



Program Uczenie się przez całe życie

Projekt SKILLS



WĘZŁY RAMOWE – CZĘŚĆ 1



Program
Uczenie się
przez całe życie

OMAWIANE ZAGADNIENIA

- **Procedura projektowania węzłów ramowych budynków parterowych (doczołowych połączeń śrubowych poddawanych zginaniu)**
 - ✓ **Nośność węzła**
 - ✓ **Sztywność obrotowa węzła**
 - ✓ **Projektowanie szczegółów konstrukcyjnych (spoiny, śruby, żebra usztywniające, blacha czołowa)**

- **Wytyczne dotyczące najlepszych praktyk projektowania i wykonywania węzłów ram budynków jednokondygnacyjnych**

SPIS TREŚCI

- **Wprowadzenie**
- **Obliczenie nośności węzła przy zginaniu**
- **Obliczenie nośności węzła przy ścinaniu**
- **Projektowanie połączeń spawanych**
- **Elementy usztywniające węzeł**
- **Obliczenie sztywności obrotowej węzła**
- **Zalecenia praktyczne**
- **Podsumowanie**

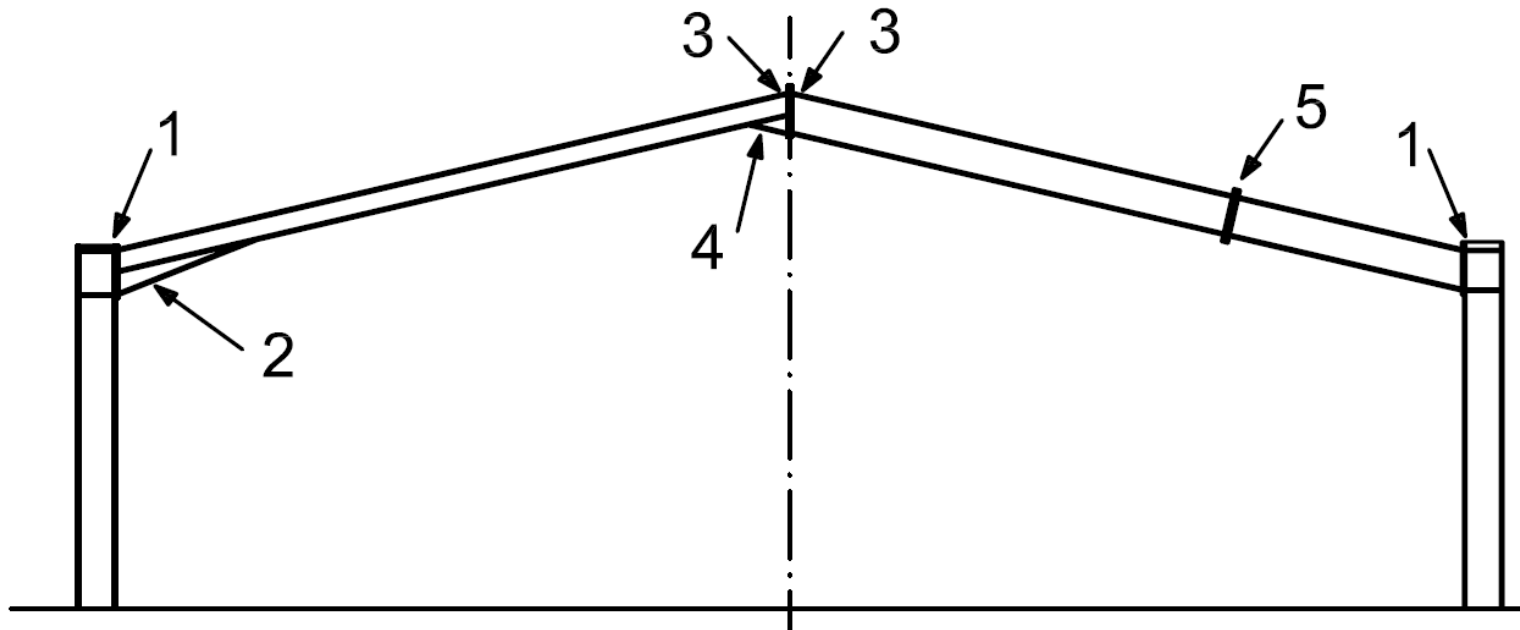
WPROWADZENIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

WPROWADZENIE

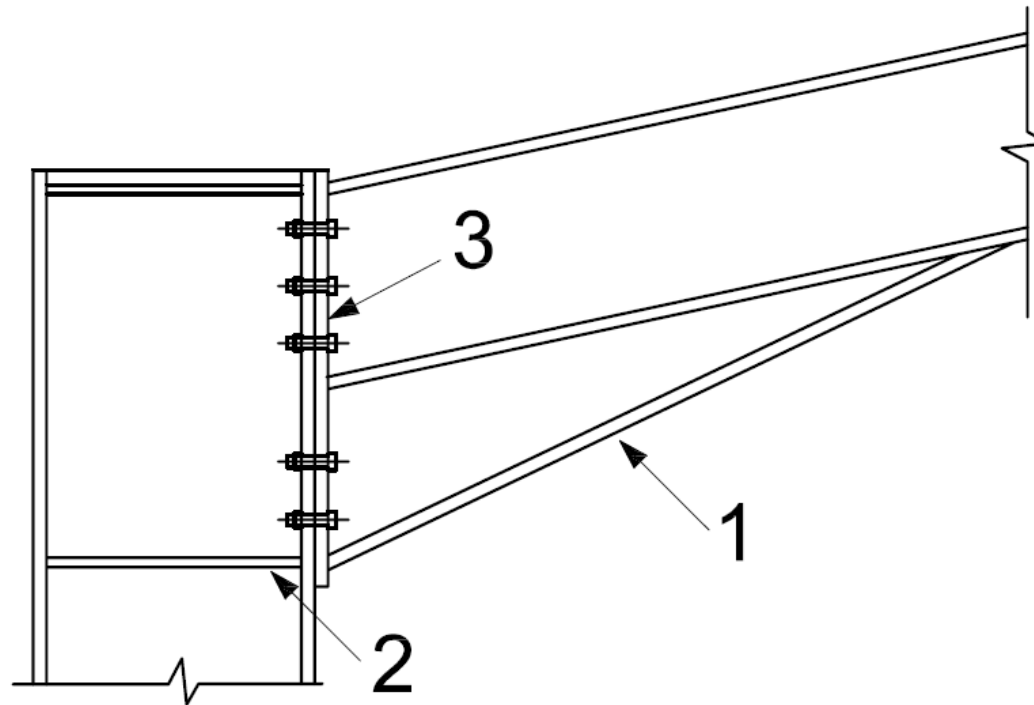
- Rodzaje węzłów w ramach budynków parterowych



1. Węzeł okapowy
2. Skos węzła okapowego
3. Węzeł kalenicowy
4. Skos węzła kalenicowego
5. Styki pośrednie

WPROWADZENIE

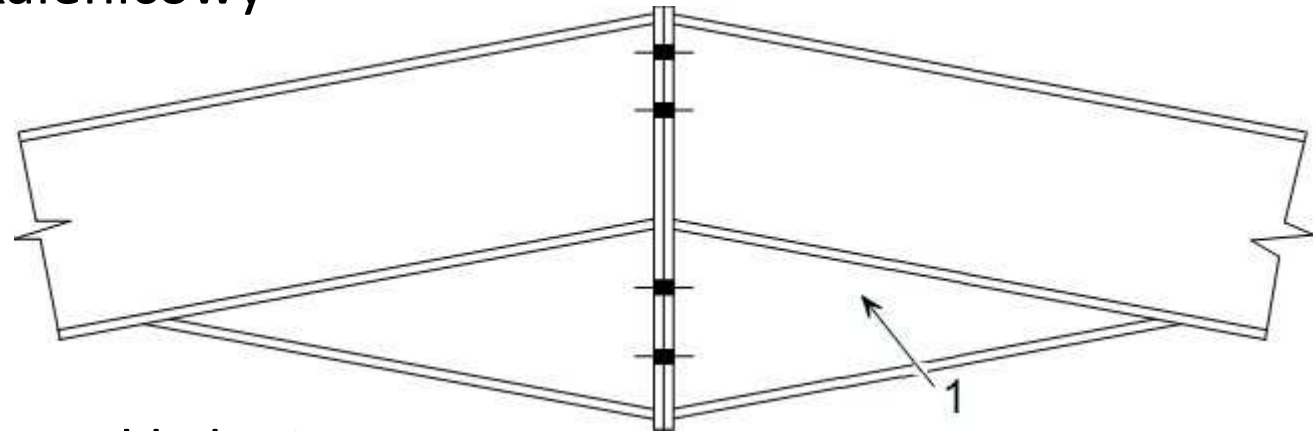
➤ Typowy węzeł okapowy



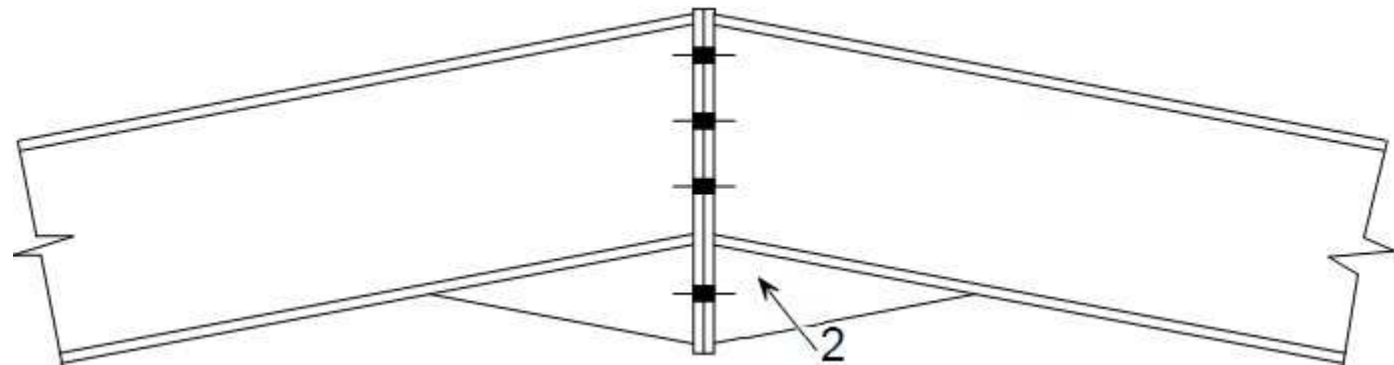
1. Skos
2. Żebro usztywniające
3. Blacha czołowa

WPROWADZENIE

➤ Typowy węzeł kalenicowy



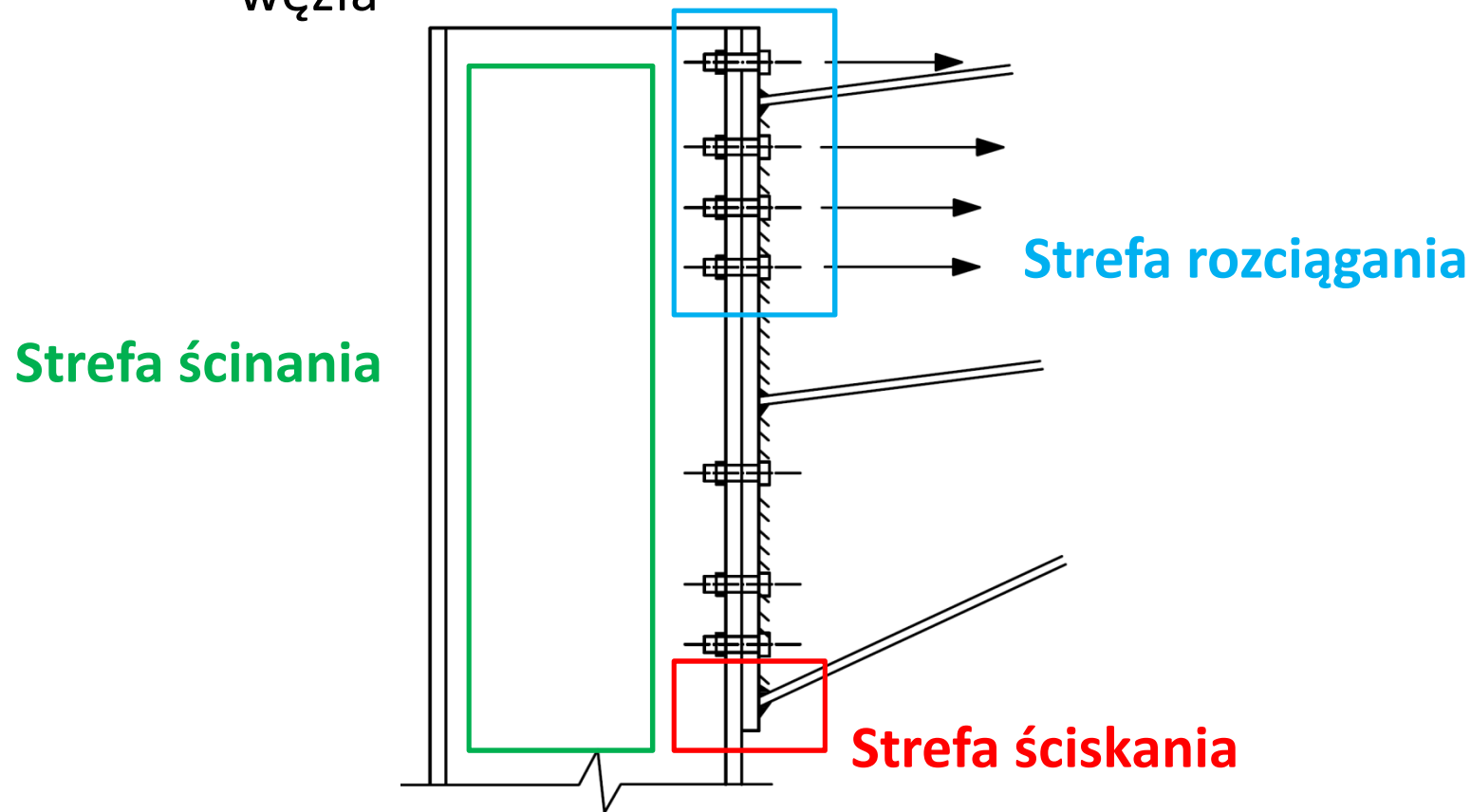
➤ Alternatywny węzeł kalenicowy



1. Skos wykonany z tego samego przekroju co rygiel
2. Blacha usztywniająca

WPROWADZENIE

- Ogólne założenia projektowe według PN-EN 1993-1-8
 - ✓ Węzeł jest modelowany za pomocą wielu części składowych
 - ✓ Podstawowe części węzła są zlokalizowane w różnych strefach węzła



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 $M_{j,Rd}$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – INFORMACJE OGÓLNE

- Efektywna nośność przy rozciąganiu poszczególnych szeregów śrub może być ograniczona przez:
 - ✓ Obliczeniową nośność grupy szeregów
 - ✓ Sztywność pasa słupa lub blachy czołowej, która może uniemożliwiać plastyczny rozkład sił rozciągających
 - ✓ Nośność panelu środka przy ścinaniu
 - ✓ Nośność składnika strefy ściskanej

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

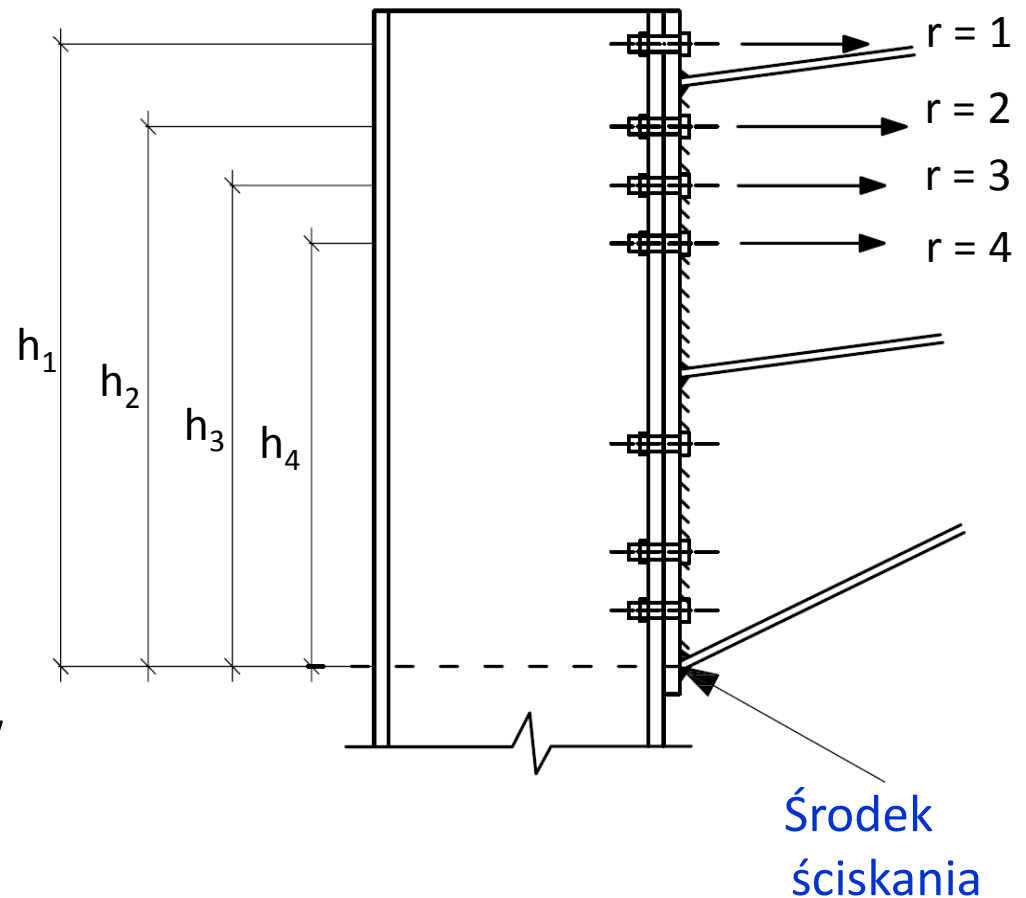
- Potencjalna nośność poszczególnych szeregów śrub w strefie rozciąganej:

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

| 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, 6.4, 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 |

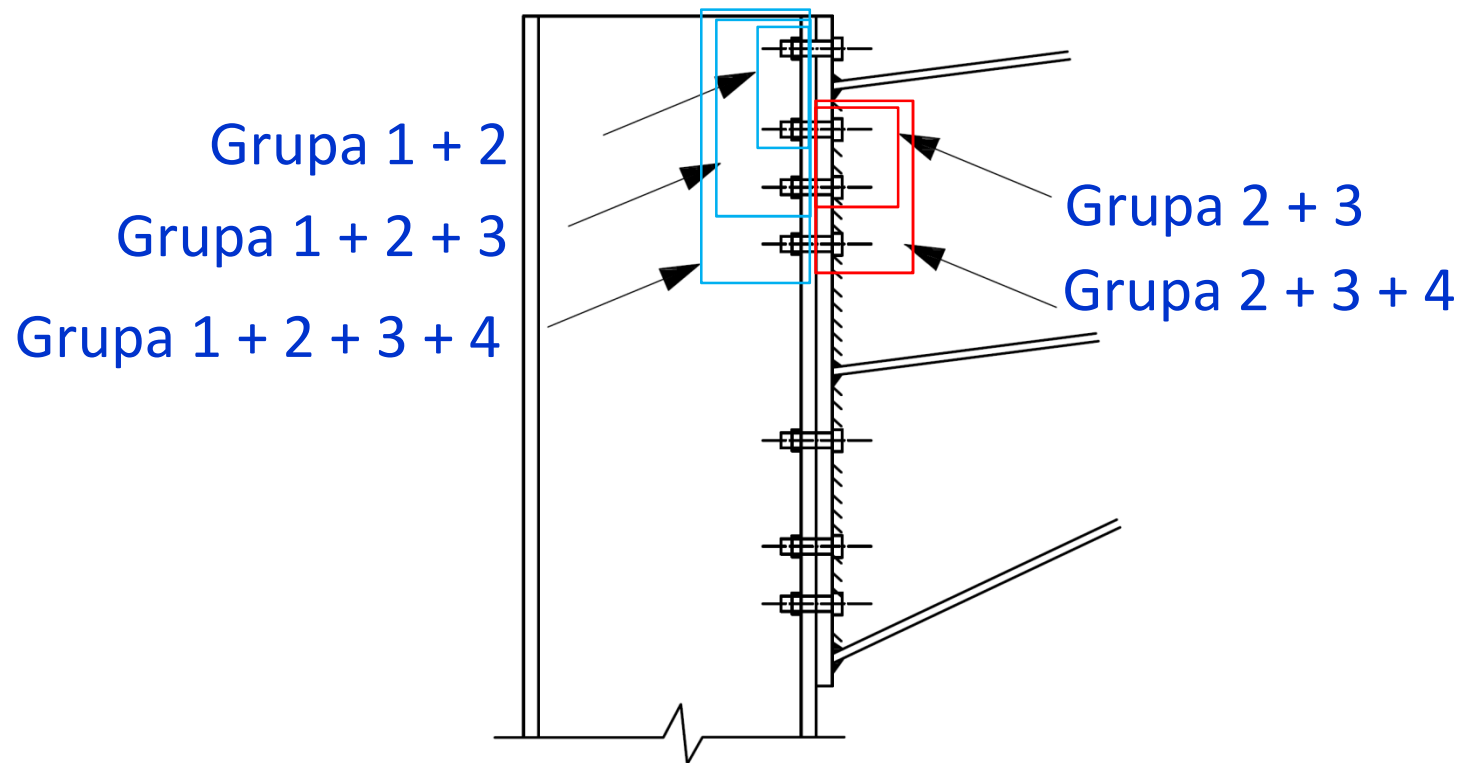
NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Obliczenia rozpocząć od najwyższego szeregu śrub, najbardziej oddalonego od środka ściskania ($r = 1$);
- Pominąć nośności śrub zlokalizowanych bliżej środka ściskania;
- Sprawdzić kolejne szeregi śrub rozpatrywane indywidualnie oraz jako część grupy szeregów (łącznie z szeregami śrub położonymi wyżej);
- Jeżeli suma nośności rozciąganych szeregów śrub jest większa niż nośność miarodajnego składnika strefy ściskania lub ścinania, to pozostałe szeregi nie są już brane pod uwagę w obliczeniach nośności węzła przy zginaniu.



NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Grupy szeregów śrub związane z podstawowymi częściami węzła w strefie rozciąganej, po stronie słupa i po stronie rygla z blachą czołową



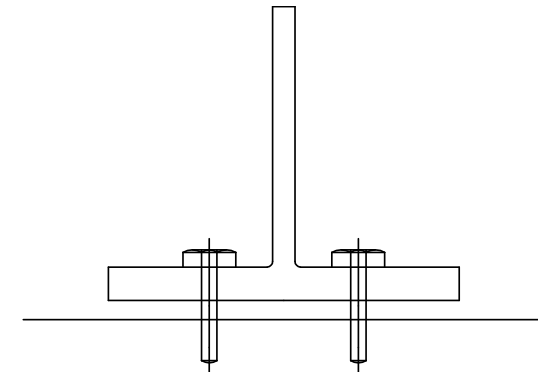
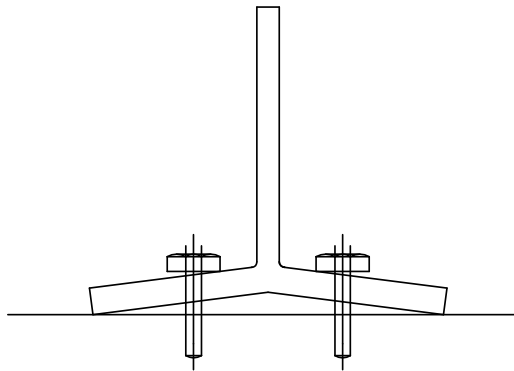
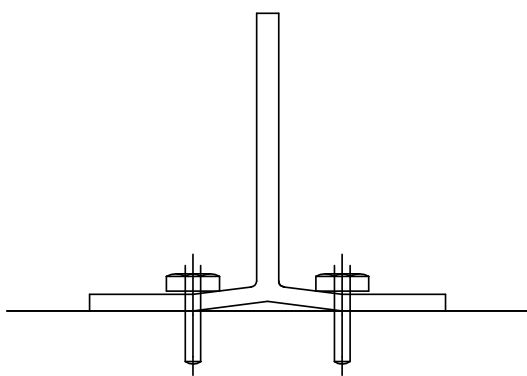
NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- **Określenie potencjalnej nośności przy rozciąganiu:**
 - ✓ **zginanej blachy czołowej $F_{t,ep,Rd}$** PN-EN 1993-1-8 § 6.2.4
 - ✓ **zginanego pasa słupa $F_{t,fc,Rd}$**
- Rzeczywiste układy linii załomów plastycznych przekształcane są w zastępczy model króćca teowego
- Każdy możliwy układ linii załomów plastycznych jest określany długością efektywną zastępczego króćca teowego l_{eff}
- Przyjmowany jest najkrótszy zastępczy króciec teowy ($\min l_{eff}$)
- Długość efektywna zastępczego króćca teowego jest potrzebna do obliczenia nośności króćca

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Modele zniszczenia zastępczego króćca teowego

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.4 Tablica 6.2



Model 1

Model 2

Model 3

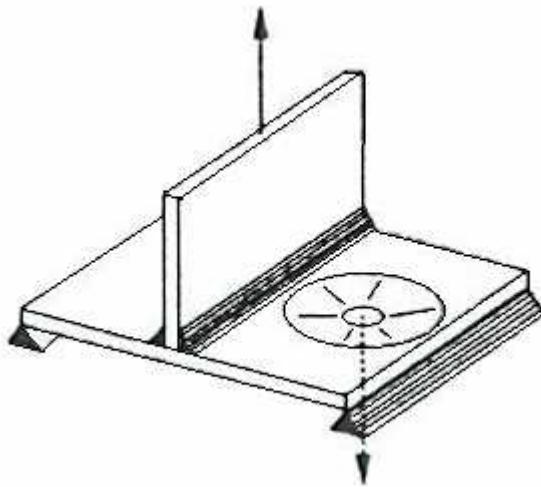
Całkowite uplastycznienie pólki zastępczego króćca teowego (mechanizm)

Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem pólki zastępczego króćca teowego

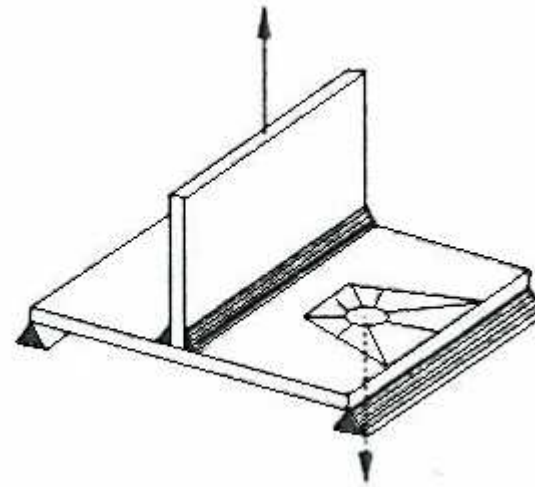
Zniszczenie śrub

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Długość efektywna zastępczego króćca teowego



Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$

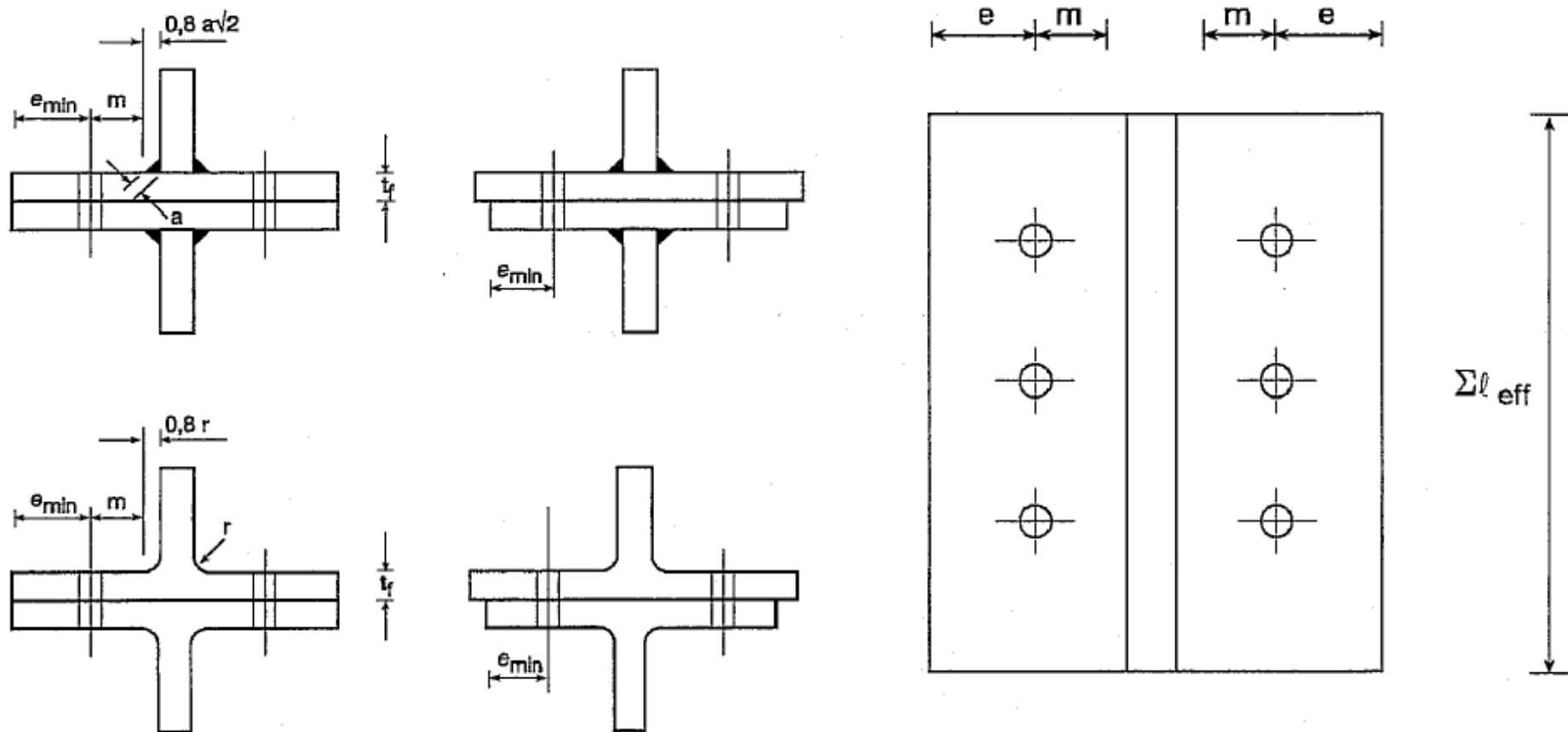


Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$

| | Szereg śrub rozważany indywidualnie | Szereg śrub rozważany jako część grupy szeregów |
|----------|---|---|
| Model 1: | $l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ lecz $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$ | $\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ lecz $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$ |
| Model 2: | $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ | $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$ |

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Wymiary półki zastępczego króćca teowego PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.2



NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **niesztywniony pas słupa** $F_{t,fc,Rd}$

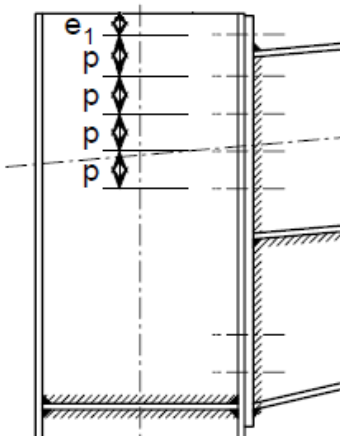
PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.4 Tablica 6.4

| Położenie szeregu śrub | Szereg śrub rozważany indywidualnie | | Szereg śrub rozważany jako część grupy szeregów | |
|------------------------|---|--|---|---|
| | Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$ | Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$ | Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$ | Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$ |
| Wewnętrzny szereg śrub | $2\pi m$ | $4m+1,25e$ | $2p$ | p |
| Skrajny szereg śrub | Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$ | Minimum z: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$ | Minimum z: $\pi m+p,$ $2e_1+p$ | Minimum z: $2m+0,625e+0,5p,$ $e_1+0,5p$ |

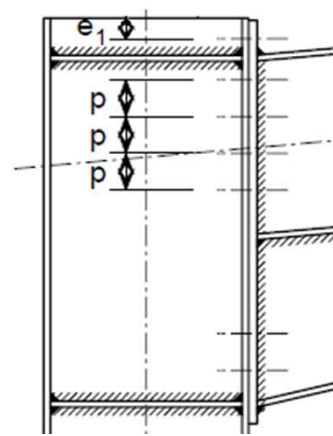
NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

➤ Określenie wartości e_1 , p i w :

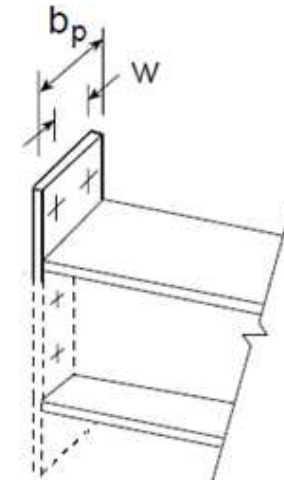
dla nieusztywnionego
pasa słupa



dla usztywnionego
pasa słupa



Dla blachy
czołowej



PN-EN 1993-1-8 § 3.5 Tablica 3.3

$$t = t_{\min} = \min(t_p, t_{fc})$$

| | Minimum | Maksimum | | |
|-------|----------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| | | Konstrukcje wykonane ze stali według: | | |
| | | PN-EN 10025 (z wyjątkiem EN 10025-5) | | PN-EN 10025-5 |
| | | Stal narażona | Stal nienarażona | Stal stosowana bez zabezpieczeń |
| | | na wpływy atmosferyczne lub korozyjne | | |
| e_1 | $1,2d_0$ | $4t + 40\text{mm}$ | | $\max(8t; 125\text{mm})$ |
| p | $2,2d_0$ | $\min(14t; 200\text{mm})$ | $\min(14t; 200\text{mm})$ | $\min(14t_{\min}; 175\text{mm})$ |
| w | $2,4d_0$ | $\min(14t; 200\text{mm})$ | $\min(14t; 200\text{mm})$ | $\min(14t_{\min}; 175\text{mm})$ |

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **usztwniony pas słupa** $F_{t,fc,Rd}$

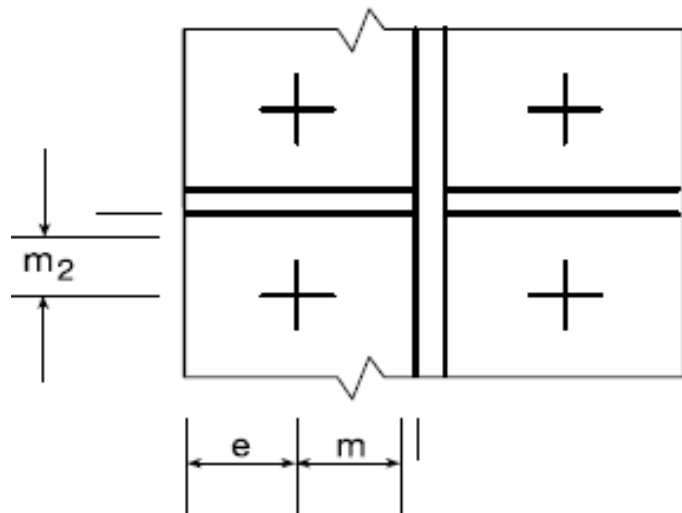
PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.4 Tablica 6.5

| Położenie szeregu śrub | Szereg śrub rozważany indywidualnie | | Szereg śrub rozważany jako część grupy szeregów | |
|-------------------------------------|---|--|---|---|
| | Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$ | Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$ | Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$ | Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$ |
| Szereg śrub w pobliżu żebra | $2\pi m$ | αm | $\pi m + p$ | $0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$ |
| Inny wewnętrzny szereg śrub | $2\pi m$ | $4m + 1,25e$ | $2p$ | p |
| Inny skrajny szereg śrub | Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m + 2e_1$ | Minimum z: $4m + 1,25e,$ $2m + 0,625e + e_1$ | 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 | Minimum z: $2\pi m,$ $\pi m + 2e_1$ | $e_1 + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$ | - | - |

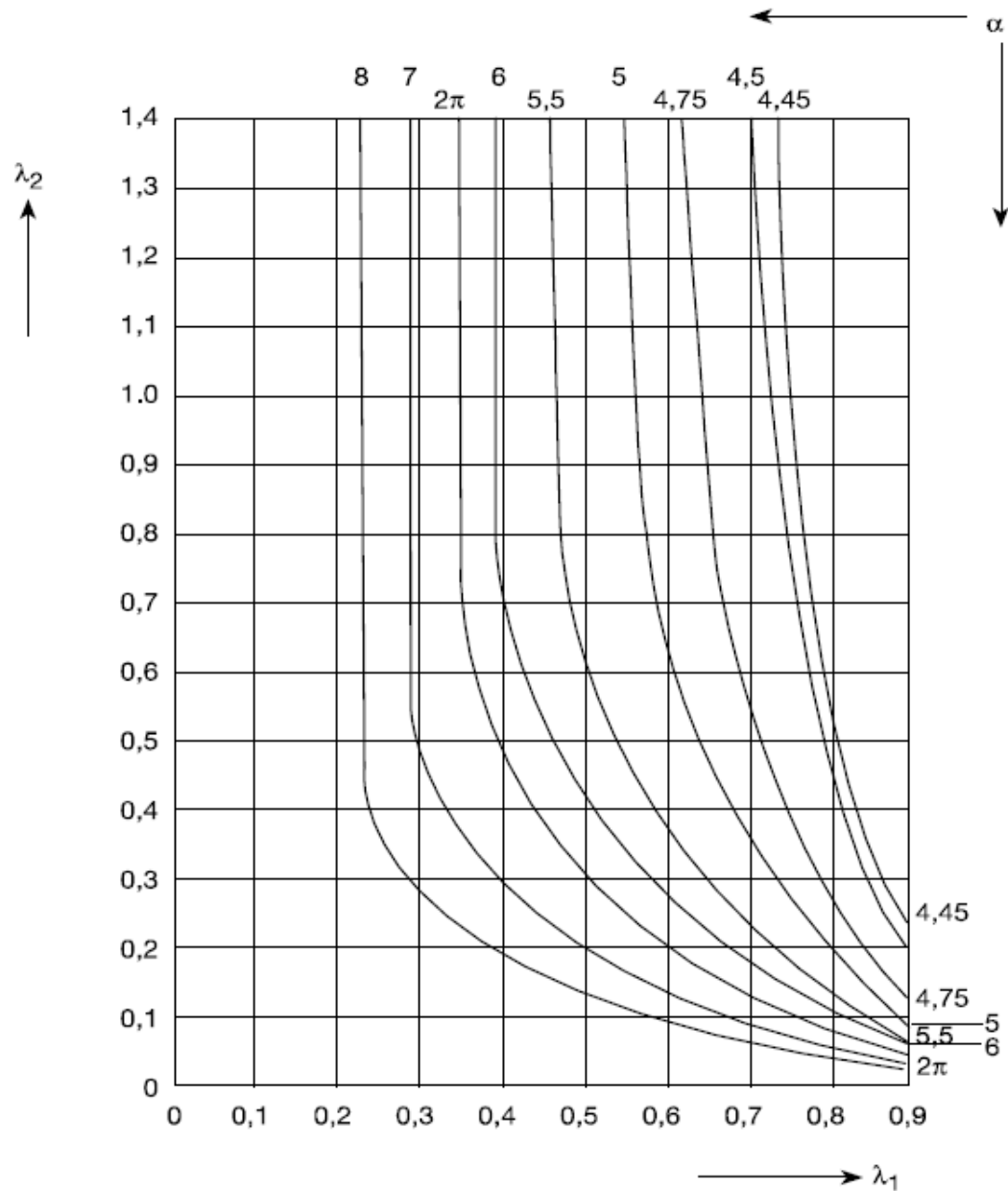
NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Wartości α w przypadku uźebrowanych pasów słupów i blach czołowych

PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.11



$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$



NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

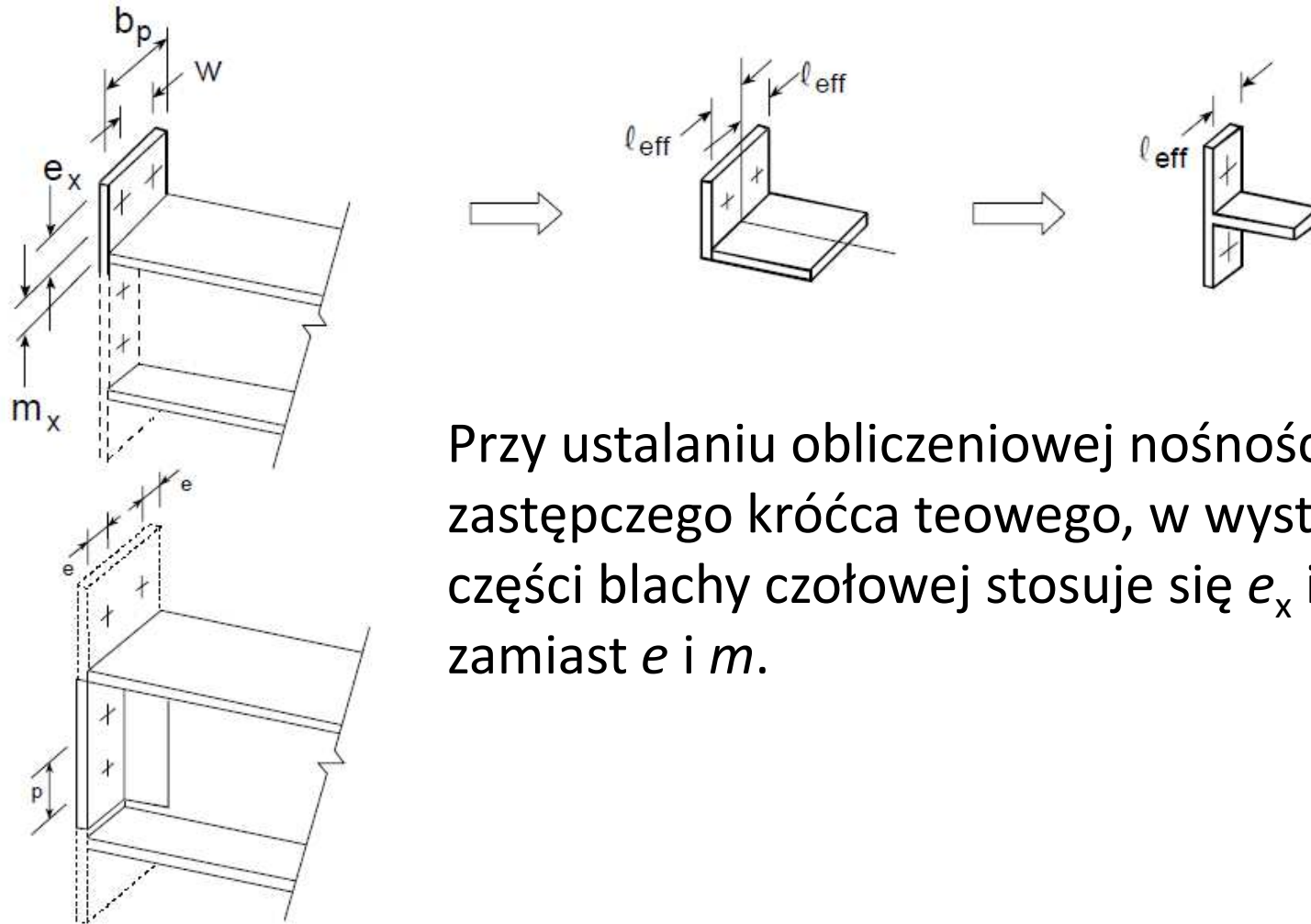
- Określenie długości efektywnej zastępczego króćca teowego reprezentującego **blachę czołową** $F_{t,ep,Rd}$ PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5

Tablica 6.6

| Położenie szeregu śrub | Szereg śrub rozważany indywidualnie | | Szereg śrub rozważany jako część grupy szeregów | |
|--|---|---|---|-----------------------------------|
| | Mechanizmy kołowe $l_{eff,cp}$ | Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc}$ | 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 | $\pi m + p$ | $0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$ |
| Inny wewnętrzny szereg śrub | $2\pi m$ | $4m + 1,25e$ | $2p$ | p |
| Inny skrajny szereg śrub | $2\pi m$ | $4m + 1,25e$ | $\pi m + p$ | $2m + 0,625e + 0,5p$ |

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

- Modelowanie wystającej blachy czołowej jako oddzielnych króćców teowych
PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.10



Przy ustalaniu obliczeniowej nośności półki zastępczego króćca teowego, w wystającej części blachy czołowej stosuje się e_x i m_x zamiast e i m .

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

➤ Obliczenie nośności półki króćca teowego:

| | |
|---------|--|
| Model 1 | $F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$ |
| Model 2 | $F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$ |
| Model 3 | $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$ |

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.4 Tablica 6.2

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum I_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum I_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$n = e_{min} \leq 1,25m$$

t_f – grubość półki zastępczego króćca teowego ($t_f = t_{fc}$ lub $t_f = t_p$)

$F_{t,Rd}$ – obliczeniowa nośność śruby na rozciąganie
$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

PN-EN 1993-1-8 § 3.6.1 Tablica 3.4

$\sum F_{t,Rd}$ – sumaryczna nośność $F_{t,Rd}$ wszystkich śrub w króćcu

$\gamma_{M2} = 1,25$ - współczynnik częściowy do obliczania nośności śrub

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

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

➤ Określenie potencjalnej nośności przy rozciąganiu:

✓ **Zginana blacha czołowa** $F_{t,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$

$F_{T,1,Rd}$, $F_{T,2,Rd}$, $F_{T,3,Rd}$ – obliczeniowe nośności zastępczego króćca teowego przy różnych modelach zniszczenia, reprezentującego zginaną blachę czołową

✓ **Zginany pas słupa** $F_{t,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$

$F_{T,1,Rd}$, $F_{T,2,Rd}$, $F_{T,3,Rd}$ – obliczeniowe nośności zastępczego króćca teowego przy różnych modelach zniszczenia, reprezentującego zginany pas słupa

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

➤ Obliczeniowa nośność środника słupa przy rozciąganiu $F_{t,wc,Rd}$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3}$$

gdzie:

ω - współczynnik redukcyjny, uwzględniający interakcję ze ścinaniem w panelu środnika słupa (PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.3), stosując odpowiednio wartość $b_{\text{eff},t,wc}$ zamiast $b_{\text{eff},c,wc}$.

$b_{\text{eff},t,wc}$ - szerokość współpracująca środnika słupa przy rozciąganiu; dla połączeń śrubowych jest równa efektywnej długości równoważnego króćca teowego, reprezentującego pas słupa

t_{wc} - grubość środnika słupa

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

Uwaga: Żebra lub nakładki środnika mogą być zastosowane w celu zwiększenia obliczeniowej²⁸ nośności środnika słupa.

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

Określenie współczynnika redukcyjnego ω ze względu na interakcję ze ścinaniem

PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.3

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

A_{vc} - pole przekroju czynnego przy ścinaniu słupa PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.1

β - parametr przeniesienia PN-EN 1993-1-8 § 5.3(7)

$b_{\text{eff,c,wc}}$ - szerokość efektywna średnika słupa przy ściskaniu PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(1)

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

Określenie parametru przeniesienia β

Dla jednostronnych konfiguracji węzłów:

$$\beta = 1$$

PN-EN 1993-1-8 § 5.3(9)

lub Tablica 5.4

Określenie przekroju czynnego przy ścinaniu słupa A_{vc}

PN-EN 1993-1-1

§ 6.2.6.1

✓ Dla walcowanych dwuteowników, ścinanych prostopadle do osi y-y:

$$A_{vc} = A_c - 2b_{fc}t_{fc} + t_{fc}(t_{wc} + 2r_c) \geq \eta h_{wc}t_{wc}$$

✓ Dla spawanych dwuteowników i przekrojów skrzynkowych, ścinanych prostopadle do osi y-y: $A_{vc} = \eta \sum h_{wc}t_{wc}$

✓ Dla spawanych dwuteowników i przekrojów skrzynkowych, ścinanych prostopadle do osi z-z : $A_{vc} = A_c - \sum h_{wc}t_{wc}$

η - można przyjmować przybliżoną wartość równą 1,0

h_{wc} – wysokość środka w świetle pasów

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ROZCIĄGANIA

➤ Obliczeniowa nośność środka belki przy rozciąganiu $F_{t,wb,Rd}$

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

gdzie:

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

t_{wb} - grubość środka belki

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

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

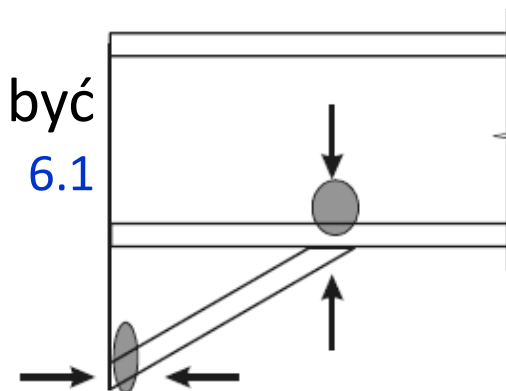
- Obliczeniowa nośność strefy ściskania może być ograniczona przez:

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}, F_{c,fb,Rd}, F_{c,hb,Rd})$$

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 belki w strefie ściskania | $F_{c,fb,Rd}$ | 6.2.6.7 |
| Belka ze skosem w strefie ściskania | $F_{c,hb,Rd}$ | 6.2.6.7/6.2.6.2 |

Nośność na ściskanie belki ze skosem może być rozpatrzone jak podano w [PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.1](#) (składnik 20)



NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

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

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

gdzie:

ω - współczynnik redukcyjny, uwzględniający interakcję ze ścinaniem (PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.3)

k_{wc} - współczynnik redukcyjny (PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(2))

ρ - współczynnik redukcyjny ze względu na wyboczenie miejscowe (PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(1))

$b_{eff,c,wc}$ - szerokość efektywna środka słupa przy ściskaniu

$\gamma_{M1} = 1,00$ - wsp. częściowy do obliczania nośności elementu

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

Uwaga: Żebra lub nakładki środka słupa mogą być zastosowane w celu zwiększenia obliczeniowej nośności środka słupa.

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

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

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2

Dla połączeń śrubowych z blachą czołową:

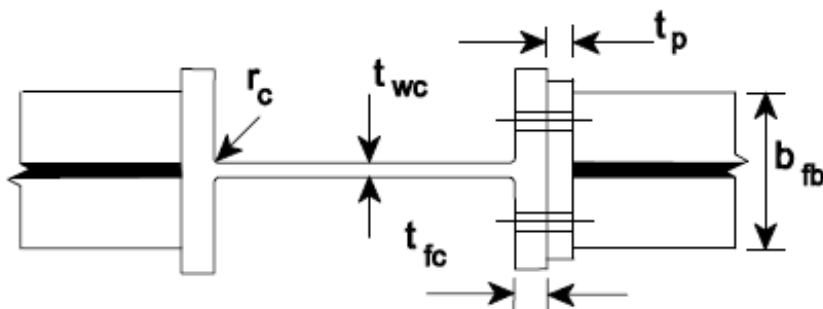
$$b_{\text{eff},c,\text{wc}} = t_{\text{fb}} + 2\sqrt{2}a_p + 5(t_{\text{fc}} + s) + s_p$$

gdzie:

$$s_p = t_p + c \leq 2t_p$$

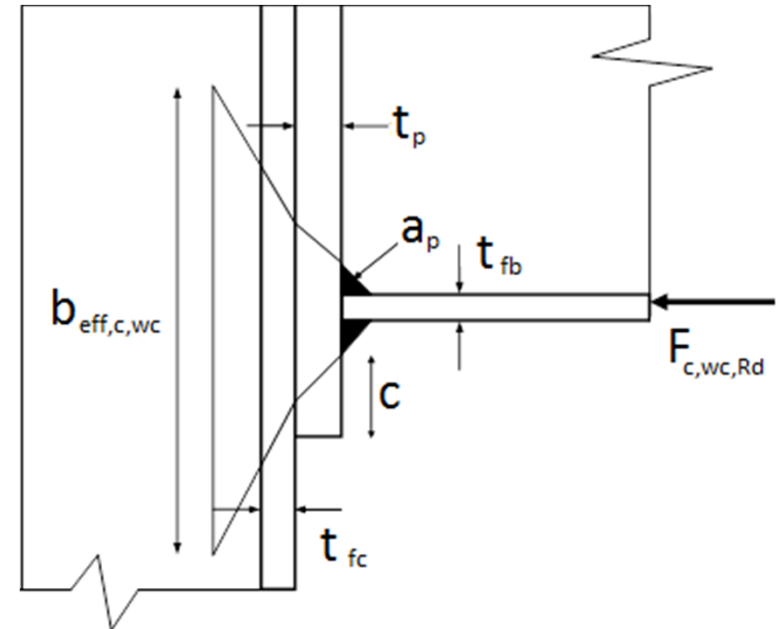
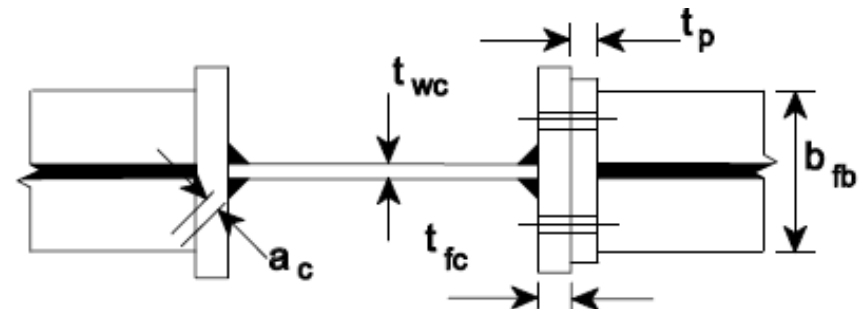
Przy dwuteownikach walcowanych:

$$s = r_c$$



Przy dwuteownikach spawanych:

$$s = \sqrt{2}a_c$$



NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

➤ Współczynnik redukcyjny

ze względu na wyboczenie miejscowe ρ

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(1)

Jeżeli $\bar{\lambda}_p \leq 0,72 \Rightarrow \rho = 1,0$ lub jeżeli $\bar{\lambda}_p > 0,72 \Rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,2}{\bar{\lambda}_p^2}$

$\bar{\lambda}_p$ - smukłość płytowa:
$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,\text{wc}} d_{\text{wc}} f_{y,\text{wc}}}{Et_{\text{wc}}^2}}$$

✓ Słup z dwuteownika walcowanego (I lub H): $d_{\text{wc}} = h_c - 2(t_{\text{fc}} + r_c)$

✓ Słup z dwuteownika spawanego (I lub H): $d_{\text{wc}} = h_c - 2(t_{\text{fc}} + \sqrt{2}a_c)$

h_c - wysokość przekroju słupa

t_{fc} - grubość pasa słupa

r_c - projekt zaokrąglenia naroża przekroju słupa

a_c - grubość spoiny łączącej pas ze środkiem słupa
w dwuteowniku spawanym

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

➤ **Współczynnik redukcyjny k_{wc}** PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(2)

$$\sigma_{com,Ed} \leq 0,7f_{y,wc} \Rightarrow k_{wc} = 1 \quad \text{lub} \quad \sigma_{com,Ed} > 0,7f_{y,wc} \Rightarrow k_{wc} = 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}$$

$\sigma_{com,Ed}$ - maksymalne ściskające naprężenie normalne od siły podłużnej i momentu zginającego w części płaskiej środnika (przyległej do zaokrągleń w przekrojach walcowanych lub brzegu spoiny w przekrojach spawanych)

Na ogół współczynnik redukcyjny $k_{wc} = 1,0$ i redukcja nie jest konieczna. Dlatego można ją pominąć w obliczeniach wstępnych, gdy naprężenia normalne nie są znane i sprawdzane później.

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

- **Obliczeniowa nośność pasa belki (rygla) przy ściskaniu $F_{c,fb,Rd}$**

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.7}$$

gdzie:

$M_{c,Rd}$ - obliczeniowa nośność przekroju poprzecznego belki (PN-EN 1993-1-1 § 6.2.5); dla belek ze skosem, $M_{c,Rd}$ może być policzona z pominięciem pośredniego pasa

h - wysokość przekroju; dla belek ze skosem to jest wysokość wytworzonego przekroju

t_{fb} - grubość pasa belki (rygla); dla rygla ze skosem – to jest grubość pasa skosu

Jeżeli wysokość belki (uwzględniającej skos) przekracza 600 mm, udział środka belki w obliczeniowej nośności na ściskanie powinien być ograniczony do 20%.

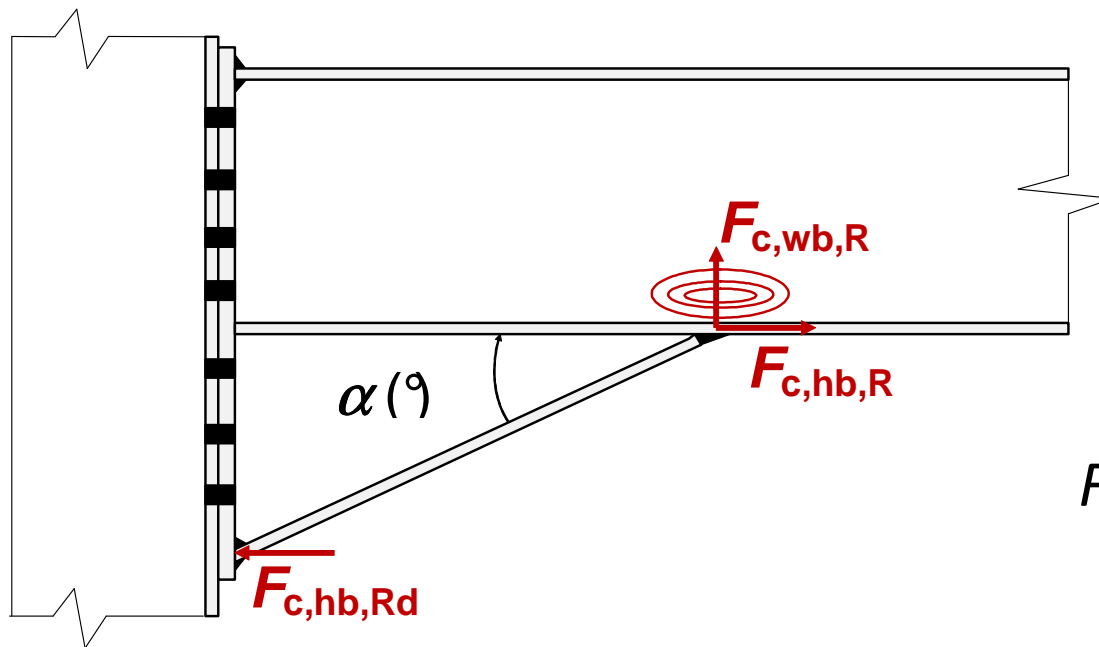
Stąd, jeżeli nośność pasa jest równa $t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}$ to:

$$F_{c,fb,Rd} \leq \frac{t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}}{0,8}$$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

- Obliczeniowa nośność belki (rygla) ze skosem w strefie ściskania

$F_{c,hb,Rd}$ PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.7(3)



$$F_{c,hb,Rd} = \frac{F_{c,wb,Rd}}{\tan \alpha}$$

$$F_{c,wb,Rd} = \frac{\omega k_{wb} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M1}}$$

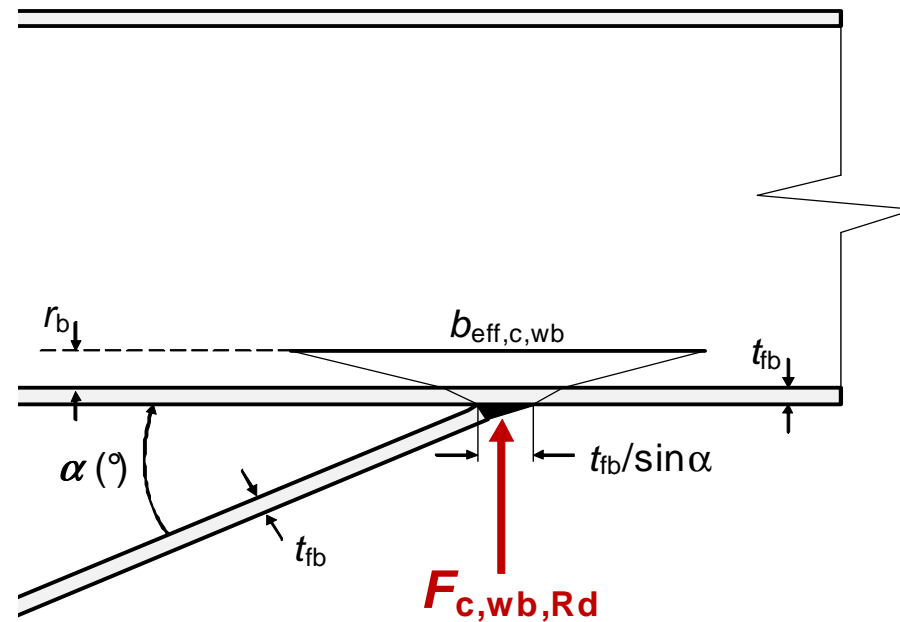
gdzie:

$F_{c,wb,Rd}$ - obliczeniowa nośność środka belki przy poprzecznym ściskaniu (zgodnie z PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6.2)

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – STREFA ŚCISKANIA

- Efektywna szerokość środka belki przy ściskaniu $b_{\text{eff},c,\text{wb}}$

$$b_{\text{eff},c,\text{wb}} = \frac{t_{\text{fb}}}{\sin\alpha} + 5(t_{\text{fb}} + r_b)$$



Pozostałe parametry w wyrażeniu na $F_{c,\text{wb},\text{Rd}}$: ω , k_{wb} , ρ powinny być obliczone analogicznie jak parametry we wzorze na $F_{c,\text{wc},\text{Rd}}$, podstawiając za poszczególne wartości związane ze słupem odpowiednie wartości związane z belką.

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 : $d/t_w \leq 69\varepsilon$

gdzie:

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

d - wysokość środka słupa

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,wc}}}$$

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

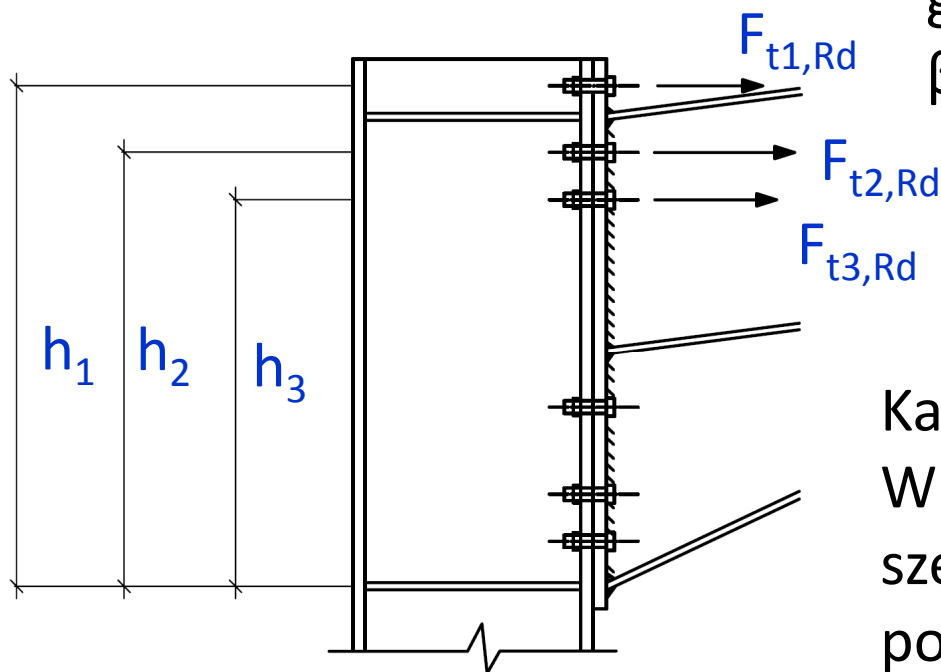
Uwaga: Żebra lub nakładki środka mogą być zastosowane w celu zwiększenia obliczeniowej nośności środka słupa.

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – NOŚNOŚCI SZEREGÓW ŚRUB

$$F_{t1,Rd} = \min(F_{t,Rd(1)}, F_{c,Rd}, V_{wp,Rd}/\beta)$$

$$F_{t2,Rd} = \min(F_{t,Rd(2)}, F_{c,Rd} - F_{t1,Rd}, V_{wp,Rd}/\beta - F_{t1,Rd})$$

$$F_{t3,Rd} = \min(F_{t,Rd(3)}, F_{t,Rd(2+3)} - F_{t2,Rd}, F_{c,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd}, V_{wp,Rd}/\beta - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd})$$



gdzie:

β parametr przeniesienia;

dla węzłów jednostronnych $\beta = 1$

PN-EN 1993-1-8 § 5.3(7) lub Tablica 5.4

Każda wartość $F_{ti,Rd}$ powinna być > 0 .

W przeciwnym razie, gdy $F_{ti,Rd} \leq 0$, szereg i nie jest aktywny i należy pominąć jego nośność.

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – OGRANICZENIA

➤ Rozkład plastyczny sił w szeregach śrub

Plastyczny rozkład sił w szeregach śrub jest dopuszczalny jeżeli nośność poszczególnych szeregów śrub $F_{tr,Rd}$ nie przekracza $1,9 F_{t,Rd}$. [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 \(9\)](#)

gdzie:

$F_{t,Rd}$ – obliczeniowa nośność śruby na rozciąganie
[PN-EN 1993-1-8 § 3.6.1 Tablica 3.4](#)

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

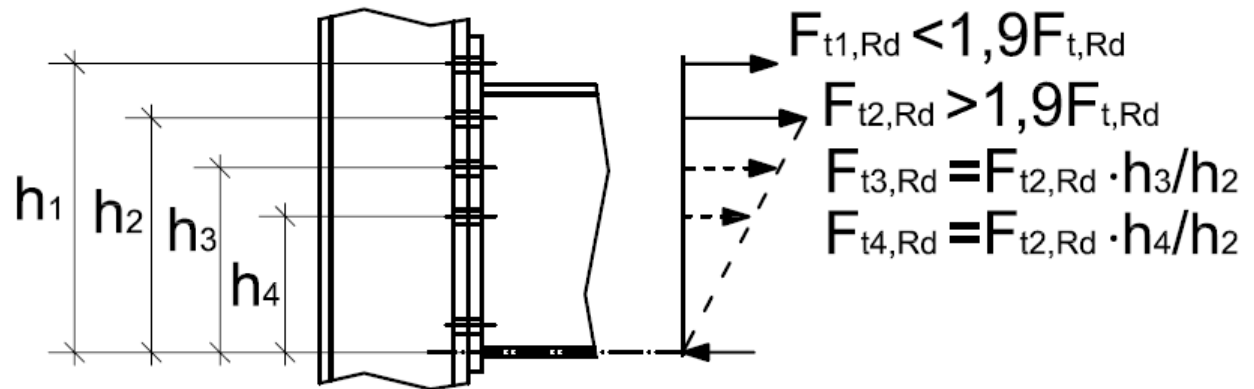
Skutkiem tego ograniczenia jest nałożenie trójkątnego rozkładu sił w szeregach śrub.

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU – OGRANICZENIA

➤ Redukcja obliczeniowej nośności szeregów śrub przy rozciąganiu

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

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 (9)



Trójkątny rozkład sił w szeregach śrub

gdzie:

$F_{tx,Rd}$ - obliczeniowa nośność przy rozciąganiu śrub jednego z wcześniejszych szeregów x, większa od $1,9F_{t,Rd}$

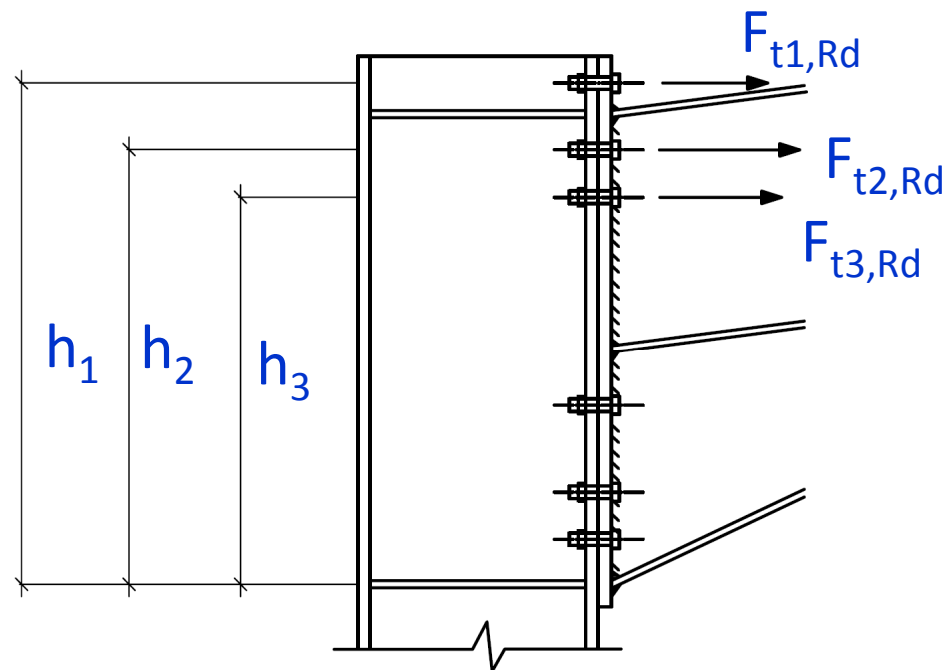
h_x - odległość szeregu x od środka ściskania

h_r - odległość od środka ściskania do rozpatrywanego szeregu śrub

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ZGINANIU

Obliczeniowa nośność węzła przy zginaniu PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 (1)

$$M_{j,Rd} = \sum_r F_{tr,Rd} h_r$$



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

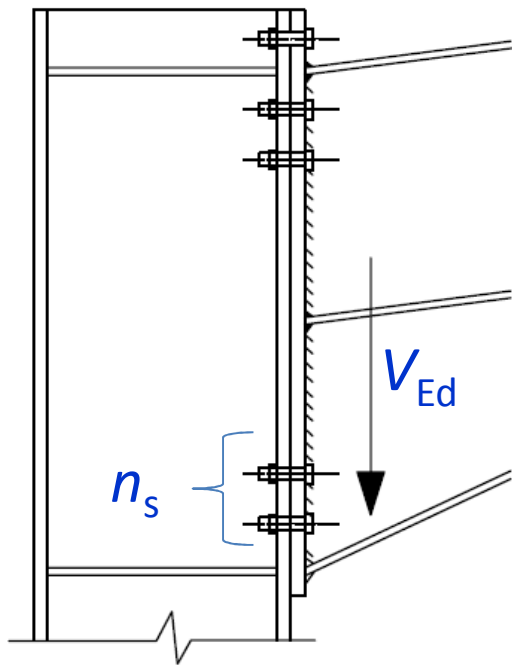
NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU



Program
Uczenie się
przez całe życie

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

- Do przeniesienia siły poprzecznej V_{Ed} są przyjmowane śruby w dolnej części węzła
- 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:

n_s – liczba śrub przenoszących siłę ścinającą
(śruby zlokalizowane w najniższych szeregach)

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

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

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

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

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

- ✓ Gdy płaszczyzna ścinania przechodzi przez gwintowaną część śruby:
 - A jest polem przekroju czynnego śruby A_s
 - dla klas 4.6, 5.6 i 8.8 $\Rightarrow \alpha_v = 0,6$
 - dla klas 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9 $\Rightarrow \alpha_v = 0,5$
- ✓ Gdy płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część śruby:
 - A jest polem przekroju trzpienia śruby
 - $\alpha_v = 0,6$

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

- Nośność obliczeniowa pojedynczej śruby na docisk $F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 Tablica 3.4}$$

gdzie:

α_b jest najmniejszą wartością spośród: α_d , f_{ub}/f_u or 1,0

f_u - wytrzymałość na rozciąganie stali odpowiednio:
blachy czołowej lub pasa słupa

f_{ub} - wytrzymałość na rozciąganie stali śruby

$t = t_p$ gdy rozważany jest docisk trzpienia śruby do blachy czołowej lub

$t = t_{fc}$ gdy rozważany jest docisk trzpienia śruby do pasa słupa

d - średnica śruby

$\gamma_{M2} = 1,25$ - wsp. częściowy do obliczania nośności śrub

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

PN-EN 1993-1-8 Tablica 3.4

➤ Określenie α_d

$$\text{dla śrub skrajnych: } \alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} \quad \text{dla śrub pośrednich: } \alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$$

d_0 - średnica otworu na śrubę

e_1 - odległość czołowa osi otworu śruby od najbliższego brzegu części, mierzona w kierunku obciążenia

p_1 - osiowy rozstaw łączników w szeregu równoległym do kierunku obciążenia

NOŚNOŚĆ WĘZŁA PRZY ŚCINANIU

PN-EN 1993-1-8 Tablica 3.4

➤ Określenie k_1

dla śrub skrajnych:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

dla śrub pośrednich:

$$k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

d_0 - średnica otworu na śrubę

e_2 - odległość boczna osi otworu na śrubę od najbliższego brzegu części, mierzona prostopadle do kierunku obciążenia

p_2 - rozstaw sąsiednich szeregów śrub, mierzony prostopadle do kierunku obciążenia

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH



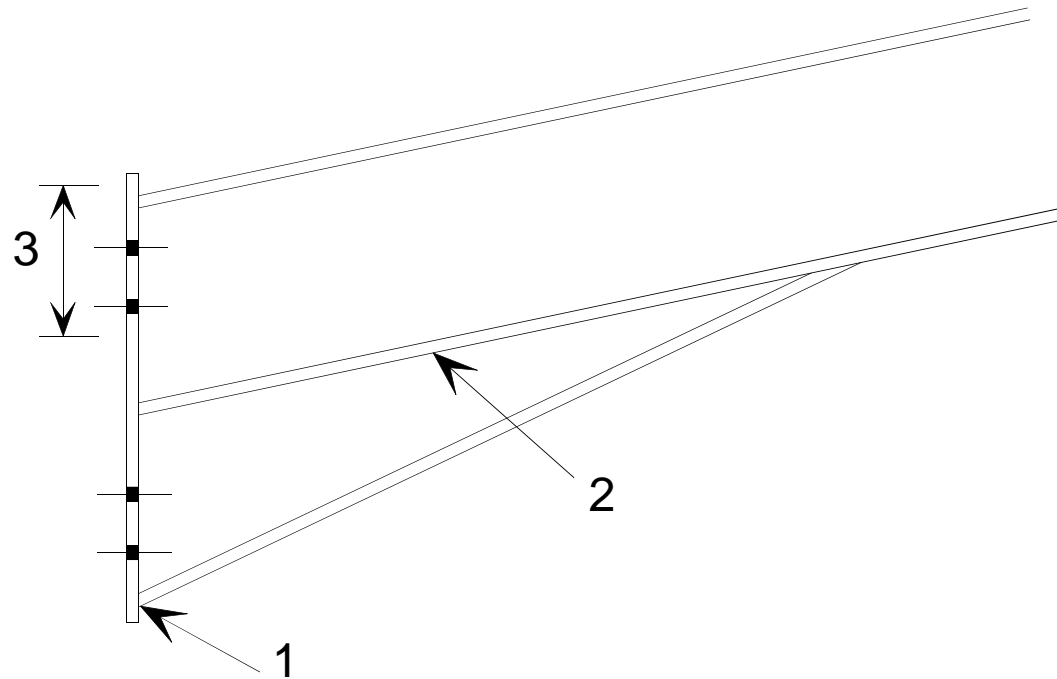
Program
Uczenie się
przez całe życie

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

➤ Wymagania dotyczące projektowania spoin

- ✓ We wszystkich węzłach wymiary spoin powinny być takie, aby nośność złącza spawanego nie decydowała o obliczeniowej nośności węzła przy zginaniu; [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.3\(4\)](#)
- ✓ W częściach składowych węzła poddawanych rozciąganiu wymagane jest wykonanie spoin o pełnej wytrzymałości;
- ✓ Jeżeli połączenie poddawane jest zginaniu momentem o zmiennym znaku (np. ze względu na oddziaływanie wiatru), spoiny w strefie ściskanej muszą przenieść siłę rozciągającą;
- ✓ Należy zapobiegać pęknięciom lamelarnym (wytyczne dotyczące pęknięć lamelarnych podano w PN-EN 1993-1-10).

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH



1. Spoiny nominalne (ale sprawdzone na ewentualną siłę rozciągającą wywołaną momentem o zmiennym znaku)
2. Ciągłe spoiny pachwinowe
3. Spoiny o pełnej nośności

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

➤ Spoiny pasa rozciąganego

- ✓ Spoiny łączące rozciągany pas rygla z blachą czołową muszą być spoinami o pełnej wytrzymałości.
- ✓ Często wykorzystywaną alternatywną praktyką jest projektowanie spoin pasa rozciąganego w oparciu o mniejszą z następujących wartości:
 - nośność pasa przy rozciąganiu równa $b_f t_f f_y$
 - całkowita siła rozciągająca w trzech górnych szeregach śrub, gdy zastosowana jest blacha czołowa wystająca lub w dwóch górnych szeregach śrub, gdy zastosowana jest blacha zlicowana.

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

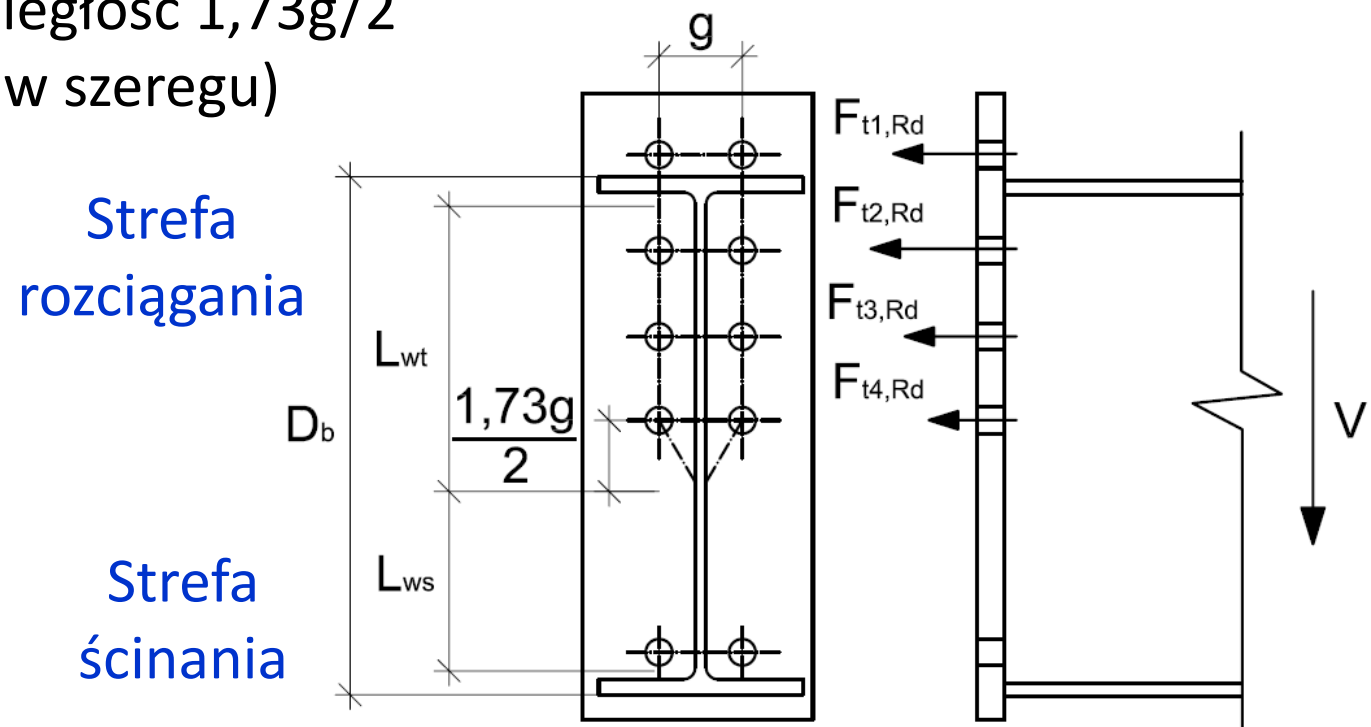
➤ Spoiny pasa ściskanego

- ✓ Gdy pas ściskany ma sfrezowany koniec, można założyć istnienie docisku pomiędzy pasem rygla a blachą czołową i w tym przypadku wystarczy wykonanie nominalnych spoin pachwinowych (zalecane grubości spoin:
 $a = 4 \div 6 \text{ mm}$ dla $t_{fb} \leq 12 \text{ mm}$ lub $a = 6 \div 8 \text{ mm}$ dla $t_{fb} > 12 \text{ mm}$).
- ✓ W przypadku braku zapewnienia pełnego docisku, wówczas spoina musi być zaprojektowana do przeniesienia całej siły ściskającej.
- ✓ W przypadku występowania momentu o zmiennym znaku (np. w kombinacji obciążeń z ssaniem wiatru na połąć dachową), spoiny muszą być zwymiarowane przy uwzględnieniu takiej kombinacji obciążeń.

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

➤ Spoiny środника – strefa rozciągana

- ✓ Zaleca się wykonanie spoin środnika w strefie rozciągania o pełnej wytrzymałości.
- ✓ Spoiny o pełnej wytrzymałości dla środnika w strefie rozciąganej powinny sięgać poniżej dolnego szeregu śrub poddawanych rozciąganiu na odległość $1,73g/2$ (g – rozstaw śrub w szeregu)



PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

➤ Spoiny środka – strefa ścinania

Nośność spoin środka rygla przy działaniu pionowych sił ścinających:

$$P_{sw} = 2 \cdot a \cdot f_{vw,d} \cdot L_{ws}$$

gdzie:

a - grubość spoiny pachwinowej

$f_{vw,d}$ - obliczeniowa wytrzymałość spoin pachwinowych

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{PN-EN 1993-1-8 § 4.5.3.3(3)}$$

L_{ws} - pionowa długość spoin w strefie ścinania (pozostałej części środka nieprzyrzędowanej do strefy rozciągania)

f_u - nominalna wytrzymałość na rozciąganie słabszej z łączonych części

β_w - odpowiedni współczynnik korelacji według Tablicy 4.1.

PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

PN-EN 1993-1-8 Tablica 4.1

➤ Współczynniki korelacji β_w dla spoin pachwinowych

| Norma i gatunek stali | | | Współczynnik korelacji β_w |
|--|-------------------------|---|----------------------------------|
| EN 10025 | EN 10210 | EN 10219 | |
| S 235 S 235 W | S 235 H | S 235 H | 0,8 |
| S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML | S 275 H S 275 NH/NLH | S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH | 0,85 |
| S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W | S 355 H S 355 NH/NLH | S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH | 0,9 |
| S 420 N/NL S 420 M/ML | | S 420 MH/MLH | 1,0 |
| S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1 | S 460 NH/NLH | S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH | 1,0 |

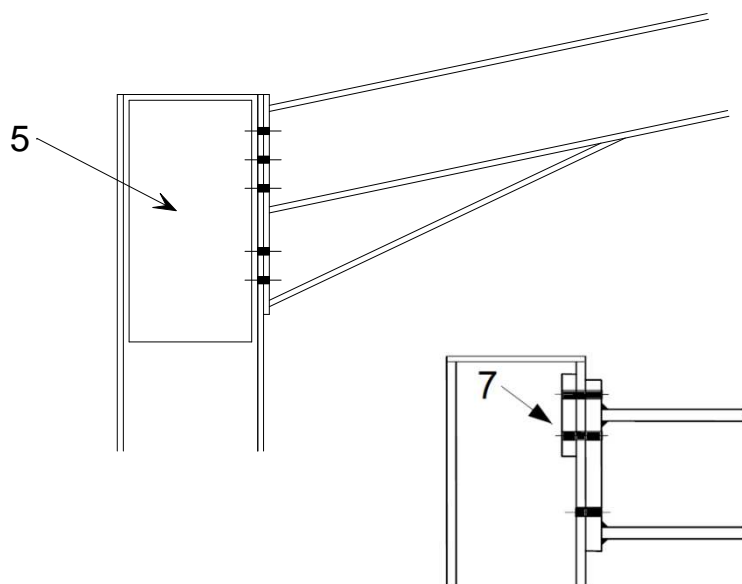
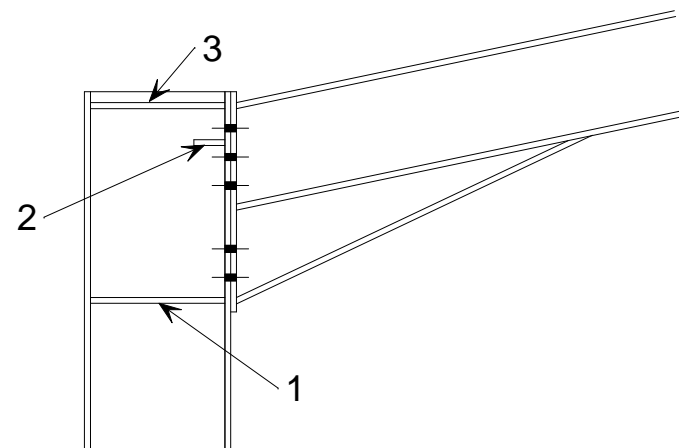
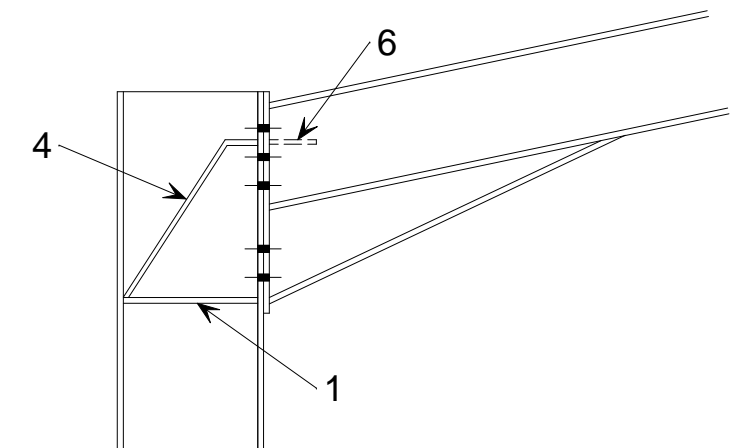
ELEMENTY USZTYWNIAJĄCE WĘZEL



Program
Uczenie się
przez całe życie

ELEMENTY USZTYWNIAJĄCE WĘZŁ

➤ Rodzaje elementów usztywniających węzeł



1. Żebro usztywniające słup w strefie ściskania
2. Żebro usztywniające pas słupa
3. Blacha głowicowa
4. Żebro ukośne
5. Nakładka środniczka
6. Żebro usztywniające blachę czołową
7. Blacha wzmacniająca pas słupa

ELEMENTY USZTYWNIAJĄCE WĘZEL

| Rodzaj elementu usztywniającego | Wpływ | Uwagi |
|--|---|---|
| Żebro usztywniające słup w strefie ściskania | Zwiększa nośność i sztywność słupa przy ściskaniu | Wymagane zazwyczaj w połączeniach ram portalowych |
| Żebro usztywniające pas słupa w strefie rozciągania | Zwiększa nośność pasa słupa przy zginaniu | |
| Żebro ukośne w strefie ścinania | Zwiększa nośność panelu środnika słupa i wzmacnia pas rozciągany | Powszechnie stosowane rozwiązanie - może spowodować bardziej skomplikowane połączenia w płaszczyźnie mniejszej sztywności |
| Nakładka środnika | Zwiększa sztywność i nośność środnika słupa przy ścinaniu i ściskaniu | Połączenia w płaszczyźnie mniejszej sztywności są prostsze. Element wymagający położenia wielu spoin |

ELEMENTY USZTYWNIAJĄCE WĘZEL

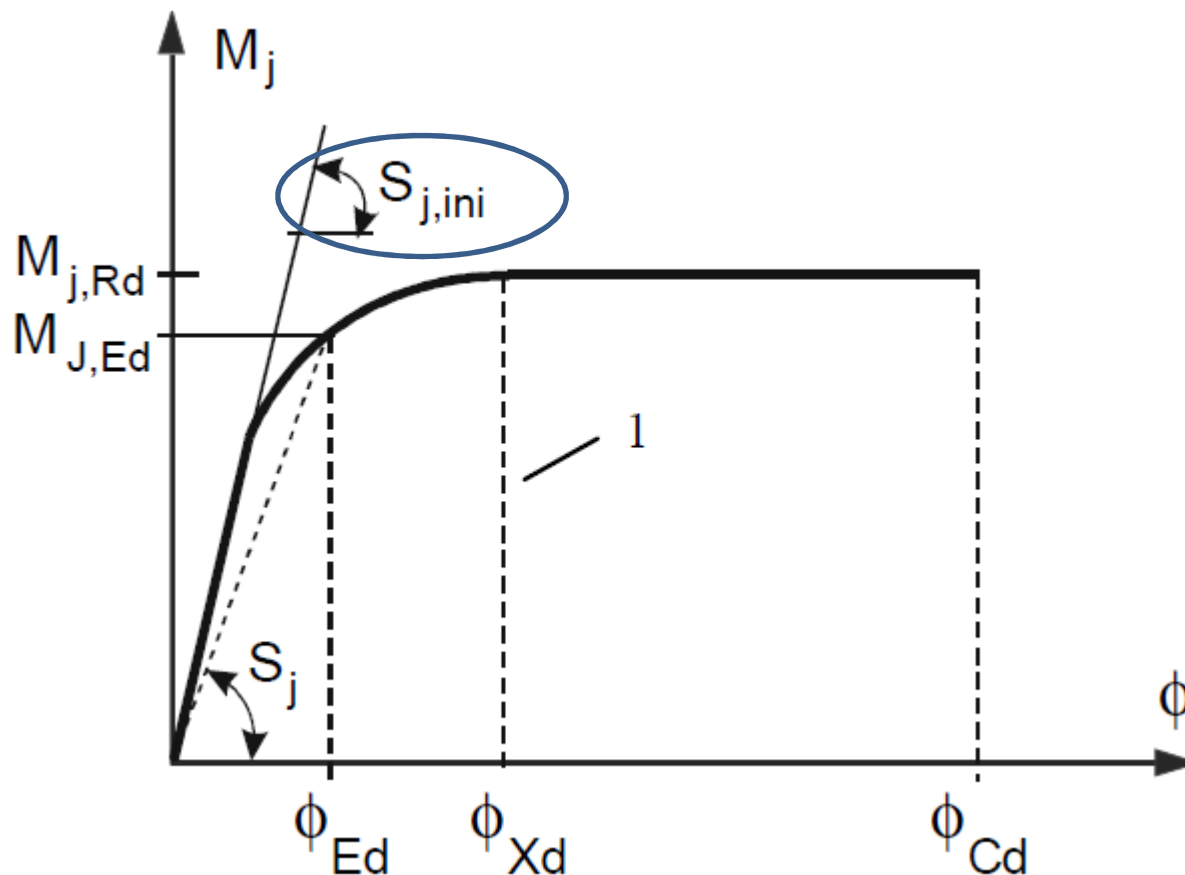
| Rodzaj elementu usztywniającego | Wpływ | Uwagi |
|---|---|--|
| Żebro usztywniające blachę czołową | Zwiększa nośność blachy czołowej przy zginaniu . | Nie zalecane w praktyce; raczej należy zwiększyć grubość blachy. |
| Blacha głowicowa | Zwiększa nośność pasa słupa przy zginaniu oraz nośność przy ściskaniu (w sytuacji działania momentów o zmiennym znaku). | Zwykle montowana w słupie, wyrównywana z górnym pasem rygla. |
| Blacha wzmacniająca pas słupa | Zwiększa nośność pasa słupa przy zginaniu. | Efektywna tylko w przypadku wzmacniania pasa w modelu 1. |

OBLICZENIE SZTYWNOŚCI OBROTOWEJ WĘZŁA



Program
Uczenie się
przez całe życie

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – INFORMACJE OGÓLNE



1 – Zakres S_j

PN-EN 1993-1-8 Rys. 6.1

Obliczeniowa charakterystyka moment-obrót węzła

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – INFORMACJE OGÓLNE

➤ **Granice klasyfikacji węzłów** zależą od:

PN-EN 1993-1-8 § 5.2.2.5

- ✓ początkowej sztywności obrotowej $S_{j,ini}$;
- ✓ momentów bezwładności: rygla I_b i słupa I_c ;
- ✓ rozpiętości rygla L_b i wysokości słupa rozpatrywanej kondygnacji L_c ;
- ✓ współczynnika k_b zależnego od sztywności ramy

gdzie:

$k_b = 8$ w odniesieniu do ram, w których układ stężeń redukuje poziomy przechył co najmniej o 80%

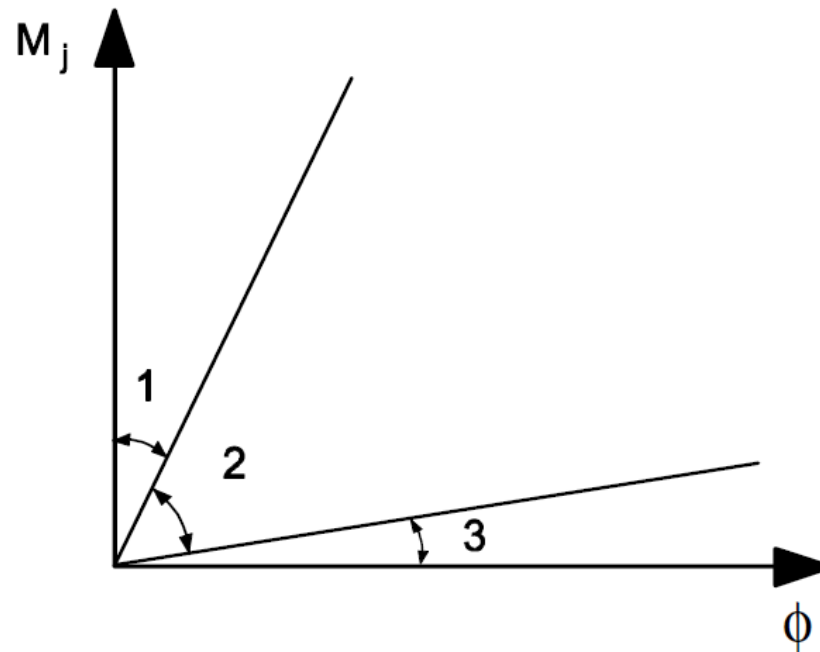
$k_b = 25$ w odniesieniu do innych ram, pod warunkiem, że w każdej kondygnacji $K_b/K_c \geq 0,1$

$$K_b = \frac{EI_b}{L_b} \quad K_c = \frac{EI_c}{L_c}$$

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – INFORMACJE OGÓLNE

Klasyfikacja węzłów ze względu na sztywność:

- Strefa 1: węzły sztywne, jeżeli $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$
- Strefa 2: węzły podatne, jeżeli $0,5EI_b / L_b < S_{j,ini} < k_b EI_b / L_b$
- Strefa 3: węzły nominalnie przegubowe, jeżeli $S_{j,ini} \leq 0,5EI_b / L_b$



SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – SZTYWNOŚĆ POCZĄTKOWA

➤ Sztywność początkowa

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.1(4)

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

gdzie:

E - moduł sprężystości podłużnej stali

z - ramię dźwigni

PN-EN 1993-1-8 § 6.2.7

k_i - współczynnik sztywności i -tej części podstawowej węzła

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

➤ **Współczynniki sztywności składników węzła** PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.10

| Współczynnik sztywności | Część podstawowa węzła |
|-------------------------|--|
| k_1 | Panel środka 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 |

Wartości poszczególnych współczynników sztywności są określone w:

PN-EN 1993-1-8 Tablica 6.11

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

- **Nieuzębrowany panel środka w warunkach ścinania**

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

- **Uzębrowany panel środka w warunkach ścinania**
(usztynwiony zębem ukośnym)

$$k_1 = \infty$$

z - ramię dźwigni

β - parametr transformacji

PN-EN 1993-1-8 § 5.3(7)

(w przypadku węzłów jednostronnych $\beta = 1$)

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

- **Nieuźebrowany środek słupa w strefie ściskania**

$$k_2 = \frac{0,7b_{\text{eff,c,wc}}t_{\text{wc}}}{d_c}$$

- **Uźebrowany środek słupa w strefie ściskania**
(usztywniony żebrami poprzecznymi)

$$k_2 = \infty$$

$b_{\text{eff,c,wc}}$ - szerokość efektywna [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.2](#)

t_{wc} - grubość środnika słupa

d_c - wysokość środnika w świetle pasów

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

➤ Środek słupa w strefie rozciągania

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

(dla pojedynczego szeregu śrub w strefie rozciągania)

$$k_3 = \frac{0,7b_{\text{eff,t,wc}}t_{\text{wc}}}{d_c}$$

$b_{\text{eff,t,wc}}$ - szerokość efektywna środka słupa przy rozciąganiu (dla pojedynczego szeregu śrub w strefie rozciągania); przyjmuje się równą najmniejszej dla tego szeregu długości efektywnej l_{eff} (rozpatrywanego indywidualnie lub jako część grupy szeregów) na podstawie:

- ✓ PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 i Tablicy 6.4 gdy pas słupa jest nieuzębrowany
- ✓ PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 i Tablicy 6.5 gdy pas słupa jest uzebrowany

t_{wc} - grubość środka słupa

d_c - wysokość środka w świetle pasów

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

➤ Pas słupa zginany w strefie rozciągania

(dla pojedynczego szeregu śrub w strefie rozciągania)

$$k_4 = \frac{0,9 I_{\text{eff}} t_{\text{fc}}^3}{m^3}$$

I_{eff} najmniejsza dla danego szeregu długość efektywna I_{eff}
(rozpatrywanego indywidualnie lub jako część grupy szeregów)
obliczana na podstawie:

- ✓ PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 Tablica 6.4 gdy pas słupa jest nieuzębrowany
- ✓ PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 Tablica 6.5 gdy pas słupa jest uzebrowany

t_{fc} - grubość pasa słupa

m - jak określono na rys. 6.8 PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.4

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

- **Blacha czołowa zginana w strefie rozciągania**
(dla pojedynczego szeregu śrub w strefie rozciągania)

$$k_5 = \frac{0,9 I_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$$

I_{eff} najmniejsza dla tego szeregu długość efektywna I_{eff} (rozpatrywanego indywidualnie lub jako część grupy szeregów) na podstawie [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tablica 6.6](#)

t_p - grubość blachy czołowej

m - jak określono na [rys. 6.10 i 6.11](#) (gdzie $m = m_x$ przy szeregu w części wystającej blachy) [PN-EN 1993-1-8 § 6.2.6.5](#)

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – CZĘŚCI PODSTAWOWE

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.2

➤ Śruby rozciągane

(dla pojedynczego szeregu śrub w strefie rozciągania)

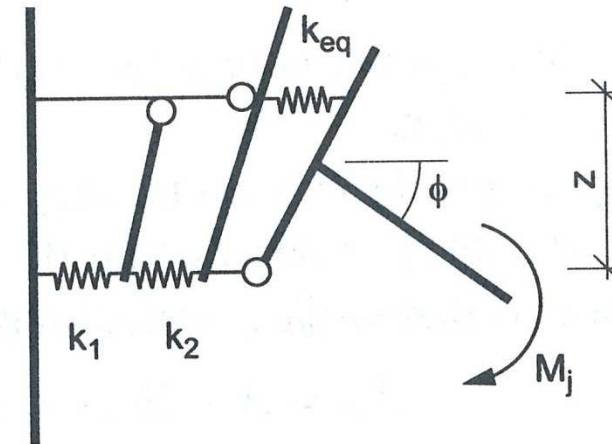
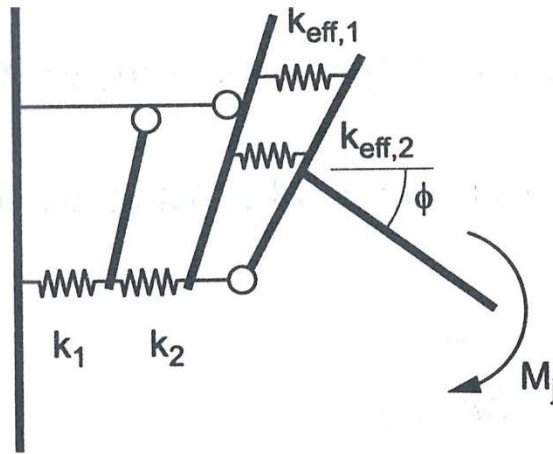
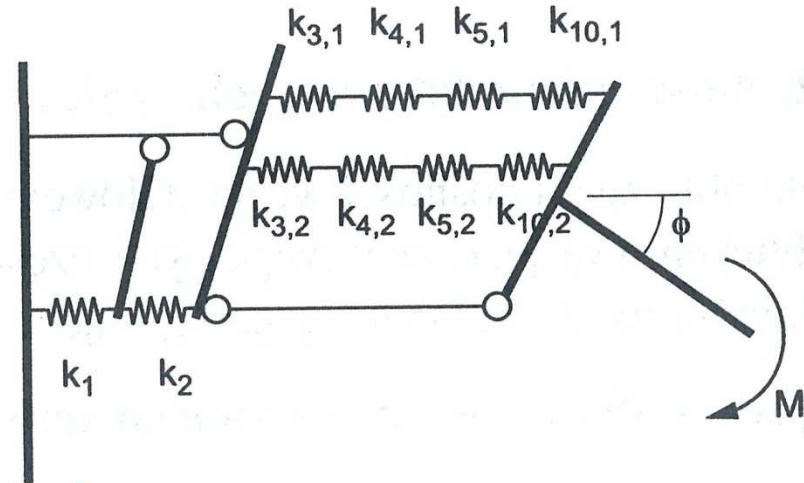
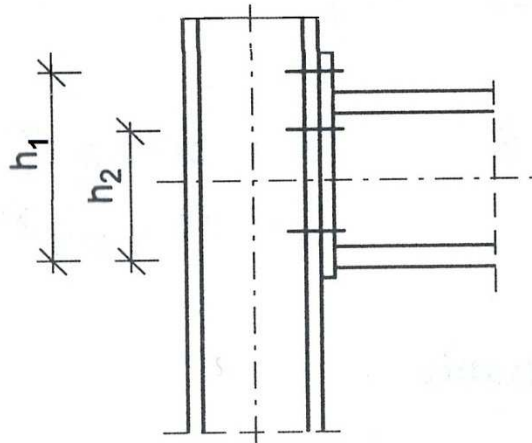
$$k_{10} = \frac{1,6A_s}{L_b}$$

A_s - pole przekroju czynnego śruby przy rozciąganiu

L_b - baza wydłużalności śruby, równa długości skleszczenia (tzn. sumarycznej grubości materiału i podkładek), oraz połowie sumy grubości łba śruby i grubości nakrętki)

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – METODA OGÓLNA

➤ Model sprężynowy wielorubowego węzła doczołowego



SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – METODA OGÓLNA

➤ Sztywność początkowa

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}}}$$

PN-EN 1993-1-8 § 6.3.3

k_{eq} - zastępczy współczynnik sztywności

h_r - odległość szeregu śrub r od środka ściskania

$k_{eff,r}$ - efektywny współczynnik sztywności szeregu r , uwzględniający współczynniki sztywności k_i części podstawowych

z_{eq} - zastępcze ramię dźwigni

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}}$$

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}}$$

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r}$$

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – METODA OGÓLNA

EN 1993-1-8 § 6.3.3.1(4)

W przypadku węzła rygla ze słupem i połączeń z blachą czołową, zastępczy współczynnik sztywności k_{eq} wyznacza się, uwzględniając (i zastępując) współczynnik sztywności k_i następujących części:

- środnika słupa przy rozciąganiu (k_3)
- pasa słupa przy zginaniu (k_4)
- blachy czołowej przy zginaniu (k_5)
- śrub rozciąganych (k_{10})

SZTYWNOŚĆ OBROTOWA WĘZŁA – METODA OGÓLNA

EN 1993-1-8 § 6.3.3.1(4)

W przypadku śrubowego styku belki z blachami czołowymi zastępczy współczynnik sztywności k_{eq} wyznacza się, uwzględniając (i zastępując) współczynnik sztywności k_i następujących części:

- blach czołowych przy zginaniu (k_5)
- śrub rozciąganych (k_{10})

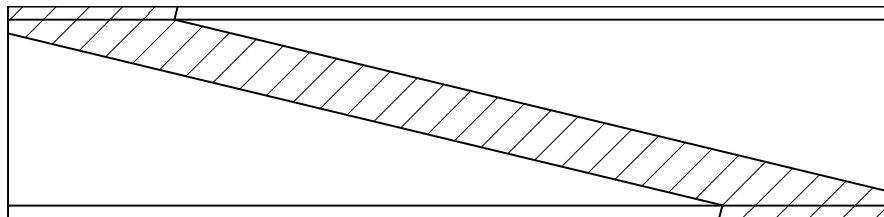
ZALECENIA PRAKTYCZNE



Program
Uczenie się
przez całe życie

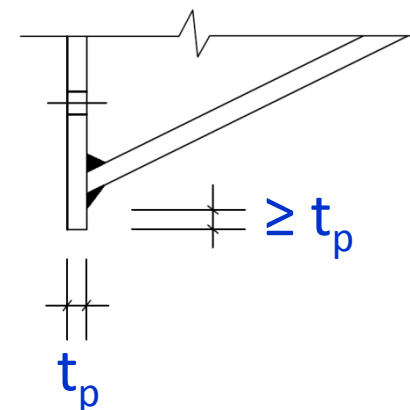
ZALECENIA PRAKTYCZNE – SKOS WĘZŁA OKAPOWEGO

- Dodatkowy trójkątny wycinek przyspawany pod rygłem przy połączeniu ze słupem;
- Długość wycinka – około 10% rozpiętości (lub do 15% rozpiętości przy efektywnym projektowaniu sprężystym);
- Skos wycina się zazwyczaj z tego samego kształtownika, z którego wykonany jest rygiel lub też z kształtownika wyższego albo wykonuje się z blachy;
- Wytwarzanie pary wycinków na skosy:



ZALECENIA PRAKTYCZNE – BLACHA CZOŁOWA

- Zazwyczaj wytwarza się ze stali S275 lub S235;
- W przypadku śrub klasy 8.8 i stali S275, grubość blachy czołowej powinna być w przybliżeniu równa średnicy śruby;
- Blacha czołowa powinna być szersza od kształtownika rygla, aby możliwe było wykonanie spoiny wokół pasów oraz powinna wystawać powyżej i poniżej kształtownika ze skosem, aby możliwe było wykonanie spoin pachwinowych;
- W strefie ściskania, powinna wystawać poniżej spoiny pachwinowej na odległość równą co najmniej grubości blachy t_p , aby maksymalnie zwiększyć długość docisku przy weryfikacji słupa poddawanego ściskaniu.

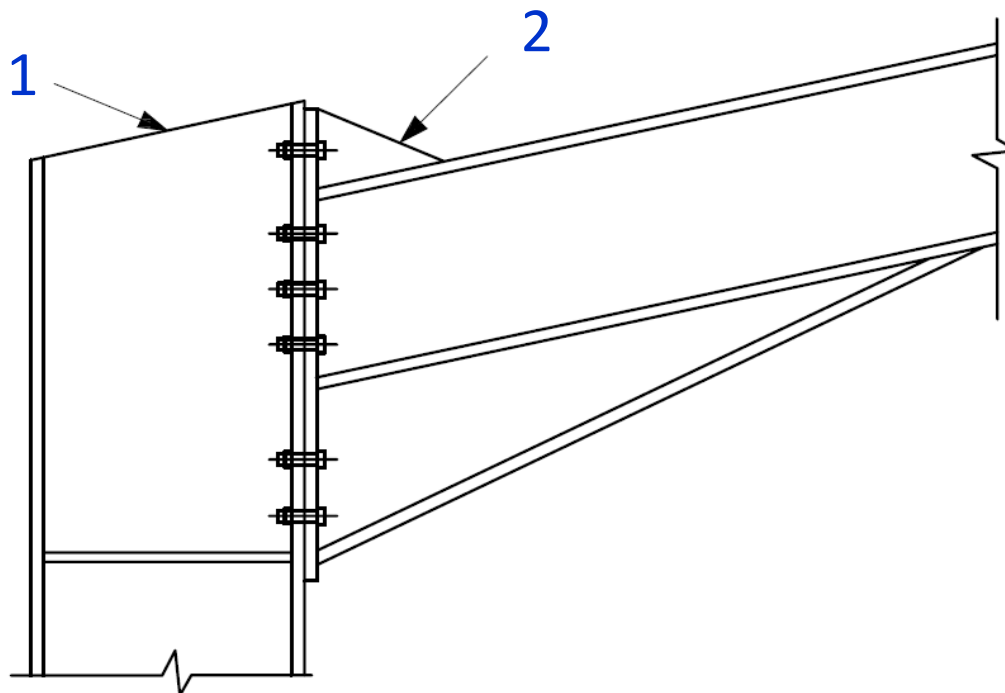


ZALECENIA PRAKTYCZNE – ŻEBRA USZTYWNIAJĄCE

- Zazwyczaj wykorzystywane są żebra poprzeczne usztywniające ściskaną część słupa, jeśli to możliwe, należy unikać innych elementów usztywniających;
- Elementy usztywniające pas słupa wykorzystuje się w celu zwiększenia nośności węzła;
- Zwiększoną nośność można również uzyskać poprzez:
 - ✓ zastosowanie większej liczby szeregów śrub,
 - ✓ zwiększenie wysokości skosu,
 - ✓ zwiększenie ciężaru kształtownika słupa,
 - ✓ wydłużenie blachy czołowej powyżej górnej krawędzi rygla.

ZALECENIA PRAKTYCZNE – WYSTAJĄCA BLACHA CZOŁOWA

- Przykład węzła z wystającą blachą czołową:



1. Wystająca część słupa – może być wymagane skośne cięcie
2. Żebro wzmacniające część wystającą blachy czołowej

ZALECENIA PRAKTYCZNE – ŚRUBY

- Generalnie w węzłach ramowych wykorzystuje się śruby M20 lub M24, klasy 8.8 lub 10.9;
- Śruby powinny mieć pełen gwint (te same śruby można wykorzystać w całym budynku);
- Zazwyczaj są rozstawione w szeregu w odległości 90 lub 100 mm;
- Pionowe rozstawy między szeregami śrub są zazwyczaj przyjmowane od 70 do 90 mm;
- W węzłach ram portalowych nie jest wymagane wykorzystywanie śrub sprężanych, ale w przypadku obciążeń cyklicznych (ze względu na zmęczenie), lepiej zastosować śruby sprężane. Zastosowanie śrub sprężanych jest konieczne przy projektowaniu ze względu na specyficzne warunki sejsmiczne według Eurokodu 8.

ZALECENIA PRAKTYCZNE – SPOINY

- Spoina łącząca rozciągany pas rygla z blachą czołową:

$$a_f \geq t_{fb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right)$$

- Spoina łącząca środnik rygla z blachą czołową:

$$a_w \geq t_{wb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right)$$

gdzie:

a_f - grubość spoiny łączącej pas

a_w - grubość spoiny łączącej środnik

β_w - współczynnik korelacji [PN-EN 1993-1-8 Tablica 4.1](#)

f_y - granica plastyczności stali rygla

f_u - nominalna wytrzymałość na rozciąganie słabszej z łączonych części

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

PODSUMOWANIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

PODSUMOWANIE

- **Omówiono węzły z doczołowymi połączeniami śrubowymi w konstrukcjach ramowych stalowych budynków parterowych.**
- **Przedstawiono szczegółową procedurę projektowania węzłów okapowych.**
- **W przypadku węzłów kalenicowych (i styków pośrednich) można zastosować tę samą procedurę jak dla węzłów okapowych, pomijając składniki słupa, jak również uwzględniając strefę rozciągania w dolnej, a strefę ściskania w górnej części węzła.**
- **Zaproponowano odpowiednie zalecenia praktyczne dotyczące szczegółów konstrukcyjnych węzłów ramowych.**

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
- ArcelorMittal „Design Manuals for Steel Buildings in Europe”
- Access Steel, NCCI „Design of portal frame eaves connections”
SN041a-EN-EU
- The Steel Construction Institute and The British Constructional
Steelwork Association Ltd. „Joints in Steel Construction –
Moment Connections”, P207/95



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.

