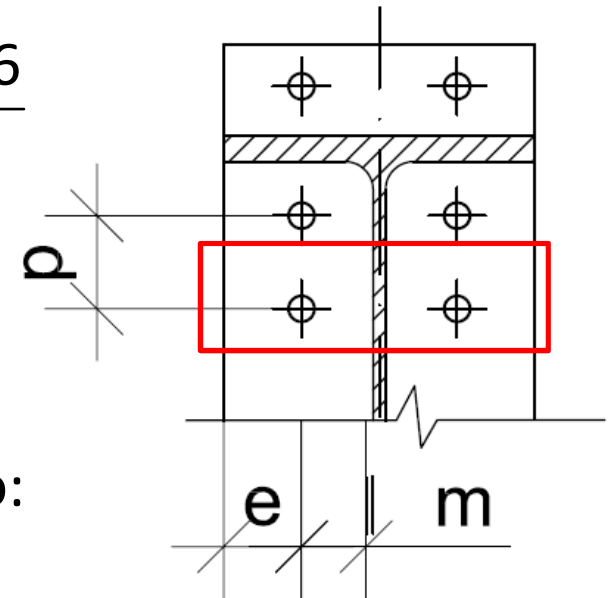
✓ Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 62,2 = 390,8 \text{ mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 4m + 1,25e = 4 \cdot 62,2 + 1,25 \cdot 75 = 342,6 \text{ mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 62,2) = \min(75; 77,7) = 75 \text{ mm}$$



STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,ep,Rd}$)

Model 1 $l_{eff,1} = \min(l_{eff,3,cp}, l_{eff,3,nc}) = 342,6\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 342,6 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 12579,8\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 12579,8}{62,2} = 809,0\text{kN}$$

Model 2 $l_{eff,2} = l_{eff,3,nc} = 342,6\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 342,6 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 12579,8\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 12579,8 + 75 \cdot 2 \cdot 254,16}{62,2 + 75} = 461,3\text{kN}$$

Model 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

Obliczeniowa nośność zginanej blachy czołowej:

$$F_{t3,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(809,0; 461,3; 508,3) = 461,3\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – SZEREG ŚRUB NR 3 ($F_{t3,wb,Rd}$)

➤ Środek rygla rozciągany $F_{t3,wb,Rd}$

$$F_{t3,wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.8}$$

$b_{\text{eff},t,wb}$ - szerokość efektywna środka belki przy rozciąganiu; jest równa długości efektywnej zastępczego króćca teowego, reprezentującego zginaną blachę czołową dla 3. szeregu śrub

$$b_{\text{eff},t,wb} = \min(l_{\text{eff},3,cp}; l_{\text{eff},3,nc}) = \min(390,8; 342,6) = 342,6\text{mm}$$

$$F_{t3,wb,Rd} = \frac{342,6 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 966,1\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),fc,Rd}$)

➤ Pas słupa zginany $F_{t(2+3),fc,Rd}$

- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **usztywniony pas słupa**

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany jako część grupy szeregów	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub w pobliżu żebra	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2p$	p
Inny skrajny szereg śrub	Minimum z: $\pi m + p,$ $2e_1 + p$	Minimum z: $2m + 0,625e + 0,5p,$ $e_1 + 0,5p$
Skrajny szereg śrub w pobliżu żebra	-	-

PN-EN 1993-1-8
§ 6.2.6.4 Tablica 6.5

Szereg 2. rozważany jako część grupy szeregów

Szereg 3. rozważany jako część grupy szeregów

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),fc,Rd}$)

$$e_{\min} = e = 75\text{mm} \quad m = 46,4\text{mm} \quad p = 90\text{mm} \quad \alpha = 7,6$$

Długości efektywne zastępczego króćca teowego

✓ dla szeregu 2 (traktowanego jako część grupy):

Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 46,4 + 90 = 235,8\text{mm}$$

Mechanizmy niekołowe

$$\begin{aligned} l_{\text{eff},2,\text{nc}} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e) = \\ &= 0,5 \cdot 90 + 7,6 \cdot 46,4 - (2 \cdot 46,4 + 0,625 \cdot 75) = 258,0\text{mm} \end{aligned}$$

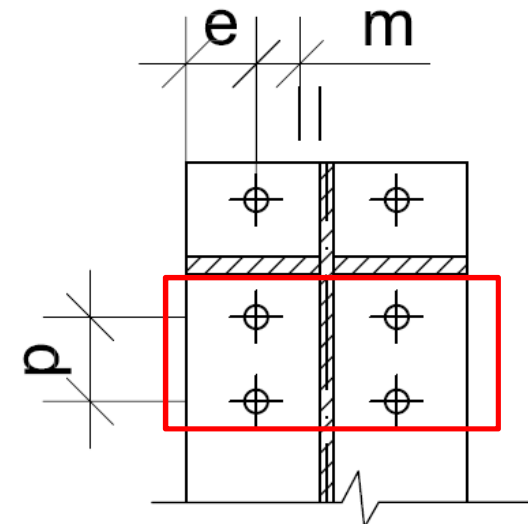
✓ dla szeregu 3 (traktowanego jako część grupy):

Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 46,4 + 90 = 235,8\text{mm}$$

Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 2m + 0,625e + 0,5p = 2 \cdot 46,4 + 0,625 \cdot 75 + 0,5 \cdot 90 = 184,7\text{mm}$$



STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),fc,Rd}$)

Suma długości efektywnych zastępczych króćców teowych:

✓ Mechanizmy kołowe

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}} = l_{\text{eff},2,\text{cp}} + l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 235,8 + 235,8 = 471,6\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = l_{\text{eff},2,\text{nc}} + l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 258,0 + 184,7 = 442,7\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\text{min}}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),fc,Rd}$)

$$\text{Model 1} \quad \sum l_{\text{eff},1} = \min(\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}}, \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}}) = 442,7\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},1} t_{\text{fc}}^2 f_y / \gamma_{\text{M}0} = 0,25 \cdot 442,7 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 17581,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = \frac{4M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 17581,8}{46,4} = 1515,7\text{kN}$$

$$\text{Model 2} \quad \sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = 442,7\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},2} t_{\text{fc}}^2 f_y / \gamma_{\text{M}0} = 0,25 \cdot 442,7 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 17581,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = \frac{2M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t},\text{Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 17581,8 + 58 \cdot 4 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 901,6\text{kN}$$

$$\text{Model 3} \quad F_{\text{T},3,\text{Rd}} = \sum F_{\text{t},\text{Rd}} = 4 \cdot 254,16 = 1016,6\text{kN}$$

Obliczeniowa nośność zginanego pasa słupa:

$$F_{\text{t}(2+3),\text{fc},\text{Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}; F_{\text{T},2,\text{Rd}}; F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = \min(1515,7; 901,6; 1016,6) = 901,6\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),wc,Rd}$)

➤ Środek słupa rozciągany $F_{t(2+3),wc,Rd}$

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$$F_{t(2+3),wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$b_{\text{eff},t,wc}$ jest równa efektywnej długości równoważnego króćca teowego, reprezentującego pas słupa dla grupy szeregów śrub 2. i 3.:

$$b_{\text{eff},t,wc} = \min(\sum l_{\text{eff},2+3,cp}; \sum l_{\text{eff},2+3,nc}) = \min(471,6; 442,7) = 442,7\text{mm}$$

Dla $\beta=1$:

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(44,27 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,75$$

Obliczeniowa nośność rozciąganego środka słupa:

$$F_{t(2+3),wc,Rd} = \frac{0,75 \cdot 442,7 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 1092,4\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),ep,Rd}$)

- **Blacha czołowa zginana** $F_{t(2+3),ep,Rd}$
- ✓ Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **blachę czołową** PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tablica 6.6

Położenie szeregu śrub	Szereg śrub rozważany jako część grupy szeregów	
	Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$	Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$
Szereg śrub poza rozciąganiem pasem belki	-	-
Pierwszy szereg śrub poniżej rozciąganego pasa belki	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Inny wewnętrzny szereg śrub	$2p$	p
Inny skrajny szereg śrub	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$

Szereg 2. rozważany jako część grupy szeregów

Szereg 3. rozważany jako część grupy szeregów

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),ep,Rd}$)

$$e_{\min} = e = 75\text{mm} \quad m = 62,2\text{mm} \quad p = 90\text{mm} \quad \alpha = 6,9$$

Długości efektywne zastępczego króćca teowego

✓ dla szeregu 2 (traktowanego jako część grupy):

Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 62,2 + 90 = 285,4\text{mm}$$

Mechanizmy niekołowe

$$\begin{aligned} l_{\text{eff},2,\text{nc}} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e) = \\ &= 0,5 \cdot 90 + 6,9 \cdot 62,2 - (2 \cdot 62,2 + 0,625 \cdot 75) = 302,9\text{mm} \end{aligned}$$

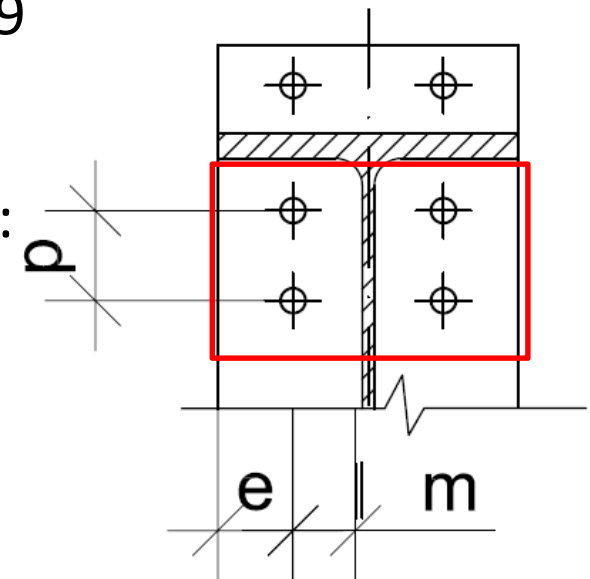
✓ dla szeregu 3 (traktowanego jako część grupy):

Mechanizmy kołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 62,2 + 90 = 285,4\text{mm}$$

Mechanizmy niekołowe

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 2m + 0,625e + 0,5p = 2 \cdot 62,2 + 0,625 \cdot 75 + 0,5 \cdot 90 = 216,3\text{mm}$$



STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),ep,Rd}$)

Suma długości efektywnych zastępczych króćców teowych:

✓ Mechanizmy kołowe

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}} = l_{\text{eff},2,\text{cp}} + l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 285,4 + 285,4 = 570,8\text{mm}$$

✓ Mechanizmy niekołowe

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = l_{\text{eff},2,\text{nc}} + l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 302,9 + 216,3 = 519,2\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 62,2) = \min(75; 77,7) = 75\text{mm}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),ep,Rd}$)

$$\text{Model 1 } \sum l_{\text{eff},1} = \min(\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}}, \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}}) = 519,2\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},1} t_{\text{ep}}^2 f_y / \gamma_{\text{M}0} = 0,25 \cdot 519,2 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 19064,4\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = \frac{4M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 19064,4}{62,2} = 1226,0\text{kN}$$

$$\text{Model 2 } \sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = 519,2\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},2} t_{\text{ep}}^2 f_y / \gamma_{\text{M}0} = 0,25 \cdot 519,2 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 19064,4\text{kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = \frac{2M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t},\text{Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 19064,4 + 75 \cdot 4 \cdot 254,16}{62,2 + 75} = 833,7\text{kN}$$

$$\text{Model 3 } F_{\text{T},3,\text{Rd}} = \sum F_{\text{t},\text{Rd}} = 4 \cdot 254,16 = 1016,6\text{kN}$$

Obliczeniowa nośność zginanej blachy czołowej:

$$F_{\text{t}(2+3),\text{ep},\text{Rd}} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}; F_{\text{T},2,\text{Rd}}; F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = \min(1226,0; 833,7; 1016,6) = 833,7\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – GRUPA SZEREGÓW ŚRUB 2 + 3 ($F_{t(2+3),wb,Rd}$)

➤ Środek rygla rozciągany $F_{t(2+3),wb,Rd}$

$$F_{t(2+3),wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.8}$$

$b_{\text{eff},t,wb}$ - szerokość efektywna środka belki przy rozciąganiu; jest równa długości efektywnej zastępczego króćca teowego, reprezentującego zginaną blachę czołową dla grupy szeregu śrub 2. i 3.

$$b_{\text{eff},t,wb} = \min(\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}}; \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}}) = \min(570,8; 519,2) = 519,2\text{mm}$$

$$F_{t(2+3),wb,Rd} = \frac{519,2 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 1464,1\text{kN}$$

STREFA ROZCIĄGANIA – NOŚNOŚĆ SZEREGU ŚRUB NR 3

➤ Efektywna nośność 3. szeregu śrub:

$$F_{t3,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{t3,fc,Rd} = 495,0\text{kN} \\ F_{t3,wc,Rd} = 799,7\text{kN} \\ F_{t3,ep,Rd} = 461,3\text{kN} \\ F_{t3,wb,Rd} = 966,1\text{kN} \\ F_{t(2+3),fc,Rd} - F_{t2,Rd} = 901,6 - 507,6 = 412,0\text{kN} \\ F_{t(2+3),wc,Rd} - F_{t2,Rd} = 1092,4 - 507,6 = 602,8\text{kN} \\ F_{t(2+3),ep,Rd} - F_{t2,Rd} = 833,7 - 507,6 = 326,1\text{kN} \\ F_{t(2+3),wb,Rd} - F_{t2,Rd} = 1464,1 - 507,6 = 956,5\text{kN} \\ F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 2294,2 - 410,3 - 507,6 = 1376,3\text{kN} \\ F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 1997,8 - 410,3 - 507,6 = 1079,9\text{kN} \\ F_{c,hb,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 6516,4 - 410,3 - 507,6 = 5598,5\text{kN} \\ V_{wp,Rd} / \beta - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 1011,5 / 1,0 - 410,3 - 507,6 = 93,6\text{kN} \end{array} \right.$$

Nośność szeregu nr 3 została zredukowana ze względu na ścinany panel środknika:

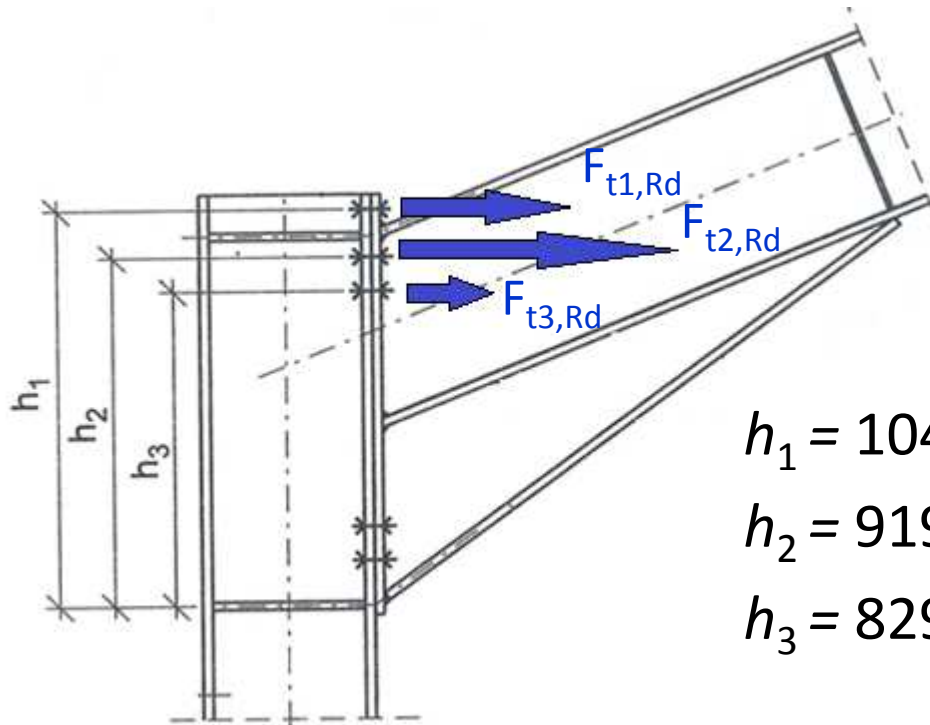
$$F_{t3,Rd} = 93,6\text{kN}$$

ROZKŁAD SIŁ W SZEREGACH ŚRUB

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 (9)

Jeżeli $F_{tr,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$ to stosuje się ograniczenie:

$$F_{tr,Rd} \leq \frac{F_{tx,Rd} h_r}{h_x}$$



$$h_1 = 1044\text{mm}$$

$$h_2 = 919\text{mm}$$

$$h_3 = 829\text{mm}$$

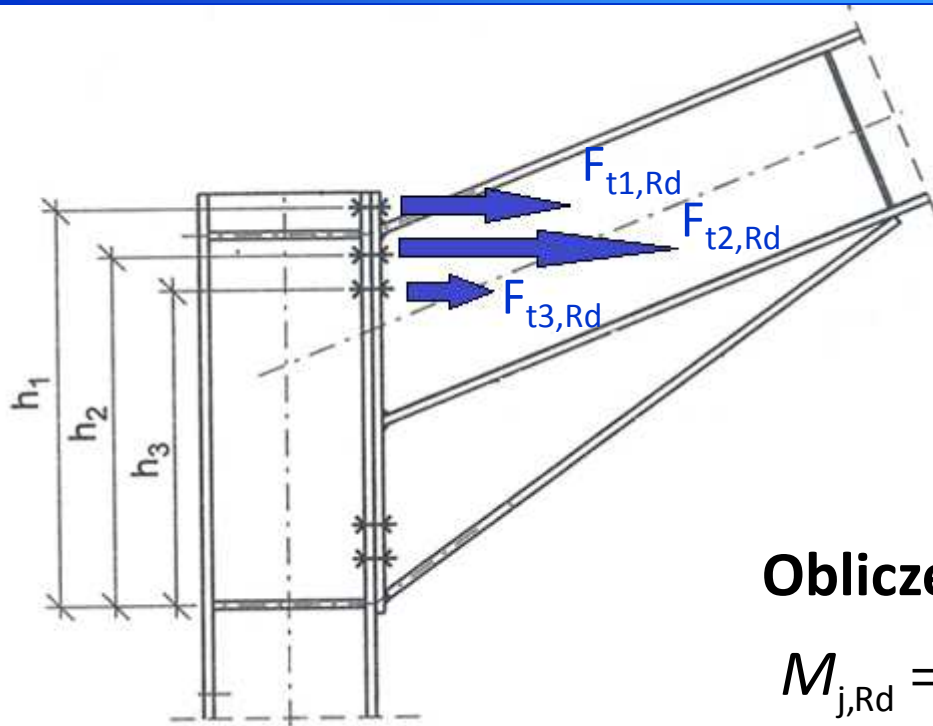
$$F_{t1,Rd} = 410,3\text{kN} < 482,9\text{kN} \Rightarrow F_{t1,Rd} = 410,3\text{kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 507,6\text{kN} > 482,9\text{kN} \Rightarrow F_{t2,Rd} = 507,6\text{kN} = F_{tx,Rd} \text{ and } h_2 = h_x$$

$$F_{t3,Rd} = 93,6\text{kN} < 507,6 \cdot 829 / 919 = 457,9\text{kN} \Rightarrow F_{t3,Rd} = 93,6\text{kN}$$

Ze względu na brak oddziaływań uderzających i wibracyjnych na węzeł można pominąć sprawdzenie możliwości stosowania plastycznego rozkładu sił i ewentualnej redukcji zgodnie z [PN-EN 1993-1-8 Zał. NA.5](#)

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI WĘZŁA



$$F_{t1,Rd} = 410,3 \text{ kN}$$

$$h_1 = 1044 \text{ mm}$$

$$F_{t2,Rd} = 507,6 \text{ kN}$$

$$h_2 = 919 \text{ mm}$$

$$F_{t3,Rd} = 93,6 \text{ kN}$$

$$h_3 = 829 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność węzła przy zginaniu:

$$M_{j,Rd} = \sum_r F_{tr,Rd} h_r = F_{t1,Rd} h_1 + F_{t2,Rd} h_2 + F_{t3,Rd} h_3$$

$$M_{j,Rd} = 410,3 \cdot 1,044 + 507,6 \cdot 0,919 + 93,6 \cdot 0,829$$

$$M_{j,Rd} = 972,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sprawdzenie nośności węzła:

$$M_{Ed} = 605,0 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_{j,Rd} = 972,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Warunek spełniony

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI WĘZŁA

- **Sprawdzenie konieczności uwzględnienia interakcji zginania ze ściskaniem** PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7(2)

Jeżeli siła podłużna w ryglu $N \leq 5\% N_{pl,Rd}$, to można pominąć interakcję zginania ze ściskaniem

Obliczeniowa nośność plastyczna rygla:

$$N_{pl,Rd} = A_b \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 197,5 \cdot 10^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 4641,3 \text{ kN}$$

$$N = 170,55 \text{ kN} \leq 0,05 \cdot N_{pl,Rd} = 0,05 \cdot 4641,3 = 232,0 \text{ kN}$$

Warunek spełniony

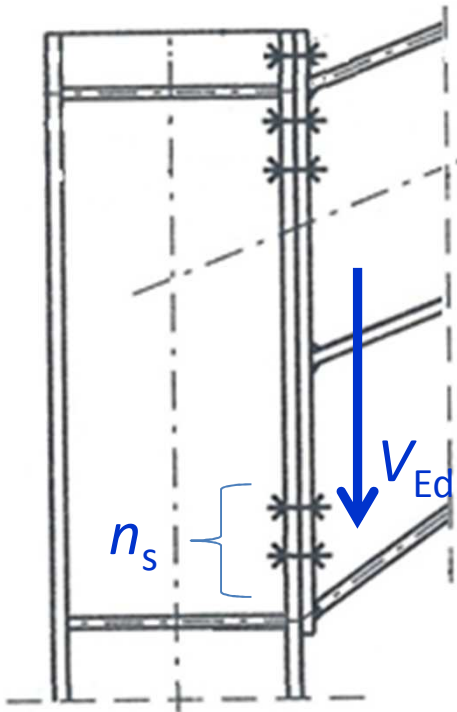
NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU



Program
Uczenie się
przez całe życie

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

- Do przeniesienia siły poprzecznej V_{Ed} przyjęto $n_s = 4$ śruby w dolnej części węzła, które nie biorą udziału w przenoszeniu rozciągania
- Śruby te muszą być sprawdzone na ścinanie i docisk



$$V_{Ed} \leq n_s \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$$

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.2(2)

gdzie:

$F_{v,Rd}$ – nośność śruby na ścinanie

$F_{b,Rd}$ – nośność śruby na docisk (należy rozpatrzyć dwukrotnie, ze względu na docisk trzpienia śruby do blachy czołowej i pasa słupa)

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

- Nośność obliczeniowa pojedynczej śruby na ścinanie $F_{v,Rd}$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 Tablica 3.4}$$

- ✓ Płaszczyzna ścinania przechodzi przez gwintowaną część śruby, to:

$$A = A_s = 353 \text{mm}^2 \text{ i dla śrub klasy 10.9 } \Rightarrow \alpha_v = 0,5$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 141,2 \text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

➤ Nośność obliczeniowa pojedynczej śruby na docisk

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

PN-EN 1993-1-8 Tablica 3.4

$$d = 24\text{mm}, d_0 = 26\text{mm}, p_1 = 90\text{mm}$$

dla śrub pośrednich:
$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,90$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\alpha_d; \frac{1000}{360}; 1,0\right) = \min(0,90; 2,78; 1,0) = 0,90$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{w}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{75}{26} - 1,7; 1,4 \frac{150}{26} - 1,7; 2,5\right) = \\ = \min(6,37; 6,37; 2,5) = 2,5$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

$$k_1 = 2,5 \quad \alpha_b = 0,90$$

- ✓ Nośność obliczeniowa pojedynczej śruby na docisk do blachy czołowej

$$t = t_{ep} = 25\text{mm}$$

$$F_{b,ep,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{ep}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,90 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 25}{1,25} = 388,8\text{kN}$$

- ✓ Nośność obliczeniowa pojedynczej śruby na docisk do pasa słupa

$$t = t_{fc} = 26\text{mm}$$

$$F_{b,fc,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,90 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 26}{1,25} = 404,4\text{kN}$$

Nośność obliczeniowa pojedynczej śruby na docisk:

$$F_{b,Rd} = \min(F_{b,ep,Rd}; F_{b,fc,Rd}) = \min(388,8; 404,4) = 388,8\text{kN}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

➤ Sprawdzenie nośności węzła przy ścinaniu:

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq n_s \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$$

$n_s = 4$ – liczba śrub przenoszących ścinanie
(nie uwzględnianych przy rozciąganiu)

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq 4 \cdot \min(141,2; 388,8)$$

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq 4 \cdot 141,2$$

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq 564,8\text{kN}$$

Warunek nośności węzła przy ścinaniu jest spełniony

OBLICZENIE SZTYWNOŚCI POCZĄTKOWEJ WĘZŁA



Program
Uczenie się
przez całe życie

SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

➤ Zestawienie aktywnych części podstawowych węzła:

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2 Tablica 6.10

Współczynnik sztywności	Część podstawowa węzła
k_1	Panel średnika słupa ścinany
k_2	Środek słupa w strefie ściskania
k_3	Środek słupa w strefie rozciągania
k_4	Pas słupa zginany w strefie rozciągania
k_5	Blacha czołowa zginana w strefie rozciągania
k_{10}	Śruby rozciągane

Do wyznaczenia zastępczego współczynnika sztywności k_{eq} zostaną uwzględnione współczynniki sztywności: k_3, k_4, k_5, k_{10} .

SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

- **Uźebrowany środek słupa w strefie ściskania** PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$k_2 = \infty$$

- **Uźebrowany środek słupa w strefie rozciągania** PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$d_c = 344\text{mm} \quad k_{3,r} = \frac{0,7b_{\text{eff,t,wc}}t_{\text{wc}}}{d_c}$$

$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(l_{\text{eff,cp}}; l_{\text{eff,nc}})$ dla danego szeregu śrub rozpatrywanego indywidualnie lub jako część grupy szeregów z tablicy 6.5

Dla szeregu śrub nr 1:

$$k_{3,1} = \frac{0,7 \cdot 215,8 \cdot 14}{344} = 6,1\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(225,8; 215,8) = 215,8\text{mm}$$

Dla szeregu śrub nr 2:

$$k_{3,2} = \frac{0,7 \cdot 235,8 \cdot 14}{344} = 6,7\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(291,5; 235,8; 352,6; 258,0) = 235,8\text{mm}$$

Dla szeregu śrub nr 3:

$$k_{3,3} = \frac{0,7 \cdot 184,7 \cdot 14}{344} = 5,3\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(291,5; 235,8; 279,4; 184,7) = 184,7\text{mm}$$

SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

➤ Uźebrowany pas słupa zginany w strefie rozciągania

$$m = 46,4\text{mm} \quad k_{4,r} = \frac{0,9 l_{\text{eff}} t_{\text{fc}}^3}{m^3} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2}$$

$l_{\text{eff}} = \min(l_{\text{eff,cp}}; l_{\text{eff,nc}})$ dla danego szeregu śrub rozpatrywanego indywidualnie lub jako część grupy szeregów z tablicy 6.5

Dla szeregu śrub nr 1:

$$l_{\text{eff}} = \min(225,8; 215,8) = 215,8\text{mm}$$

$$k_{4,1} = \frac{0,9 \cdot 215,8 \cdot 26^3}{46,4^3} = 34,2\text{mm}$$

Dla szeregu śrub nr 2:

$$l_{\text{eff}} = \min(291,5; 235,8; 352,6; 258,0) = 235,8\text{mm}$$

$$k_{4,2} = \frac{0,9 \cdot 235,8 \cdot 26^3}{46,4^3} = 37,3\text{mm}$$

Dla szeregu śrub nr 3:

$$l_{\text{eff}} = \min(291,5; 235,8; 279,4; 184,7) = 184,7\text{mm}$$

$$k_{4,3} = \frac{0,9 \cdot 184,7 \cdot 26^3}{46,4^3} = 29,2\text{mm}$$

SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

- **Blacha czołowa zginana w strefie rozciągania** PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$k_{5,r} = \frac{0,9 l_{\text{eff}} t_{\text{ep}}^3}{m^3}$$

$m = 62,2\text{mm}$, dla szeregu śrub nr 1: $m = m_x = 36,4\text{mm}$

$l_{\text{eff}} = \min(l_{\text{eff,cp}}; l_{\text{eff,nc}})$ dla danego szeregu śrub rozpatrywanego indywidualnie lub jako część grupy szeregów z tablicy 6.6

Dla szeregu śrub nr 1:

$$l_{\text{eff}} = \min(228,7; 150) = 150,0\text{mm}$$

$$k_{5,1} = \frac{0,9 \cdot 150,0 \cdot 25^3}{36,4^3} = 43,7\text{mm}$$

Dla szeregu śrub nr 2:

$$l_{\text{eff}} = \min(390,8; 285,4; 429,2; 302,9) = 285,4\text{mm}$$

$$k_{5,2} = \frac{0,9 \cdot 285,4 \cdot 25^3}{62,2^3} = 16,7\text{mm}$$

Dla szeregu śrub nr 3:

$$l_{\text{eff}} = \min(390,8; 285,4; 342,6; 216,3) = 216,3\text{mm}$$

$$k_{5,3} = \frac{0,9 \cdot 216,3 \cdot 25^3}{62,2^3} = 12,6\text{mm}$$

SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

➤ Śruby rozciągane

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$k_{10} = \frac{1,6A_s}{L_b}$$

Pole przekroju czynnego śruby przy rozciąganiu: $A_s = 353\text{mm}^2$

$t_{wa} = 4\text{mm}$ – grubość podkładki (EN ISO 7090)

$t_{nb} = 21,5\text{mm}$ – grubość nakrętki (EN ISO 4032)

$t_{hb} = 15\text{mm}$ – grubość łba śruby (EN ISO 4017)

Baza wydłużalności śruby:

$$L_b = t_{fb} + t_{ep} + 2t_{wa} + \frac{t_{nb} + t_{hb}}{2} = 26 + 25 + 2 \cdot 4 + \frac{21,5 + 15}{2} = 77\text{mm}$$

Dla wszystkich szeregów rozciąganych współczynnik sztywności k_{10} ma tę samą wartość.

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot 353}{77} = 7,3\text{mm}$$

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – METODA OGÓLNA

➤ Efektywne współczynniki sztywności

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.3

$$k_{\text{eff},r} = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_{i,r}}} = \frac{1}{\frac{1}{k_{3,r}} + \frac{1}{k_{4,r}} + \frac{1}{k_{5,r}} + \frac{1}{k_{10}}}$$

Numer szeregu śrub r	Współczynniki sztywności [mm]				Efektywny współczynnik sztywności [mm]	h_r [mm]
	$k_{3,r}$	$k_{4,r}$	$k_{5,r}$	k_{10}		
1	6,1	34,2	43,7	7,3	2,8	1044
2	6,7	37,3	16,7	7,3	2,7	919
3	5,3	29,2	12,6	7,3	2,3	829

➤ Zastępcze ramię dźwigni

$$z_{\text{eq}} = \frac{\sum_{r=1}^3 k_{\text{eff},r} h_r^2}{\sum_{r=1}^3 k_{\text{eff},r} h_r} = \frac{2,8 \cdot 1044^2 + 2,7 \cdot 919^2 + 2,3 \cdot 829^2}{2,8 \cdot 1044 + 2,7 \cdot 919 + 2,3 \cdot 829} = 946 \text{ mm}$$

SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

➤ Nieuźebrowany panel środka w warunkach ścinania

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

(brak żebra ukośnego, usztywnienie słupa żebrami poprzecznymi ma wpływ na wartości współczynników sztywności: k_2, k_3, k_4)

$$k_1 = \frac{0,38A_{vc}}{\beta \cdot z_{eq}}$$

$$\beta = 1, \quad A_{vc} = 7970\text{mm}^2, \quad z_{eq} = 946\text{mm}$$

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot 7970}{1,0 \cdot 946} = 3,2\text{mm}$$

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – METODA OGÓLNA

➤ Zastępczy współczynnik sztywności

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.3

$$k_{eq} = \frac{\sum_{r=1}^3 k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} = \frac{2,8 \cdot 1044 + 2,7 \cdot 919 + 2,3 \cdot 829}{946} = 7,7 \text{ mm}$$

➤ Sztywność początkowa

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.1

$$S_{j,ini} = \frac{E z_{eq}^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_{eq}}} = \frac{210000 \cdot 946^2}{\frac{1}{3,2} + \frac{1}{7,7}} = 424831 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – KLASYFIKACJA WĘZŁA

Klasyfikacja węzła ze względu na sztywność

PN-EN 1993-1-8 § 5.2.2

Warunek stawiany węzłom sztywnym:

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$$

$$K_b / K_c = \left(\frac{EI_b}{L_b} \right) / \left(\frac{EI_c}{L_c} \right) = \frac{86970 \cdot 10^4}{12924} / \frac{79890 \cdot 10^4}{5380} = 0,45 > 0,1 \Rightarrow k_b = 25$$

L_b – długość rygla (od okapu do kalenicy)

L_c – wysokość słupa (od poziomu 0,00 do dolnej części skosu rygla)

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b = 25 \cdot \frac{210000 \cdot 86970 \cdot 10^4}{12924} = 353290 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

$$S_{j,ini} = 424831 \text{ kN} \cdot \text{m/rad} > 353290 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

Warunek spełniony

PODSUMOWANIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

PODSUMOWANIE

- Omówiono przykład obliczeniowy węzła okapowego z doczołowym połączeniem śrubowym w konstrukcji ramowej stalowego budynku parterowego.
- Przedstawiono szczegółową procedurę obliczania nośności węzła na zginanie i ścinanie oraz początkowej sztywności obrotowej.
- Zastosowano usztywnienia słupa i rygla w celu zwiększenia ich nośności i sztywności. Obliczony węzeł został sklasyfikowany jako węzeł sztywny.
- W przypadku braku żeber należy rozpatrzyć odpowiednie nośności obliczeniowe i współczynniki sztywności dla składników nieusztywnionych.
- W przypadku zaklasyfikowania nieusztywnionego węzła jako węzła podatnego, należy uwzględnić jego sztywność w analizie statycznej konstrukcji ramowej.

BIBLIOGRAFIA




Program
Uczenie się
przez całe życie

BIBLIOGRAFIA

- PN-EN 1993-1-1 – Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych
- Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- PN-EN 1993-1-8 – Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych
- Część 1-8: Projektowanie węzłów
- M. Giżejowski, J. Ziółko (eds). Budownictwo ogólne tom 5.
Stalowe konstrukcje budynków. Projektowanie według
Eurokodów z przykładami obliczeń.
- Access Steel, NCCI „Design of portal frame eaves connections”
SN041a-EN-EU



Program Uczenie się przez całe życie

Moduły szkoleniowe SKILLS zostały opracowane przez konsorcjum organizacji, podanych na dole slajdu.
Materiał jest w objęty licencją Creative Commons 

Ten projekt został zrealizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej.
Publikacje w ramach tego projektu odzwierciedlają jedynie stanowisko ich autorów i Komisja Europejska
nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.

