



Program Uczenie się przez całe życie

Projekt SKILLS



KRATOWNICE – CZĘŚĆ 2



Program
Uczenie się
przez całe życie

OMAWIANE ZAGADNIENIA

- **Przykład obliczeniowy dotyczy kratownicy o dużej rozpiętości podpierającej dach hali za pośrednictwem płatwi kratownicowych**
- **Obliczenia zawierają:**
 - ✓ **Analizę globalną**
 - ✓ **Wymiarowanie prętów**
 - ✓ **Wymiarowanie połączeń**

SPIS TREŚCI

- **Wprowadzenie**
- **Analiza globalna**
- **Projektowanie prętów**
 - ✓ Pas górny ściskany i zginany
 - ✓ Krzyżulec ściskany
 - ✓ Pas dolny rozciągany i zginany
 - ✓ Krzyżulec rozciągany
- **Projektowanie połączeń**
 - ✓ Połączenie ciągłe pasa
 - ✓ Połączenie skratowania z pasem
- **Podsumowanie**

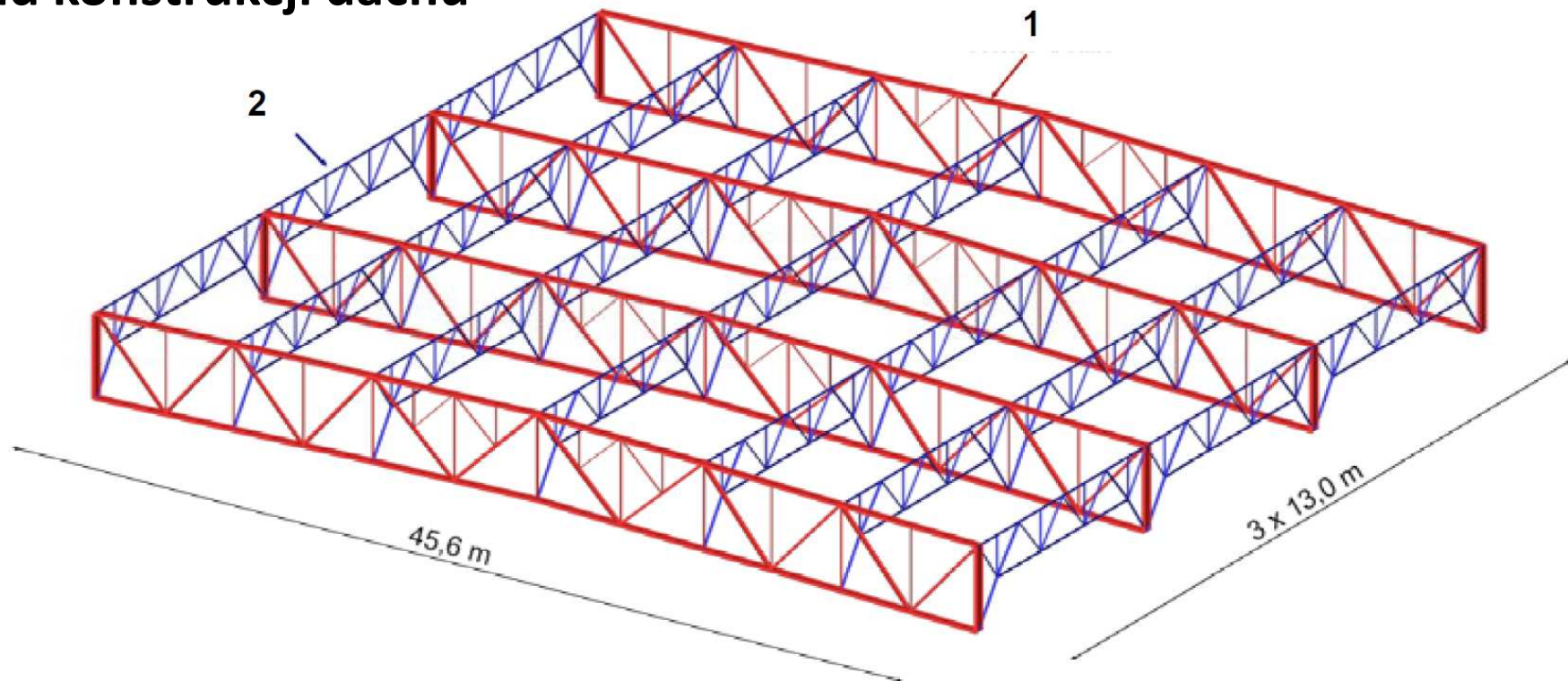
WPROWADZENIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

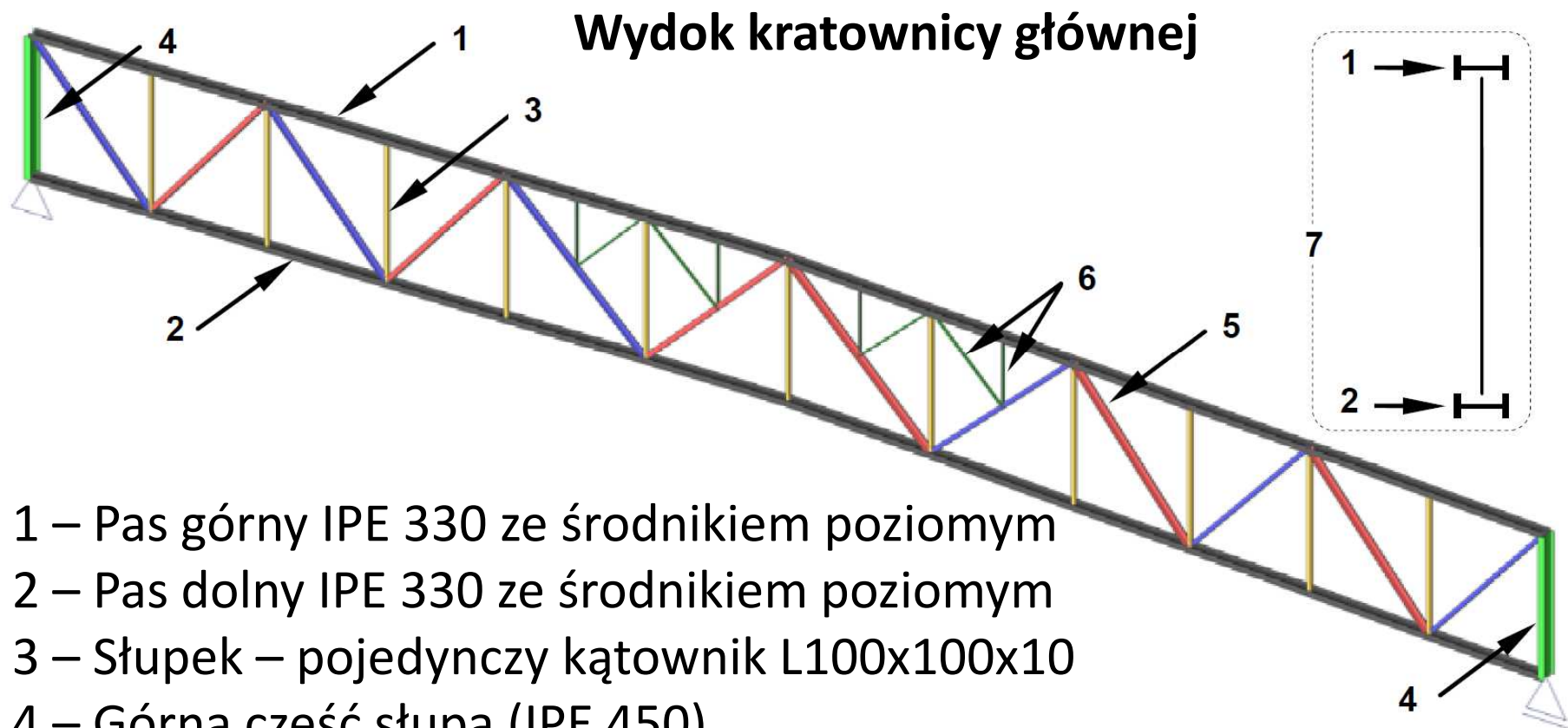
PRZYKŁAD OBLICZENIOWY – GEOMETRIA

Układ konstrukcji dachu



- 1 – Kratownica główna (rozpiętość 45,6m; swobodnie podparta na głowicach słupów)
- 2 – Płatew kratownicowa (płatwie zapewniają efektywne podparcie boczne głównych kratownic)
- Dach dwuspadowy o nachyleniu 3%;
- Pasy kratownicy głównej są równoległe;
- Wysokość kratownicy głównej jest równa 4,0m.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY – GEOMETRIA



1 – Pas górny IPE 330 ze średnikiem poziomym

2 – Pas dolny IPE 330 ze średnikiem poziomym

3 – Słupek – pojedynczy kątownik L100x100x10

4 – Górna część słupa (IPE 450)

5 – Krzyżulce – dwa kątowniki połączone przewiązkami: 2L150x150x15

- krzyżulce rozciągane pod obciążeniem grawitacyjnym (zaznaczone na niebiesko)

- krzyżulce ściskane pod obciążeniem grawitacyjnym (zaznaczone na czerwono)

6 – Skratowanie drugorzędne

7 – Przekrój poprzeczny

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY – WŁAŚCIWOŚCI PRZEKROJÓW

➤ Stal **S355** (dla całej kratownicy)

Granica plastyczności $f_y = 355\text{N/mm}^2$, Wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 510\text{N/mm}^2$

➤ Pasy - **IPE 330**

wysokość przekroju: $h = 330\text{mm}$, szerokość pasa: $b = 160\text{mm}$

Grubość środnika: $t_w = 7,5\text{mm}$, grubość pasa: $t_f = 11,5\text{mm}$

Promień wyokrąglenia: $r = 18\text{mm}$, pole przekroju: $A = 62,6\text{cm}^2$

Momenty bezwładności: $I_y = 11770\text{cm}^4$ $I_z = 788\text{cm}^4$

Plastyczny wskaźnik przekroju: $W_{pl,z} = 153,7\text{cm}^3$

Sprężysty wskaźnik przekroju: $W_{el,z} = 98,5\text{cm}^3$

➤ Krzyżulce - **2 L150x150x15**

Dla pojedynczego kątownika: $A_1 = 43\text{cm}^2$ $I_y = I_z = 898,1\text{cm}^4$ $I_v = 369\text{cm}^4$
 $y_G = z_G = 4,25\text{cm}$ $i_{\min} = 29,3\text{mm}$

Właściwości pary kątowników; odstęp pomiędzy kątownikami: 15mm

(założono przekrój homogeniczny) $A = 2 \times 43 = 86\text{cm}^2$

$$J_z = 2 \times 898,1 = 1796\text{cm}^4 \quad J_y = 2 \times 898,1 + 2 \times 43 \times \left(4,25 + \frac{1,5}{2}\right)^2 = 3946\text{cm}^4$$

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY – POŁĄCZENIA

Modelowanie węzłów:

- Kratownica swobodnie podparta na słupach;
- Ciągły pas (pręty pasów sztywno połączone na obu końcach);
- Pręty skratowania (krzyżulce i słupki) przegubowo połączone z pasami.

Szczegóły konstrukcyjne:

- Krzyżulce i słupki na obu końcach połączone za pomocą śrub do blach węzłowych, przyspawanych do środków pasów IPE 330, ustawionych poziomo;
- Każdy pas składa się z dwóch części;
- Kratownica zawiera kilka typów węzłów: śrubowy styk montażowy z nakładkami, węzły typu T i KT;
- Połączenia śrubowe kategorii C.

ANALIZA GLOBALNA

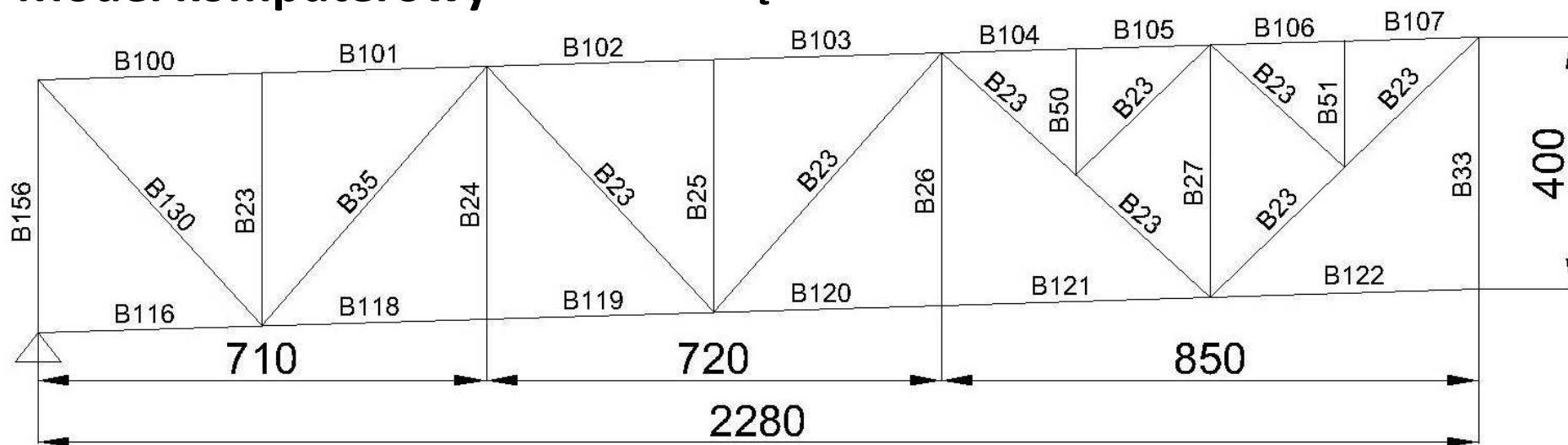


Program
Uczenie się
przez całe życie

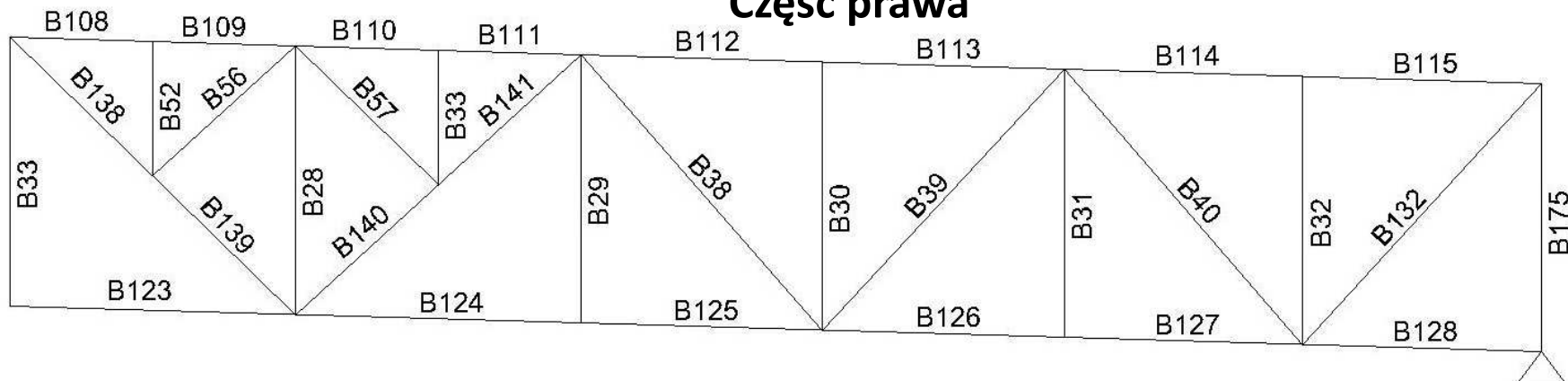
ANALIZA GLOBALNA – MODELOWANIE

Model komputerowy

Część lewa

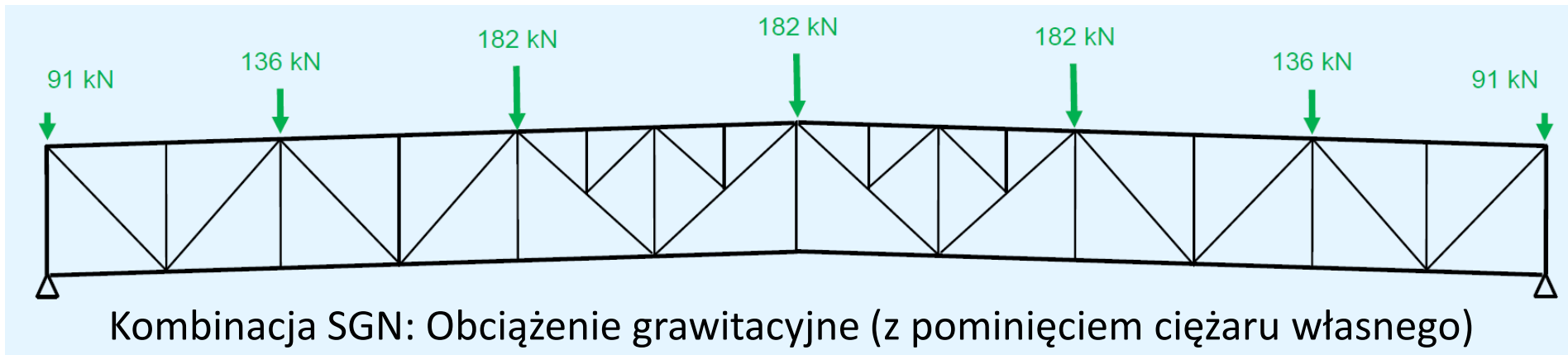


Część prawa



ANALIZA GLOBALNA – KOMBINACJE OBCIĄŻEŃ

Do wymiarowania kratownicy wykorzystano schemat z obciążeniami grawitacyjnymi. Obciążenia odpowiadają kombinacji oddziaływań, określonej według normy EN 1990 do weryfikacji ze względu na stan graniczny nośności (SGN).



WYMIAROWANIE PRĘTÓW



Program
Uczenie się
przez całe życie

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

➤ Wybór miarodajnego pręta pasa górnego

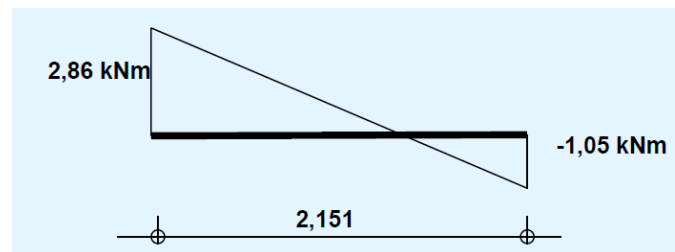
Pręt o maksymalnej wartości siły podłużnej:
element B107 (przylegający do środka rozpiętości)

➤ Siły wewnętrzne

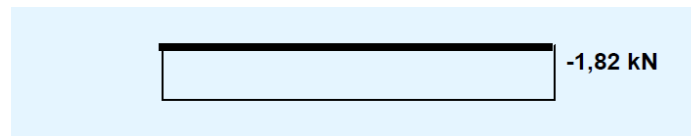
Kombinacja SGN (Obciążenie grawitacyjne)

Siłą podłużną $N_{Ed} = -1477$ kN

Moment zginający M_{Ed}



Siła poprzeczna V_{Ed}



PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

➤ Klasa przekroju pasa górnego

Parametr materiałowy:
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Dla uproszczenia można rozpatrywać jako ściskany równomiernie, nawet jeżeli jest poddawany łącznemu oddziaływaniu siły osiowej i momentu zginającego.

Pas ściskany sklasyfikowano jako wspornikowa część pasów

$$\frac{c}{t} = \frac{58,25}{11,5} = 5,1 < 9\varepsilon = 7,29 \Rightarrow \text{pas jest klasy 1}$$

EN 1993-1-1 Tablica 5.2
Arkusze 2

Środek sklasyfikowano jako wewnętrzną część ściskaną

$$\frac{c}{t} = \frac{271}{7,5} = 36,1 > 42\varepsilon = 34,02 \Rightarrow \text{Środek jest klasy 4}$$

EN 1993-1-1 Tablica 5.2
Arkusze 1

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Efektywne właściwości przekroju poprzecznego

- Efektywne pole powierzchni A_{eff} obliczono z uwzględnieniem czystego ściskania.
- ✓ Pasy należą do klasy 1, więc są w pełni efektywne.
- ✓ Szerokość efektywna środnika zgodna z EN 1993-1-5 (Tablica 4.1):

$$\psi = 1 \Rightarrow k_{\sigma} = 4$$
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{b}{t}}{28,4\varepsilon\sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{\frac{271}{7,5}}{28,4 \times 0,81 \times \sqrt{4}} = 0,782 > 0,673$$
$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,782 - 0,055(3 + 1)}{0,782^2} = 0,919$$

$$b_{\text{eff}} = 0,919 \times 271 = 249\text{mm} \Rightarrow b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \times 249 = 124,5\text{mm}$$

Efektywne pole powierzchni przekroju: $A_{\text{eff}} = 6260 - (271 - 249) \times 7,5 = 6095\text{mm}^2$

- Efektywny sprężysty wskaźnik wytrzymałości względem osi mniejszej bezwładności ($W_{\text{eff},z}$) obliczono dla czystego zginania. Pasy są klasy 1, a środek nie podlega naprężeniom $\Rightarrow W_{\text{eff},z} = W_{\text{el},z} = 98,5\text{ cm}^3$

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Nośność przekroju

➤ na ściskanie:

EN 1993-1-1 § 6.2.4

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6095 \times 0,355}{1,0} = 2164 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1477}{2164} = 0,683 < 1$$

➤ na zginanie w płaszczyźnie kratownicy:

EN 1993-1-1 § 6.2.5

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{eff,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{98,5 \times 0,355}{1,0} = 34,97 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,86}{34,97} = 0,082 < 1$$

➤ na ścinanie:

EN 1993-1-1 § 6.2.6

$$A_{v,y} = 2 \times 160 \times 11,5 = 3680 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,y} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3680 \times \frac{0,355}{\sqrt{3}}}{1,0} = 754 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1,82}{754} = 0,002 < 1$$

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Interakcje nośności przekroju

➤ Wpływ siły podłużnej

EN 1993-1-1 § 6.2.10

Ponieważ $V_{Ed} < 0,5V_{c,Rd}$, to siła ścinająca nie wpływa na nośność przekroju przy zginaniu z siłą podłużną.

➤ Interakcja M-N

EN 1993-1-1 § 6.2.9

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$0,683 + 0,082 = 0,765 < 1$$

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Nośność elementu na wyboczenie

EN 1993-1-1 § 6.3.1

➤ W płaszczyźnie kratownicy (względem osi mniejszej bezwładności):

✓ Długość wyboczeniowa pręta pasa górnego:

$$L_{cr,z} = 0,9L = 0,9 \times 2151 = 1936 \text{ mm}$$

✓ Siła krytyczna przy wyboczeniu sprężystym:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 788}{193,6^2} = 4357 \text{ kN}$$

✓ Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6095 \times 0,355}{4357}} = 0,705$$

✓ Krzywa wyboczeniowa: dla IPE (ze stali S355) względem osi z

$\left. \begin{array}{l} h/b > 1,2 \\ t_f < 40 \text{ mm} \end{array} \right\} \rightarrow$ krzywa wyboczeniowa b \Rightarrow parametr imperfekcji $\alpha = 0,34$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.2

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.1

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Nośność elementu na wyboczenie

EN 1993-1-1 § 6.3.1

- ✓ Współczynnik redukcyjny przy wyboczeniu w płaszczyźnie kratownicy:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \leq 1$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5[1 + 0,34(0,705 - 0,2) + 0,705^2] = 0,834$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,834 + \sqrt{0,834^2 - 0,705^2}} = 0,781 < 1$$

- ✓ Nośność na wyboczenie:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,781 \times 6095 \times 0,355}{1,0} = 1690 \text{ kN}$$

- ✓ Sprawdzenie nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1477}{1690} = 0,874 < 1$$

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Nośność elementu na wyboczenie

EN 1993-1-1 § 6.3.1

➤ Z płaszczyzny kratownicy (względem osi większej bezwładności):

✓ Odległość między bocznymi podporami (płatwie kratowe): $L_c = 8504\text{mm}$

✓ Długość wyboczeniowa pręta pasa górnego:

$$L_{cr,y} = 1,0L_s = 1,0 \times 8504 = 8504\text{mm}$$

✓ Siła krytyczna przy wyboczeniu sprężystym :

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 11770}{850,4^2} = 3373\text{kN}$$

✓ Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6095 \times 0,355}{3373}} = 0,801$$

✓ Krzywa wyboczeniowa: dla IPE (ze stali S355) względem osi y

$\left. \begin{array}{l} h/b > 1,2 \\ t_f < 40\text{mm} \end{array} \right\} \rightarrow$ krzywa wyboczeniowa a \Rightarrow parametr imperfekcji $\alpha = 0,21$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.2

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.1

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Nośność elementu na wyboczenie

EN 1993-1-1 § 6.3.1

- ✓ Współczynnik redukcyjny przy wyboczeniu z płaszczyzny kratownicy:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \leq 1$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5[1 + 0,21(0,801 - 0,2) + 0,801^2] = 0,884$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,884 + \sqrt{0,884^2 - 0,801^2}} = 0,795 < 1$$

- ✓ Nośność na wyboczenie:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,795 \times 6095 \times 0,355}{1,0} = 1720 \text{ kN}$$

- ✓ Sprawdzenie nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{1477}{1720} = 0,859 < 1$$

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Weryfikacja nośności interakcyjnej pasa górnego

EN 1993-1-1 § 6.3.3

- W przypadku elementu poddawanego zginaniu względem osi mniejszej bezwładności (nie ma zginania względem osi większej bezwładności) nie ma potrzeby rozpatrywania nośności przy zwichrzeniu. Kryteria interakcyjne mają postać:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y A_{eff} f_y} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z} f_y}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z A_{eff} f_y} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{W_{eff,z} f_y}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

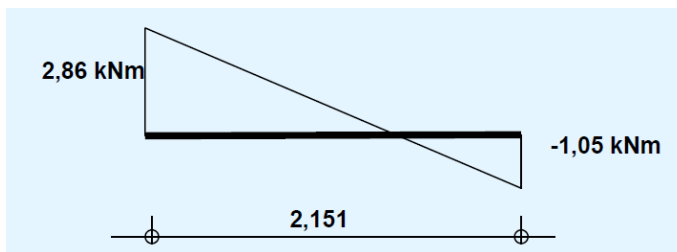
- Współczynniki interakcji k_{yz} i k_{zz} zostały obliczone według [Załącznika B PN-EN 1993-1-1](#), dla przekroju dwuteowego klasy 4 (Zalecenie wyboru tej procedury podaje Załącznik krajowy do normy PN-EN 1993-1-1).

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

➤ Wyznaczenie współczynników interakcji k_{yz} i k_{zz}

Załącznik B
PN-EN 1993-1-1

- ✓ Gdy element nie jest wrażliwy na deformacje skrętne, to do określania współczynników interakcji wykorzystano [Tabelicę B.1](#)
PN-EN 1993-1-1
- ✓ Do wyznaczenia współczynników interakcji potrzebna jest wartość współczynnika równoważnego stałego momentu C_{mz} , którą należy określić na podstawie rozkładu momentów z [Tabelicy B.3](#)
PN-EN 1993-1-1



$$\psi = \frac{-1,05}{2,86} = -0,367$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 - 0,4 \times 0,367 = 0,45 > 0,4 \Rightarrow C_{mz} = 0,45$$

✓ Współczynnik interakcji k_{zz}

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0,6 \times \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

PAS GÓRNY ŚCISKANY I ZGINANY

Załącznik B
PN-EN 1993-1-1

➤ Wyznaczenie współczynników interakcji k_{yz} i k_{zz}

✓ Współczynnik interakcji k_{zz} (ciąg dalszy)

$$k_{zz} = 0,45 \left(1 + 0,6 \times 0,705 \frac{1477}{0,781 \times 2164 / 1,0} \right) = 0,62$$

$$k_{zz} = 0,62 \leq 0,45 \left(1 + 0,6 \frac{1477}{0,781 \times 2164 / 1,0} \right) = 0,69 \Rightarrow k_{zz} = 0,62$$

✓ Współczynnik interakcji k_{yz}

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,62$$

➤ Sprawdzenie nośności interakcyjnej:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1477}{1720} + 0,62 \frac{2,86}{34,97} = 0,91 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1477}{1690} + 0,62 \frac{2,86}{34,97} = 0,93 < 1$$

KRZYŻULEC ŚCISKANY

➤ **Wybór miarodajnego krzyżulca**

Krzyżulec z największą siłą ściskającą:

element B40 (drugi krzyżulec od prawej podpory)

➤ **Siły wewnętrzne**

Kombinacja SGN (Obciążenie grawitacyjne)

$$N_{Ed} = -624,4 \text{ kN}$$

Zgodnie z powszechną praktyką, moment zginający wywołany ciężarem własnym pręta jest pomijany.

KRZYŻULEC ŚCISKANY

➤ Klasa przekroju równomiernie ściskanego

Stal S355 => $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $\varepsilon = 0,81$

Dla kątownika: $\frac{h}{t} = \frac{150}{15} = 10 < 15\varepsilon = 12,15$ EN 1993-1-1 Tablica 5.2 Arkusz 3

$$\frac{h+b}{2t} = \frac{2 \times 150}{2 \times 15} = 10 > 11,5\varepsilon = 9,31 \quad \Rightarrow \text{przekrój jest klasy 4}$$

W związku z tym może nie być to przekrój w pełni efektywny przy równomiernym ściskaniu.

Przekrój efektywny powinien być obliczony zgodnie z EN 1993-1-5.

Rezultatem tych obliczeń jest przekrój w pełni efektywny:

$$A_{\text{eff}} = A = 86 \text{ cm}^2$$

➤ Nośność przekroju na ściskanie:

EN 1993-1-1 § 6.2.4

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8600 \times 0,355}{1,0} = 3053 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{624,4}{3053} = 0,204 < 1$$

KRZYŻULEC ŚCISKANY

➤ Nośność na wyboczenie pręta w płaszczyźnie kratownicy

✓ Długość wyboczeniowa: $L_{cr,z} = 0,9L_s = 0,9 \times 5,464 = 4,918\text{m}$

✓ Siła krytyczna przy wyboczeniu sprężystym:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1796}{491,8^2} = 1539\text{kN}$$

✓ Smukłość względna: $\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{8600 \times 0,355}{1539}} = 1,408$

✓ Krzywa wyboczeniowa dla kątowników: krzywa b => $\alpha = 0,34$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.2

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.1

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5[1 + 0,34(1,408 - 0,2) + 1,408^2] = 1,697$$

✓ Współczynnik redukcyjny: $\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,378 \leq 1$

✓ Nośność na wyboczenie: EN 1993-1-1 § 6.3.1

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,378 \times 8600 \times 0,355}{1,0} = 1154\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{624,4}{1154} = 0,54 < 1$$

KRZYŻULEC ŚCISKANY

➤ Nośność na wyboczenie pręta z płaszczyzny kratownicy

(przy założeniu pręta jednorodnego)

✓ Długość wyboczeniowa: $L_{cr,y} = 5,464\text{m}$

✓ Siła krytyczna przy wyboczeniu sprężystym: $N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = 2594\text{kN}$

✓ Smukłość względna: $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8600 \times 0,355}{2594}} = 1,085$

✓ Krzywa wyboczeniowa dla kątowników: krzywa b $\Rightarrow \alpha = 0,34$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.2

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.1

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,239$$

✓ Współczynnik redukcyjny: $\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,544 \leq 1$

✓ Nośność na wyboczenie: EN 1993-1-1 § 6.3.1

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y Af_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,544 \times 8600 \times 0,355}{1,0} = 1661\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{624,4}{1661} = 0,38 < 1$$

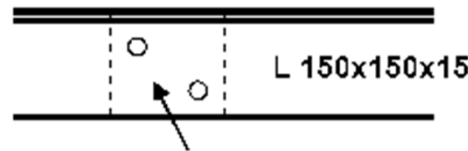
KRZYŻULEC ŚCISKANY

➤ Przewiązki

- ✓ Biorąc pod uwagę zapas nośności, zamiast stosowania 12 przewiązek na jeden krzyżulec, jak wynika z poniższego warunku:

$$L_v \leq 15i_{\min} = 15 \times 29,3 = 440\text{mm},$$

Przyjęto 3 przewiązki w odległości 1366 mm od siebie.



Blacha 150x150x15 i 2 śruby sprężane z kontrolą dokręcenia

- ✓ Długość wyboczeniowa: $L_{cr,v} = 0,7L_v = 0,7 \times 1366 = 956\text{mm}$

- ✓ Siła krytyczna:
$$N_{cr,v} = \frac{\pi^2 EI_v}{L_{cr,v}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 369}{95,6^2} = 8368\text{kN}$$

- ✓ Smukłość względna pojedynczego kątownika:

$$\bar{\lambda}_v = \sqrt{\frac{A_1 f_y}{N_{cr,v}}} = \sqrt{\frac{4300 \times 0,355}{8368}} = 0,427$$

KRZYŻULEC ŚCISKANY

➤ Przewiązki (ciąg dalszy)

✓ Krzywa wyboczeniowa dla kątowników: krzywa b => $\alpha = 0,34$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.2

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 Tablica 6.1

$$\phi_v = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2] = 0,5[1 + 0,34(0,427 - 0,2) + 0,427^2] = 0,630$$

✓ Współczynnik redukcyjny: $\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = 0,915 \leq 1$

Nośność na wyboczenie krzyżulca ściskanego można zachowawczo oszacować, obliczając współczynnik redukcyjny całego elementu (jako pręta jednorodnego) oraz pojedynczego kątownika na odcinku pomiędzy przewiązkami: $\chi = \min(\chi_y, \chi_z) \times \chi_v = 0,378 \times 0,915 = 0,346$

EN 1993-1-1 § 6.3.1

✓ Nośność na wyboczenie krzyżulca:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,346 \times 8600 \times 0,355}{1,0} = 1056 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{624,4}{1056} = 0,59 < 1$$

Nośność krzyżulca na wyboczenie przy ściskaniu jest wystarczająca.

PAS DOLNY ROZCIĄGANY I ZGINANY

➤ Wybór miarodajnego pręta pasa dolnego

Pręt z największą siłą rozciągającą: element B122 (obok środka rozpiętości)

➤ Siły wewnętrzne

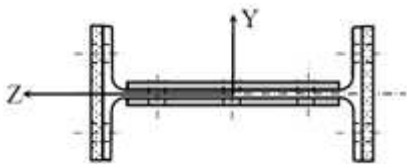
Kombinacja SGN (Obciążenie grawitacyjne)

$$N_{Ed} = 1582 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 1,69 \text{ kNm}$$

➤ Nośność przekroju na rozciąganie

W rozważanym pręcie przyjęto śrubowy styk montażowy kategorii C. W przypadku połączeń kategorii C jest sprawdzana tylko nośność przekroju netto. W przekroju netto uwzględniono 4 otwory w pasach na śruby M24 i 3 otwory w środku na śruby M20.

✓ Przekrój netto: $A_{net} = 6260 - (4 \times 26 \times 11,5) - (3 \times 22 \times 7,5) = 4569 \text{ mm}^2$



$$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4569 \times 0,355}{1,00} = 1622 \text{ kN}$$

PAS DOLNY ROZCIĄGANY I ZGINANY

➤ Nośność przekroju na zginanie

EN 1993-1-1 § 6.2.5

Przy prostym zginaniu w płaszczyźnie kratownicy, klasa 1 przekroju pozwala na wykorzystanie plastycznego wskaźnika wytrzymałości:

$$W_{pl} = \frac{2 \times 1,15 \times 16^2}{4} = 147,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f}{\gamma_{M0}} = \frac{147,2 \times 0,355}{1,0} = 52,3 \text{ cm}^3$$

➤ Sprawdzenie:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{1582}{1622} = 0,97 \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{1,69}{52,3} = 0,03 \leq 1$$

➤ Interakcja M-N :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,97 + 0,03 = 1,00 \leq 1$$

KRZYŻULEC ROZCIĄGANY

➤ Wybór miarodajnego krzyżulca

Pręt z największą siłą rozciągającą:
element B130 (przy lewej podporze)

➤ Siły wewnętrzne

Kombinacja SGN (Obciążenie grawitacyjne)

$$N_{Ed} = 616,3 \text{ kN}$$

➤ Wpływ mimośrodowego działania siły rozciągającej w kątowniku

EN 1993-1-8 § 3.10.3(2)

Współczynniki redukcyjne β podano tylko w odniesieniu do pojedynczego kątownika; W przypadku pary kątowników stosuje się metodę zachowawczą. W analizie zachowania się dwóch gałęzi krzyżulca w obrębie połączenia zaleca się uwzględnienie wspomnianych zjawisk lokalnych.

KRZYŻULEC ROZCIĄGANY

➤ Nośność przekroju na rozciąganie

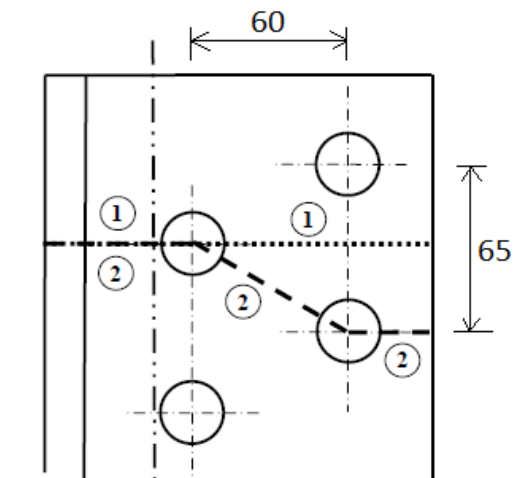
W przypadku połączeń kategorii C sprawdzana jest tylko nośność przekroju netto.

✓ Przekrój netto (śruby M24, $d_0=26\text{mm}$):

$$A_{\text{net}} = \min(A_{\text{net},1}, A_{\text{net},2}) = \min(3912; 3588) = 3588\text{mm}^2$$

✓ Nośność przekroju netto:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}}$$



EN 1993-1-1 § 6.2.2.2(4)

EN 1993-1-8 § 3.10.3(2)

Współczynnik redukcyjny β_3 zależy od odległości między otworami p_1 .

Gdy $p_1 = 2,5d_0 = 65\text{mm}$: $\beta_3 = 0,5$

EN 1993-1-8 Table 3.8

✓ Nośność na rozciąganie:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,5 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \times 3588 \times 0,51}{1,25} = 732\text{kN}$$

➤ Sprawdzenie nośności:

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 732\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{616,3}{732,0} = 0,84 \leq 1$$

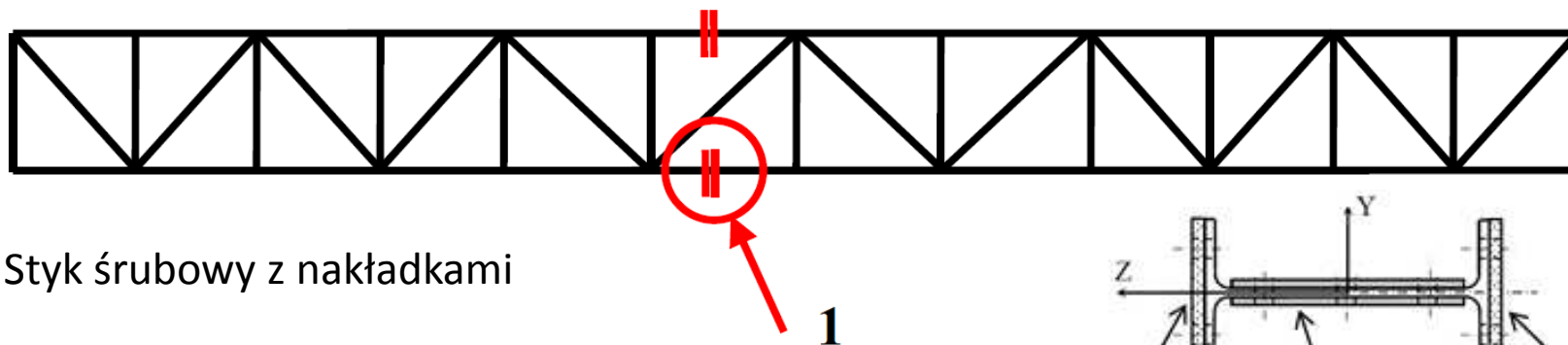
WYMIAROWANIE POŁĄCZEŃ



Program
Uczenie się
przez całe życie

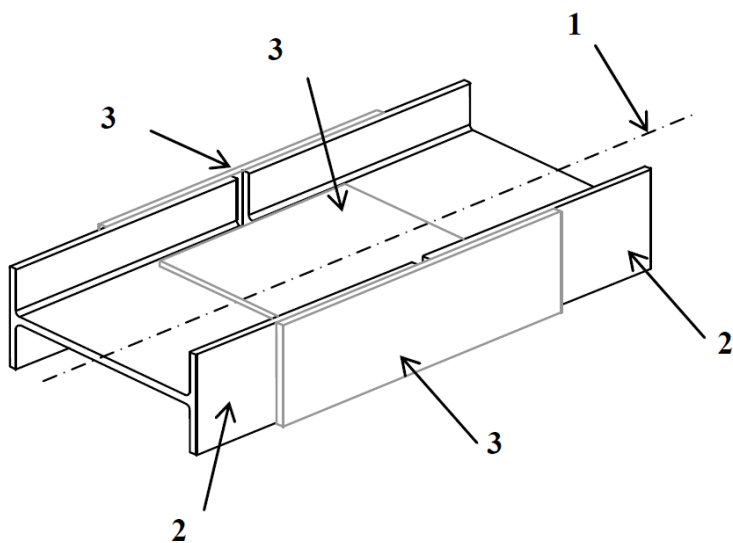
POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

➤ Lokalizacja styku montażowego pasów kratownicy



1 – Styk śrubowy z nakładkami

➤ Opis połączenia

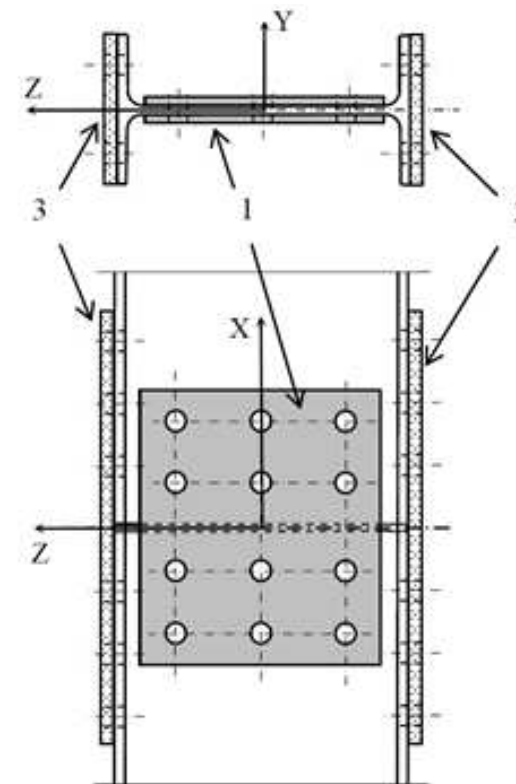


1 – Oś wzdłużna

2 – Łączone pręty pasa dolnego (IPE 330)

3 – Połączenie za pomocą nakładki

38



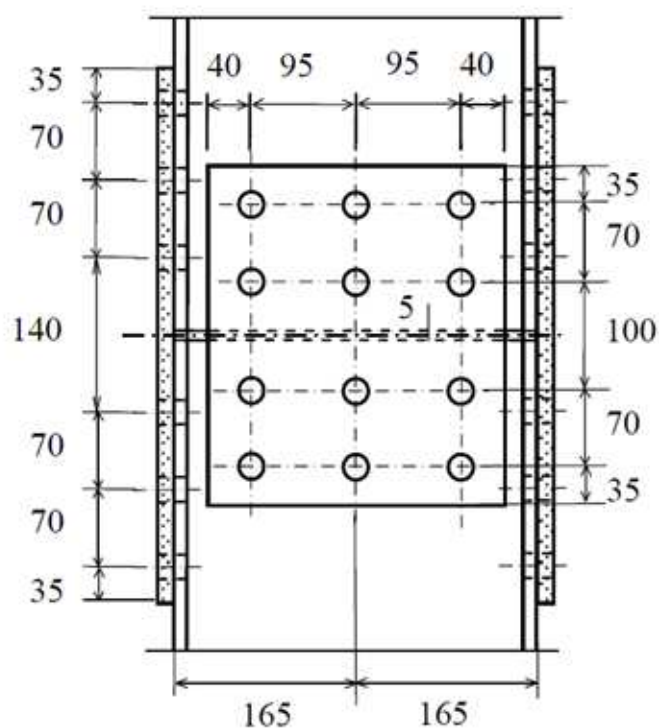
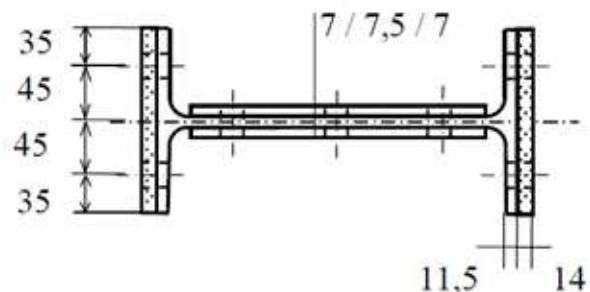
1 – Nakładki środka pasa

2 – Nakładka pasa 1 (po prawej stronie)

3 – Nakładka pasa 2 (po lewej stronie)

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

➤ Wymiary i rozmieszczenie otworów



➤ Dane materiałowe - Stal S355 (dwuteowniki i nakładki)

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 \quad f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

➤ Dane dotyczące połączeń śrubowych

Kategoria połączenia: C

Klasa śrub: 10.9

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

W przypadku nakładek pasów:

Nominalna średnica śruby $d_f = 24\text{mm}$

Średnica otworu $d_{0,f} = 26\text{mm}$

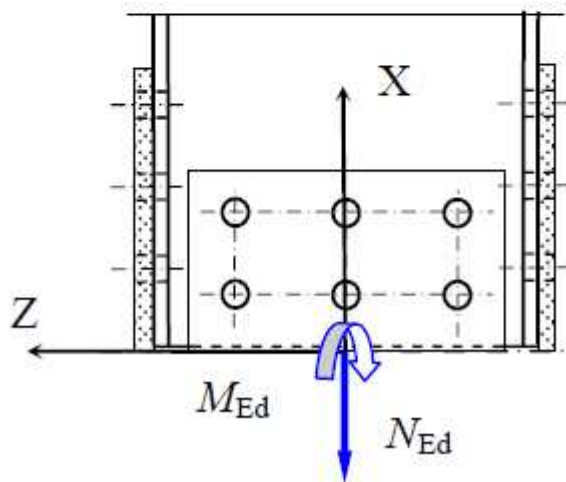
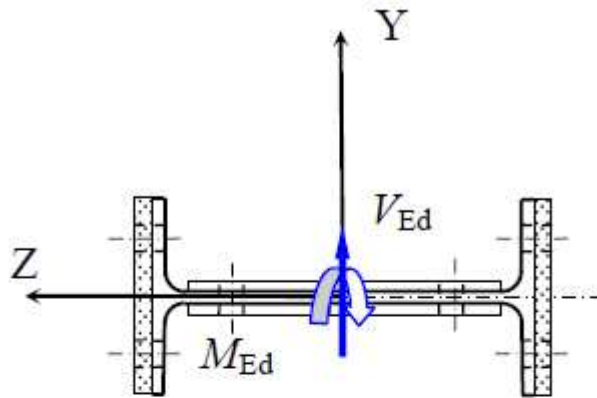
W przypadku nakładek środniaka:

Nominalna średnica śruby $d_w = 20\text{mm}$

Średnica otworu $d_{0,w} = 22\text{mm}$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

➤ Siły wewnętrzne



$$M_{Ed} = 1,69 \text{ kNm (względem osi z)}$$

$$V_{Ed} = 1,7 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1582 \text{ kN (siła rozciągająca)}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

➤ Rozkład sił wewnętrznych

EN 1993-1-8 § 2.5

✓ Siła podłużna

Siła podłużna jest rozłożona pomiędzy środnik i pasy dwuteownika:

$$A_w = (h - 2t_f)t_w = 2302,5\text{cm}^2$$

$$A_f = (A - A_w) / 2 = 3958,5\text{cm}^2 \quad (\text{na pas})$$

Zatem:

$$N_{N,w} = N_{Ed} A_w / A = 581,9\text{kN}$$

$$N_{N,f} = (N_{Ed} - N_{N,w}) / 2 = 500,1\text{kN}$$

✓ Siła poprzeczna

Siła poprzeczna jest w całości przenoszona przez pasy dwuteownika:

$$V_{V,f} = V_{Ed} / 2 = 0,85\text{kN} \quad (\text{na pas})$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Moment zginający

Moment zginający względem słabszej osi bezwładności jest całkowicie przenoszony przez pasy:

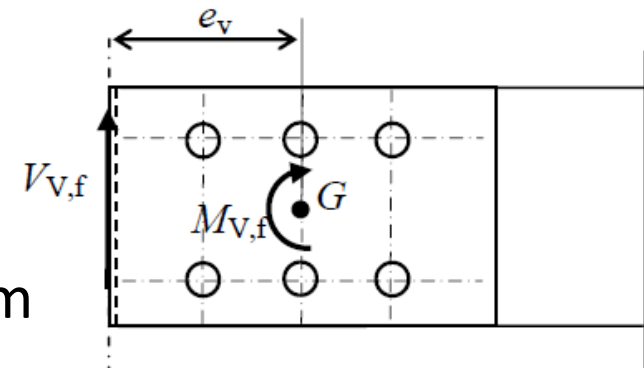
Na każdy pas dwuteownika: $M_{M,f} = M_{Ed} / 2 = 0,845 \text{ kNm}$

Moment spowodowany mimośrodem

$e_v = 140 \text{ mm}$ siły poprzecznej względem

środką ciężkości połączenia:

$$M_{V,f} = V_{V,f} e_v = 0,119 \text{ kNm}$$



➤ **Zestawienie sił wewnętrznych w każdej łączonej części pasa dźwigara kratowego**

✓ w środku: $N_w = 581,9 \text{ kN}$

✓ w jednym pasie: $N_f = 500,1 \text{ kN}$

$$V_f = 0,85 \text{ kN}$$

$$M_f = M_{M,f} + M_{V,f} = 0,96 \text{ kNm}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

➤ Weryfikacja połączenia środka

✓ Połączenie środników jest zaprojektowane z obustronnymi nakładkami. Sprawdzony zostanie środnik i tylko jedna nakładka.

✓ Szczegóły połączenia:

EN 1993-1-8 Tablica 3.3

Środnik				Nakładka			
	Wartość minimalna	Wartość przyjęta	Wartość maksymalna		Wartość minimalna	Wartość przyjęta	Wartość maksymalna
e_1	26,4	47,5		e_1	26,4	35	
e_2	26,4	NA		e_2	26,4	40	
p_1	48,4	70	105	p_1	48,4	70	98
p_2	52,8	95	105	p_2	52,8	95	98

Założono, że konstrukcja nie jest narażona na wpływy atmosferyczne ani korozyjne.

✓ **Obliczeniowa siła na ścinanie $F_{V,Ed}$ pojedynczej śruby:**

EN 1993-1-8

Przy sprawdzaniu środnika:

$$F_{V,Ed,w} = \frac{N_w}{6} = 96,98\text{kN}$$

Przy sprawdzaniu nakładki:

§ 3.12(3)

$$F_{V,Ed,p} = \frac{N_w / 2}{6} = 48,49\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ **Nośność obliczeniowa na poślizg $F_{S,Rd}$**

EN 1993-1-8 § 3.9.1(1)

Śruby w otworach normalnych $\Rightarrow k_s = 1,0$

Klasa powierzchni ciernych: Klasa A $\Rightarrow \mu = 0,5$

Pole przekroju śruby, w której występują naprężenia rozciągające:

$$A_{s,w} = 245\text{mm}^2$$

Siła sprężenia: $F_{p,c} = 0,7 f_{u,b} A_{s,w} = 0,7 \times 1,000 \times 245 = 171,5\text{kN}$

Liczba powierzchni ciernych:

w odniesieniu do środnika: $n_w = 2 \Rightarrow F_{S,Rd,w} = \frac{k_s n_w \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} = 137,20\text{kN}$

w odniesieniu do nakładki: $n_p = 1 \Rightarrow F_{S,Rd,p} = \frac{k_s n_p \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} = 68,60\text{kN}$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Obliczeniowa nośność na docisk $F_{b,Rd}$ pojedynczej śruby

EN 1993-1-8 Tablica 3.4

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

Śruby skrajne:

$$\alpha_{b,end} = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} \quad k_{1,end} = \min \left\{ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

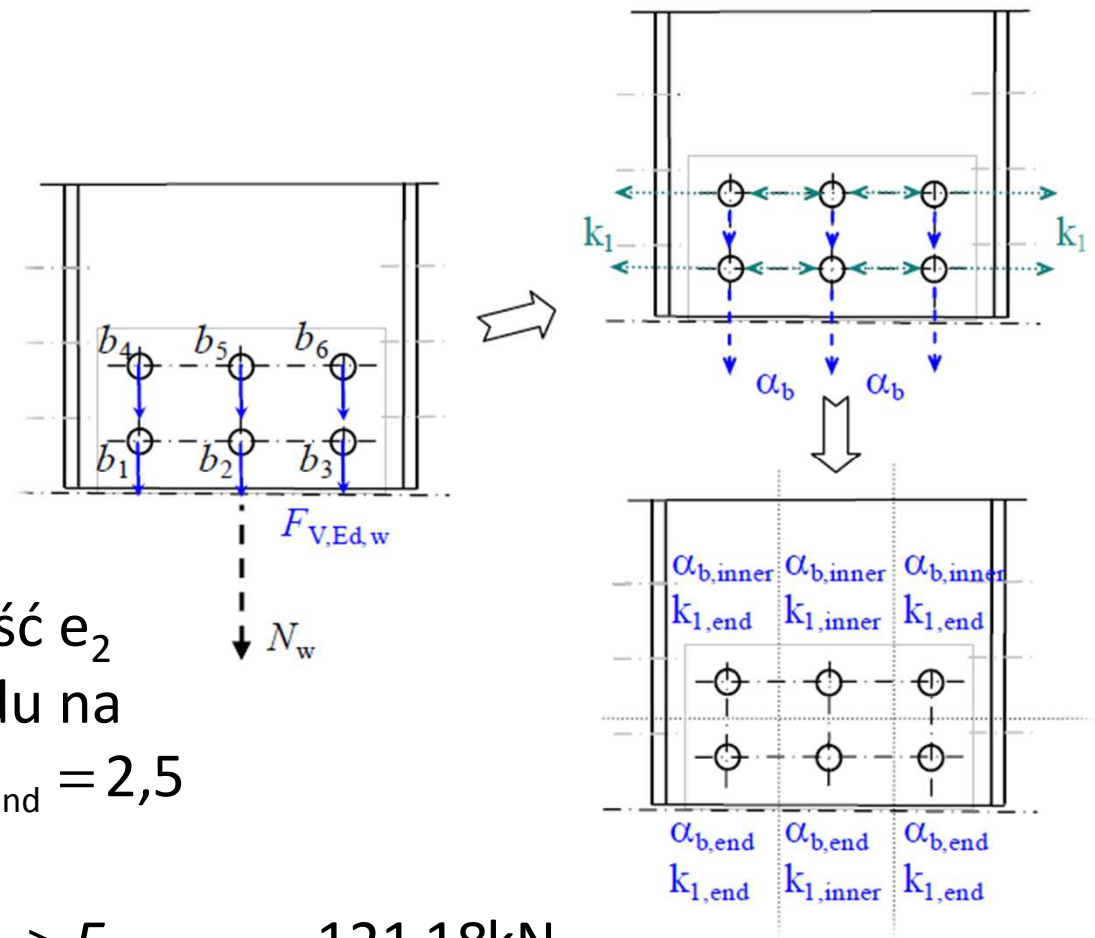
Śruby wewnętrzne:

$$\alpha_{b,inner} = \min \left\{ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} \quad k_{1,inner} = \min \left\{ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

W przypadku środnika:

$$F_{b,Rd,w} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d_w t_w}{\gamma_{M2}}$$



W przypadku środnika odległość e_2 nie ma zastosowania ze względu na bliskość pasów $\Rightarrow k_{1,inner} = k_{1,end} = 2,5$

Dla śruby b_1 :

$$\alpha_{b,b1} = \alpha_{b,b1,end} = 0,72 \Rightarrow F_{b,b1,Rd,w} = 121,18 \text{ kN}$$

Dla śruby b_4 :

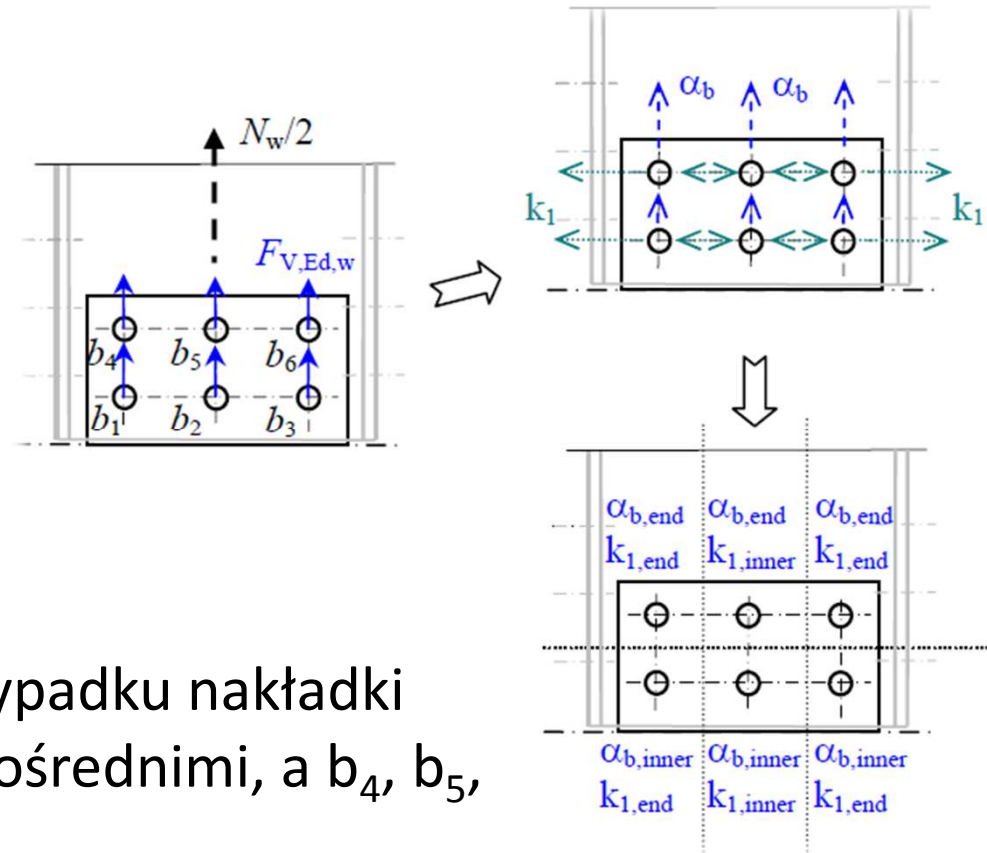
$$\alpha_{b,b4} = \alpha_{b,b4,inner} = 0,81 \Rightarrow F_{b,b4,Rd,w} = 136,32 \text{ kN}$$

$$\rightarrow F_{b,Rd,w} = 121,18 \text{ kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

W przypadku nakładki:

$$F_{b,Rd,p} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d_w t_p}{\gamma_{M2}}$$



$$k_{1,inner} = k_{1,end} = 2,5$$

W porównaniu do środka, w przypadku nakładki śruby b_1 , b_2 , b_3 stają się śrubami pośrednimi, a b_4 , b_5 , b_6 stają się śrubami skrajnymi.

Dla śruby b_1 :

$$\alpha_{b,b1} = \alpha_{b,b1,inner} = 0,81 \Rightarrow F_{b,b1,Rd,p} = 115,67\text{kN}$$

Dla śruby b_4 :

$$\alpha_{b,b4} = \alpha_{b,b4,end} = 0,53 \Rightarrow F_{b,b4,Rd,p} = 75,68\text{kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_{b,b1,Rd,p} = 115,67\text{kN} \\ F_{b,b4,Rd,p} = 75,68\text{kN} \end{array} \right\} \rightarrow F_{b,Rd,p} = 75,68\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Sprawdzenie pojedynczych śrub

- w odniesieniu do środnika:

EN 1993-1-8 Tablica 3.2

Nośność obliczeniowa na docisk: $F_{V,Ed,w} = 96,98 < F_{b,Rd,w} = 121,18\text{kN}$

Nośność obliczeniowa na poślizg: $F_{V,Ed,w} = 96,98 < F_{s,Rd,w} = 137,20\text{kN}$

- w odniesieniu do nakładki:

Nośność obliczeniowa na docisk : $F_{V,Ed,p} = 48,49 < F_{b,Rd,p} = 75,68\text{kN}$

Nośność obliczeniowa na poślizg: $F_{V,Ed,p} = 48,49 < F_{s,Rd,p} = 68,60\text{kN}$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

- ✓ **Obliczeniowa nośność na ścinanie pojedynczej śruby $F_{v,Rd}$ (w jednej płaszczyźnie ścinania)**

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

EN 1993-1-8 Tablica 3.4

Uwzględniając fakt, że płaszczyzna ścinania

nie przechodzi przez gwintowaną część trzpienia } $\rightarrow F_{v,Rd} = 150,72 \text{ kN}$

Śruby w otworach normalnych: $\alpha_v = 0,6$

Przekrój śruby brutto: $A = 314 \text{ mm}^2$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Sprawdzenie grupy łączników

- w odniesieniu do środka:

Ponieważ $F_{v,Rd} > F_{b,Rd,w}$ dla każdej ze śrub, to docelowo nośność grupy śrub:

EN 1993-1-8 § 3.7

$$F_{gr,b,Rd,w} = \sum_1^{n_{bi}} F_{b,bi,Rd,w} = 3 \times 121,18 + 3 \times 136,32 = 772,50 \text{ kN}$$

zatem: $|N_w| = 581,9 \text{ kN} < F_{gr,b,Rd,w} = 772,50 \text{ kN}$

- w odniesieniu do nakładki:

Ponieważ $F_{v,Rd} > F_{b,Rd,p}$ dla każdej ze śrub, to docelowo nośność grupy śrub:

EN 1993-1-8 § 3.7

$$F_{gr,b,Rd,p} = \sum_1^{n_{bi}} F_{b,bi,Rd,p} = 3 \times 115,67 + 3 \times 75,68 = 574,05 \text{ kN}$$

zatem : $|N_w / 2| = 290,95 \text{ kN} < F_{gr,b,Rd} = 574,05 \text{ kN}$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Nośność przekroju netto

$$\sum_1^{n_b} F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

EN 1993-1-8 Tablica 3.2

gdzie:

n_b to liczba śrub umieszczonych w danym przekroju poprzecznym netto

- w przypadku środka:

Przekrój poprzeczny netto:

Nośność obliczeniowa:

$$A_{w,net} = A_w - 3d_{0,w}t_w = 1807,5\text{mm}^2$$

$$N_{w,net,Rd} = \frac{A_{w,net}f_y}{\gamma_{M0}} = 641,66\text{kN}$$

$$\sum_1^3 F_{v,Ed} = 3 \times 96,98 = 290,94\text{kN} < N_{w,net,Rd} = 641,66\text{kN}$$

- w przypadku nakładki

Przekrój poprzeczny netto:

Nośność obliczeniowa:

$$A_{p,net} = A_p - 3d_{0,w}t_p = 1428\text{mm}^2$$

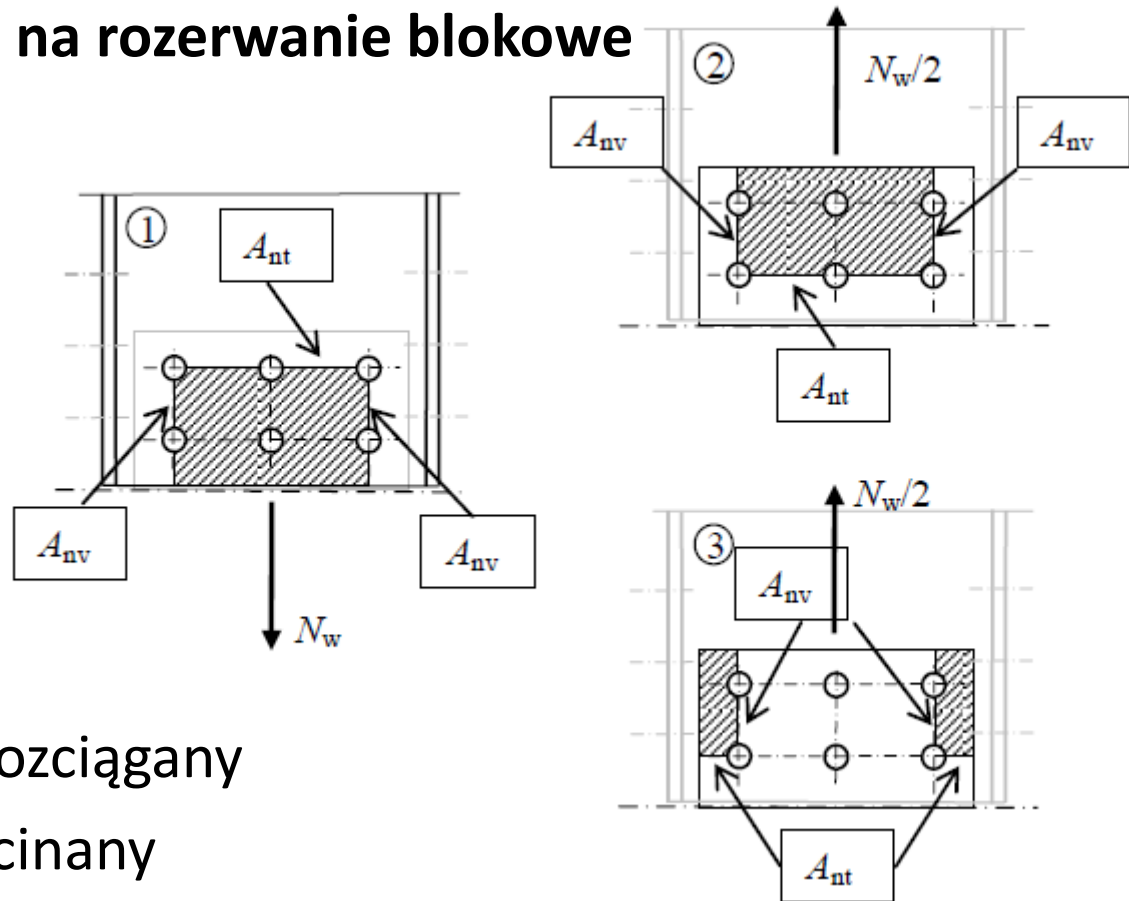
$$N_{p,net,Rd} = \frac{A_{p,net}f_y}{\gamma_{M0}} = 506,94\text{kN}$$

$$\sum_1^3 F_{v,Ed} = 3 \times 48,49 = 145,47\text{kN} < N_{p,net,Rd} = 506,94\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Projektowanie z uwagi na rozerwanie blokowe

EN 1993-1-8 § 3.10.2



A_{nt} – przekrój netto rozciągany

A_{nv} - przekrój netto ścinany

- 1 – Rozerwanie blokowe środka (obciążenie osiowe)
- 2 – Pierwsze rozerwanie blokowe nakładki (obciążenie osiowe)
- 3 – Drugie rozerwanie blokowe nakładki (obciążenie osiowe)

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

EN 1993-1-8 § 3.10.2

✓ Projektowanie z uwagi na rozerwanie blokowe

- w przypadku środniaka – grupa śrub jest poddana obciążeniu osiowemu.

$$A_{nt} = (2p_2 - 2d_{0,w})t_w = 1095\text{mm}^2$$

$$A_{nv} = 2(e_1 + p_1 - 1,5d_{0,w})t_w = 1267,5\text{mm}^2$$

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} = 706,55\text{kN} > N_w = 581,9\text{kN}$$

- w przypadku nakładki – określono dwa sposoby rozerwania blokowego; dla obu, powierzchnia ścinania jest taka sama, zatem rozważono przypadek z minimalną powierzchnią poddaną rozciąganiu. Grupa śrub jest obciążona osiowo.

$$A_{nt} = (2e_2 - d_{0,w})t_p = 406\text{mm}^2$$

$$A_{nv} = 2(e_1 + p_1 - 1,5d_{0,w})t_p = 1008\text{mm}^2$$

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} = 372,25\text{kN} > N_w / 2 = 290,95\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

➤ Weryfikacja połączenia pasów

- ✓ Połączenie pasów wykonano z zastosowaniem pojedynczej nakładki.
- ✓ Sprawdzono nośność połączenia w odniesieniu do pasa i nakładki.

✓ Szczegóły połączenia :

EN 1993-1-8 Tablica 3.3

	Pas			Nakładka		
	Wartość minimalna	Wartość przyjęta	Wartość maksymalna	Wartość minimalna	Wartość przyjęta	Wartość maksymalna
$\min(e_1, e_2)$	31,2	35		31,2	35	
$\min(p_1, p_2)$	57,2	70		57,2	70	
$\max(p_1, p_2)$		90	161		90	196

Założono, że konstrukcja nie jest narażona na wpływy atmosferyczne ani korozyjne.

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Obliczeniowa siła ścinająca $F_{v,Ed}$ na każdą śrubę:

EN 1993-1-8 § 3.12(3)

Siła osiowa N_f powoduje powstanie poziomej siły ścinającej:

$$F_{N,bi,h} = \frac{N_f}{6} = -83,35\text{kN} \quad \text{dla każdej śruby}$$

Siła ścinająca V_f powoduje powstanie pionowej siły ścinającej:

$$F_{V,bi,v} = \frac{V_f}{6} = 0,14\text{kN} \quad \text{dla każdej śruby}$$

Moment M_f jest podzielony między śruby proporcjonalnie do odległości r_i pomiędzy środkiem śruby b_i a środkiem ciężkości grupy śrub:

Siła $F_{M,bi}$ rozłożona w układzie $\{h,v\}$ daje:

$$F_{M,bi,h} = \frac{M_f v_i}{\sum_1^6 r_i^2}$$

składową poziomą

$$F_{M,bi,v} = \frac{M_f h_i}{\sum_1^6 r_i^2}$$

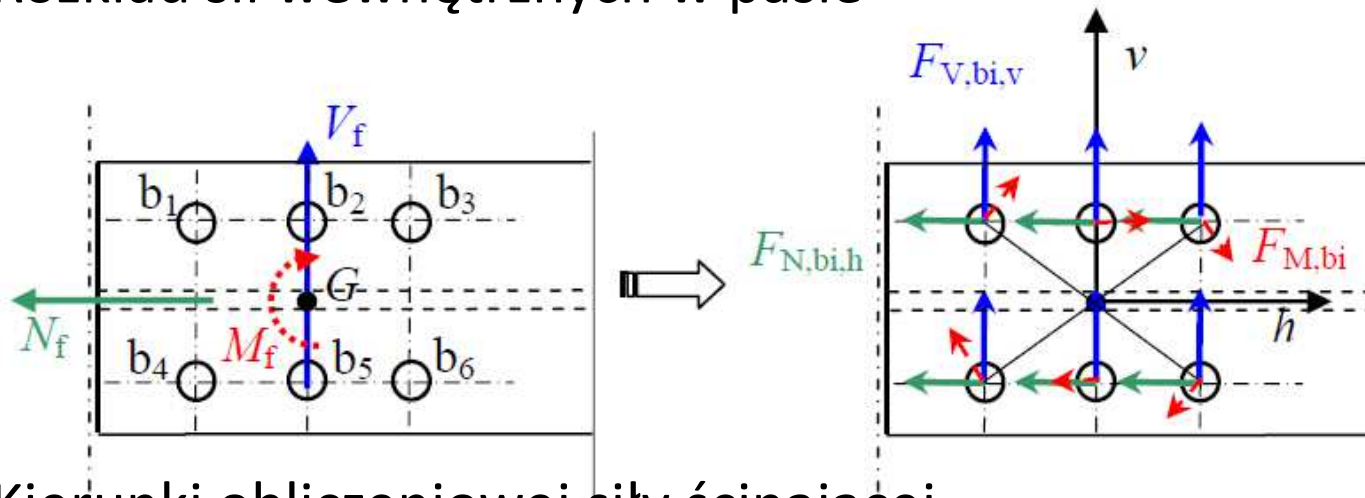
składową pionową

$$F_{M,bi} = \frac{M_f r_i}{\sum_1^6 r_i^2}$$

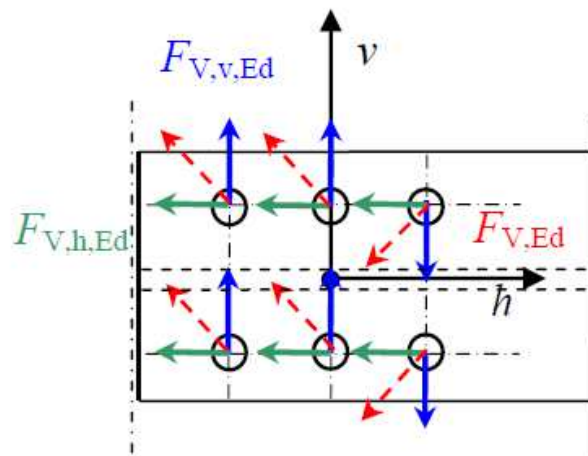
w przypadku śruby b_i , przy współrzędnych środka tej śruby h_i i v_i

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

Rozkład sił wewnętrznych w pasie



Kierunki obliczeniowej siły ścinającej



Pozioma obliczeniowa siła ścinająca:

$$F_{V,bi,h,Ed} = F_{N,bi,h} + F_{M,bi,h}$$

Pionowa obliczeniowa siła ścinająca :

$$F_{V,bi,v,Ed} = F_{V,bi,v} + F_{M,bi,v}$$

Wypadkowa obliczeniowa siła ścinająca:

$$F_{V,bi,Ed} = \sqrt{F_{V,bi,h,Ed}^2 + F_{V,bi,v,Ed}^2}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

Zestawienie obliczeniowych sił ścinających
w odniesieniu do pasa w układzie $\{h, v\}$

Śruba	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
h_i	-70	0	70	-70	0	70
v_i	45	45	45	-45	-45	-45
r_i	83,22	45	83,22	83,22	45	83,22
$F_{M,bi}$	2,52	1,36	2,52	2,52	1,36	2,52
$F_{M,bi,h}$	1,36	1,36	1,36	-1,36	-1,36	-1,36
$F_{M,bi,v}$	2,11	0	-2,11	2,11	0	-2,11
$F_{N,bi,h}$	-83,35	-83,35	-83,35	-83,35	-83,35	-83,35
$F_{V,bi,v}$	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$F_{V,bi,h,Ed}$	-81,99	-81,99	-81,99	-84,71	-84,71	-84,71
$F_{V,bi,v,Ed}$	2,25	0,14	-1,97	2,25	0,14	-1,97
$F_{V,bi,Ed}$	82,02	81,99	82,01	84,74	84,71	84,73

$$F_{V,Ed} = \max F_{V,bi,Ed} = 84,74 \text{ kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ **Obliczeniowa nośność na poślizg $F_{S,Rd}$**

EN 1993-1-8 § 3.9.1

Śruby w otworach normalnych => $k_s = 1,0$

Klasa powierzchni ciernych: Klasa A => $\mu = 0,5$

Pole przekroju śruby, w której występują naprężenia rozciągające:

$$A_{s,f} = 353\text{mm}^2$$

Siła sprężenia: $F_{p,c} = 0,7 f_{u,b} A_{s,f} = 0,7 \times 1,000 \times 353 = 247,1\text{kN}$

Liczba powierzchni ciernych - połączenie pasa z jedną nakładką: $n = 1$

w przypadku pasa , jak i nakładki => $F_{s,Rd,f} = F_{s,Rd,p} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} = 98,84\text{kN}$

✓ **Obliczeniowa nośność na docisk $F_{b,Rd}$ pojedynczej śruby**

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

EN 1993-1-8 Tablica 3.4

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

W przypadku pasa:

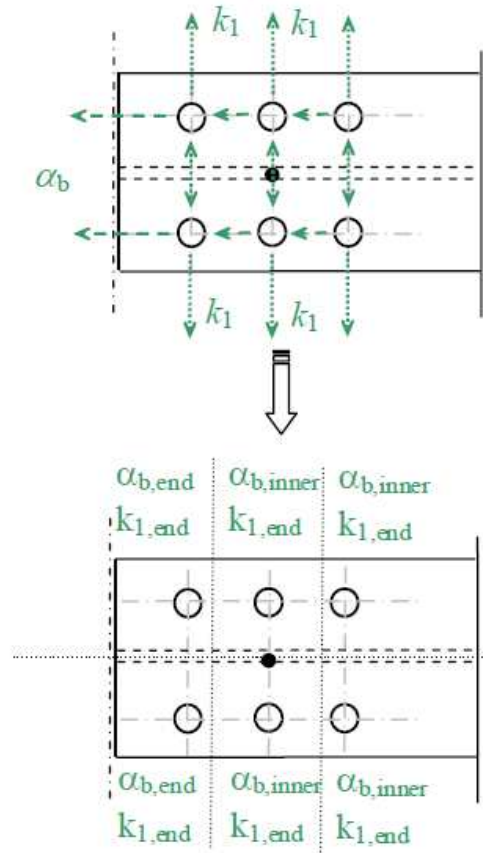
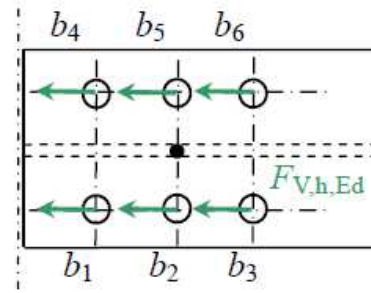
Dla wszystkich śrub: $k_{1,end} = 2,07$

Dla śrub b_1 i b_4 : $\alpha_{b,end} = 0,90$

$F_{b,Rd,f} = 209,79\text{kN}$

Dla innych śrub: $\alpha_{b,inner} = 0,65$

$F_{b,Rd,f} = 151,51\text{kN}$



Ostatecznie przyjęto minimalną wartość:

$F_{b,Rd,f} = 151,51\text{ kN}$

W przypadku nakładki:

Dla wszystkich śrub: $k_{1,end} = 2,07$

Dla śrub b_3 i b_6 : $\alpha_{b,end} = 0,45 \Rightarrow F_{b,Rd,p} = 127,70\text{kN}$

Dla innych śrub: $\alpha_{b,inner} = 0,65 \Rightarrow F_{b,Rd,p} = 184,45\text{kN}$

Ostatecznie przyjęto minimalną wartość:

$F_{b,Rd,p} = 127,70\text{kN}$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Sprawdzenie pojedynczych śrub

- w odniesieniu do pasa:

EN 1993-1-8 Tablica 3.2

Nośność obliczeniowa na docisk:

$$F_{V,Ed,f} = 84,74 < F_{b,Rd,f} = 151,51\text{kN}$$

Nośność obliczeniowa na poślizg:

$$F_{V,Ed,f} = 84,74 < F_{s,Rd,f} = 98,84\text{kN}$$

- w odniesieniu do nakładki:

Nośność obliczeniowa na docisk:

$$F_{V,Ed,p} = 84,74 < F_{b,Rd,p} = 127,70\text{kN}$$

Nośność obliczeniowa na poślizg:

$$F_{V,Ed,p} = 84,74 < F_{s,Rd,p} = 98,84\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

- ✓ **Obliczeniowa nośność na ścinanie pojedynczej śruby $F_{v,Rd}$ (w jednej płaszczyźnie ścinania)**

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

EN 1993-1-8 Tablica 3.4

Uwzględniając fakt, że płaszczyzna ścinania
nie przechodzi przez gwintowaną część trzpienia

śruby w otworach normalnych: $\alpha_v = 0,6$

Przekrój śruby brutto : $A = 452 \text{ mm}^2$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_v = 0,6 \\ A = 452 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \rightarrow F_{v,Rd} = 216,96 \text{ kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Sprawdzenie grupy łączników

- w odniesieniu do pasa:

Ponieważ $F_{v,Rd} > F_{b,Rd,f}$ dla każdej ze śrub, to docelowo nośność grupy śrub: EN 1993-1-8 § 3.7

$$F_{gr,b,Rd,f} = \sum_1^{n_{bi}} F_{b,bi,Rd,f} = 2 \times 209,79 + 4 \times 151,51 = 1025,62 \text{ kN}$$

Sprawdzenie: $|N_f| = 500,1 < F_{gr,b,Rd,f} = 1025,62 \text{ kN}$

- w odniesieniu do nakładki:

Ponieważ $F_{v,Rd} > F_{b,Rd,p}$ dla każdej ze śrub, to docelowo nośność grupy śrub: EN 1993-1-8 § 3.7

$$F_{gr,b,Rd,p} = \sum_1^{n_{bi}} F_{b,bi,Rd,p} = 2 \times 127,70 + 4 \times 184,45 = 993,20 \text{ kN}$$

Sprawdzenie: $|N_p| = |N_f| = 500,1 \text{ kN} < F_{gr,b,Rd,p} = 993,20 \text{ kN}$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ **Nośność przekroju netto**

$$\sum_1^{n_b} F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

EN 1993-1-8 Tablica 3.2

gdzie:

n_b to liczba śrub umieszczonych w danym przekroju poprzecznym netto

- w przypadku pasa

Przekrój poprzeczny netto:

$$A_{f,net} = A_f - 2d_{0,f}t_f = 1380,8\text{mm}^2$$

Nośność obliczeniowa:

$$N_{f,net,Rd} = \frac{A_{f,net}f_y}{\gamma_{M0}} = 490,18\text{kN}$$

Zatem:

$$\sum_1^2 F_{v,Ed,f} = 2 \times 84,74 = 169,48\text{kN} < N_{f,net,Rd} = 490,18\text{kN}$$

- W przypadku nakładki

Przekrój poprzeczny netto:

$$A_{p,net} = A_p - 2d_{0,f}t_p = 1512\text{mm}^2$$

Nośność obliczeniowa:

$$N_{p,net,Rd} = \frac{A_{p,net}f_y}{\gamma_{M0}} = 536,76\text{kN}$$

Zatem:

$$\sum_1^2 F_{v,Ed,p} = 2 \times 84,74 = 169,48\text{kN} < N_{p,net,Rd} = 536,76\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

Przekrój poprzeczny netto nakładki należy także zweryfikować na kombinację sił wewnętrznych. Zakładając równomierny rozkład obciążenia w przekroju, można zaproponować następujące sprawdzenie:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_y$$

gdzie:
$$\sigma = \frac{N_p}{A_{p,\text{net}}} \pm \frac{M_p}{I_{p,\text{net}} / v} \quad \tau = \frac{V_p}{A_{p,\text{net}}}$$

Założenie równomiernego rozkładu naprężeń ścinających prowadzi do sytuacji zachowawczej.

$$A_{p,\text{net}} = 1512\text{mm}^2 \quad I_{p,\text{net}} = I_{p,\text{gross}} - I_{p,\text{holes}} = 477,87 - 151,52 = 326,35\text{cm}^4$$

Zatem: $\sigma = 354,3\text{N/mm}^2$ i $\tau = 0,6\text{N/mm}^2$

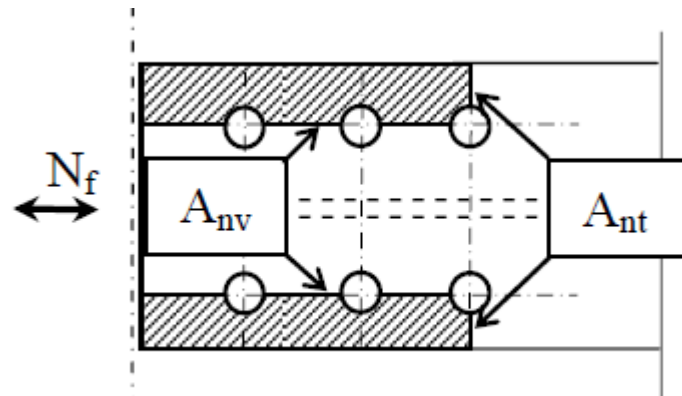
Ostatecznie:

$$\sigma_{\max} = 354,3\text{N/mm}^2 \leq f_y = 355\text{N/mm}^2$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

✓ Projektowanie z uwagi na rozerwanie blokowe EN 1993-1-8 § 3.10.2

- w przypadku pasa – grupa śrub jest poddana obciążeniu osiowemu.



Połączenie pasów – Rozerwanie blokowe pasa

$$A_{nt} = 2(e_2 - 0,5d_{0,f})t_f = 506\text{mm}^2$$

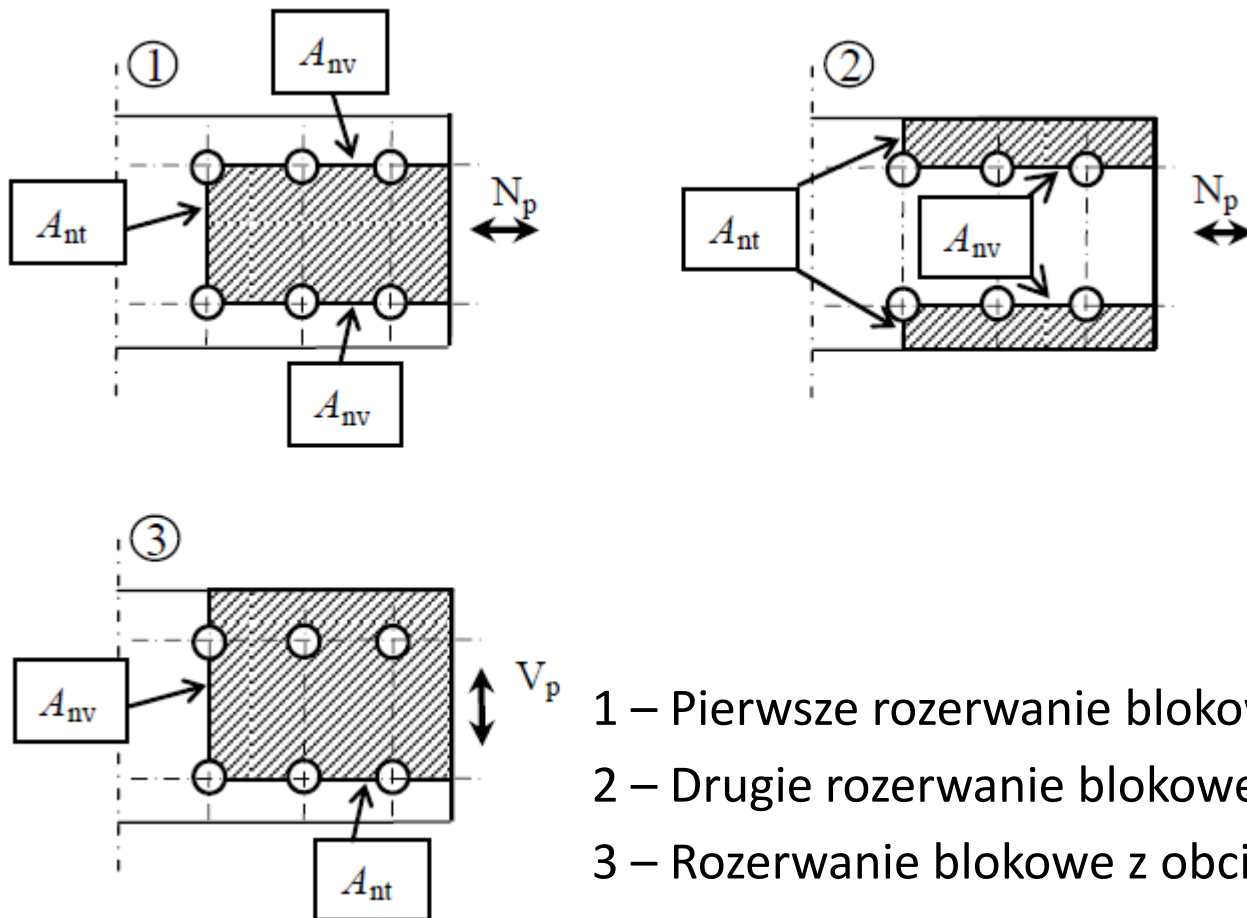
$$A_{nv} = 2(e_1 + 2p_1 - 2,5d_{0,f})t_f = 3277,5\text{mm}^2$$

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} = 728,01\text{kN} > N_f = 500,1\text{kN}$$

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

- W przypadku nakładki – grupa śrub jest poddana działaniu obciążenia osiowego N_p i obciążenia mimośrodowego V_p .

Połączenie pasów – Rozerwanie blokowe nakładki



- 1 – Pierwsze rozerwanie blokowe z obciążeniem osiowym
- 2 – Drugie rozerwanie blokowe z obciążeniem osiowym
- 3 – Rozerwanie blokowe z obciążeniem mimośrodowym

POŁĄCZENIE CIĄGŁE PASA

W przypadku z obciążeniem osiowym, przyjęto tylko opcję z najmniejszym przekrojem rozciągającym:

$$A_{nt} = \min\{(p_2 - d_0); 2(e_2 - 0,5d_0)\}t_p = 616\text{mm}^2$$

$$A_{nv} = 2(e_1 + 2p_1 - 2,5d_0)t_p = 3080\text{mm}^2$$

Zatem: $V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = 882,6\text{kN} > N_f = 500,1\text{kN}$

W przypadku z obciążeniem mimośrodowym :

$$A_{nt} = (e_1 + 2p_1 - 2,5d_0)t_p = 1540\text{mm}^2 \quad A_{nv} = (e_2 + p_2 - 1,5d_0)t_p = 1344\text{mm}^2$$

Zatem: $V_{\text{eff},2,\text{Rd}} = 589,63\text{kN} > V_p = 0,85\text{kN}$

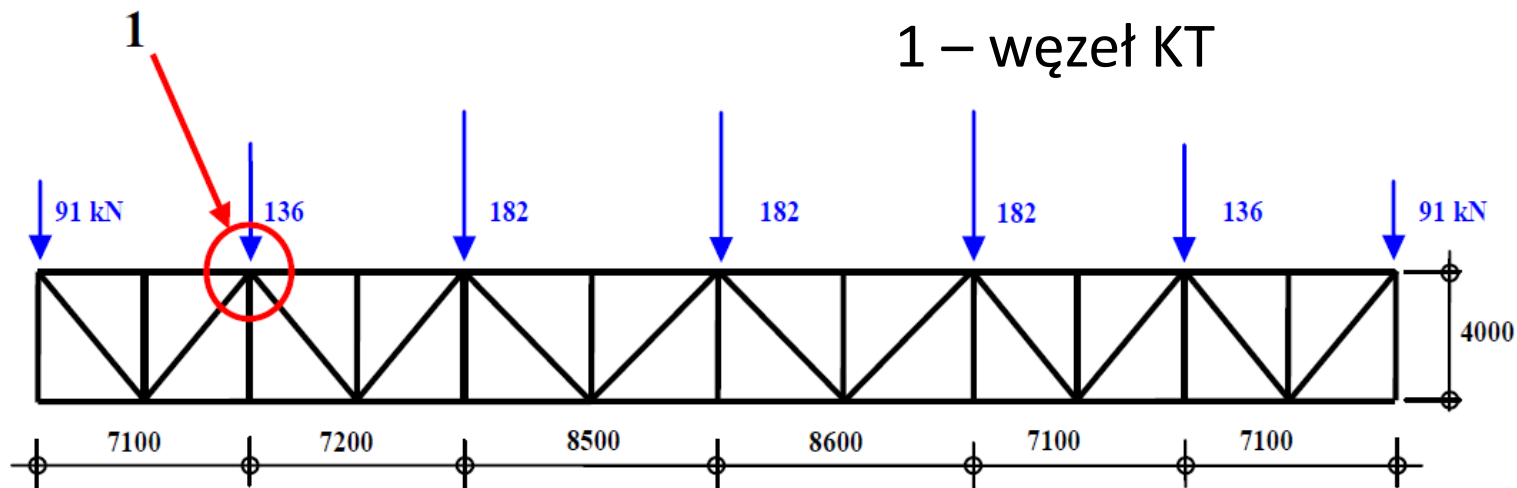
Powinno zostać spełnione wymaganie dodatkowe wynikające ze wzoru interakcyjnego:

$$\frac{N_p}{\min V_{\text{eff},1,\text{Rd}}} + \frac{V_p}{V_{\text{eff},2,\text{Rd}}} \leq 1,0$$

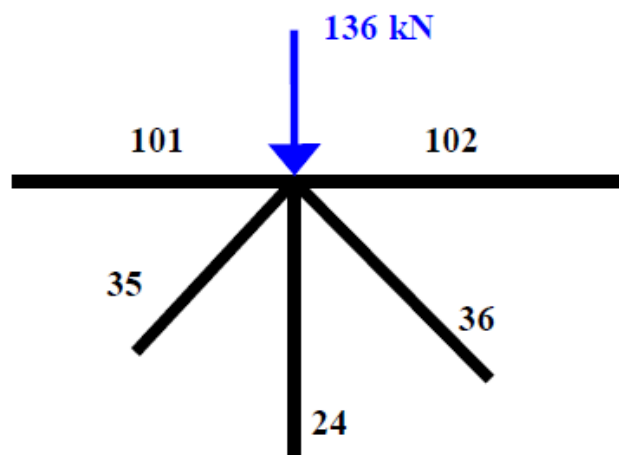
Zatem: $\frac{500,1}{882,6} + \frac{0,85}{589,63} = 0,57 \leq 1,0$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

➤ Lokalizacja węzła KT



➤ Zestawienie sił wewnętrznych w prętach dochodzących do węzła

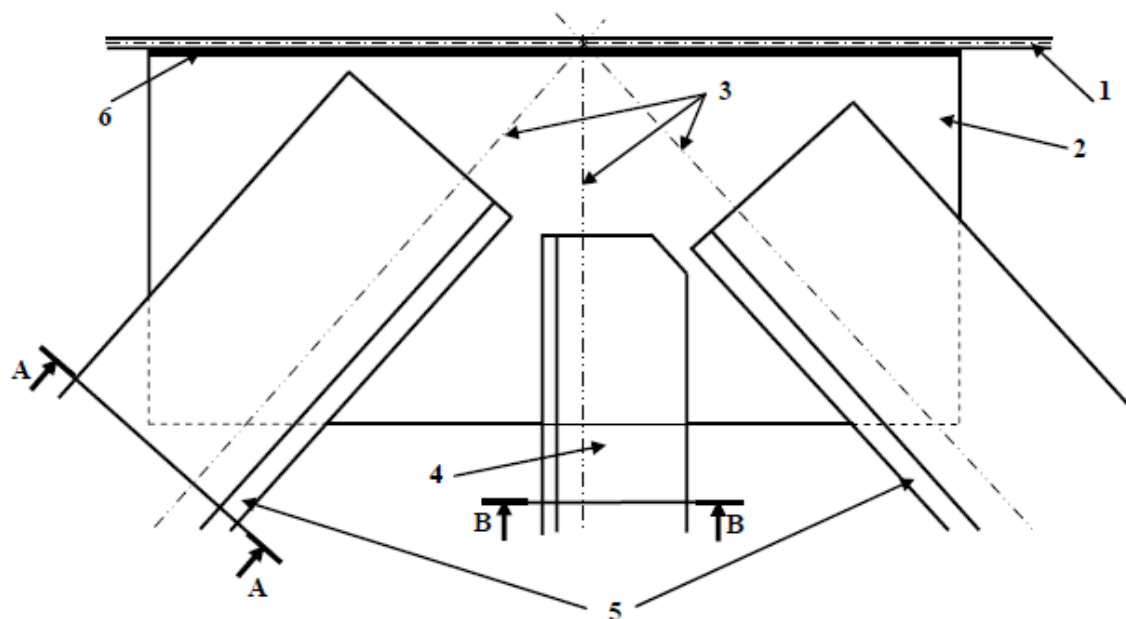
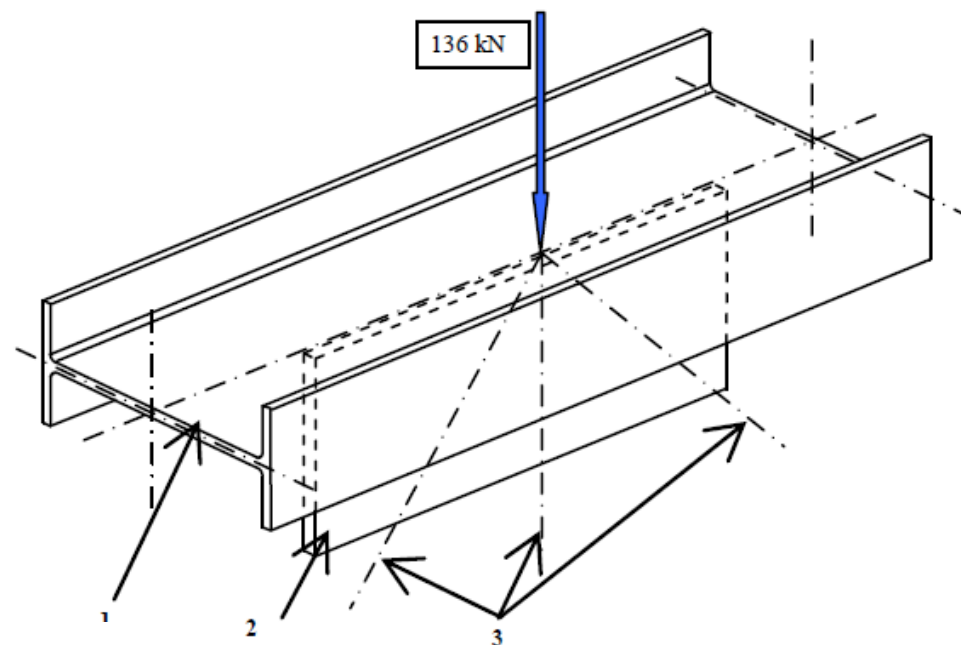


Pręt	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Krzyżulec 35	-609,4	-1,27	0
Krzyżulec 36	406,9	1,03	0
Słupek 24	2,6	0	0
Pas 101	-413,8	1,25	-0,46
Pas 102	-1084	1,26	-0,09

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

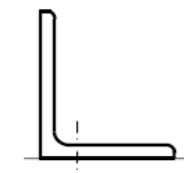
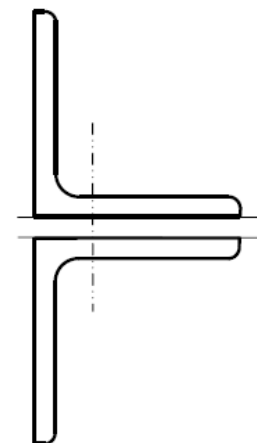
➤ Prezentacja węzła KT

- 1 – Środek pasa (IPE 330)
- 2 – Blacha węzłowa 580x260x15
- 3 – Osie prętów skratowania
- 4 – Kątownik L100x100x10
- 5 – Kątowniki L150x150x15
- 6 – Spoina pachwinowa



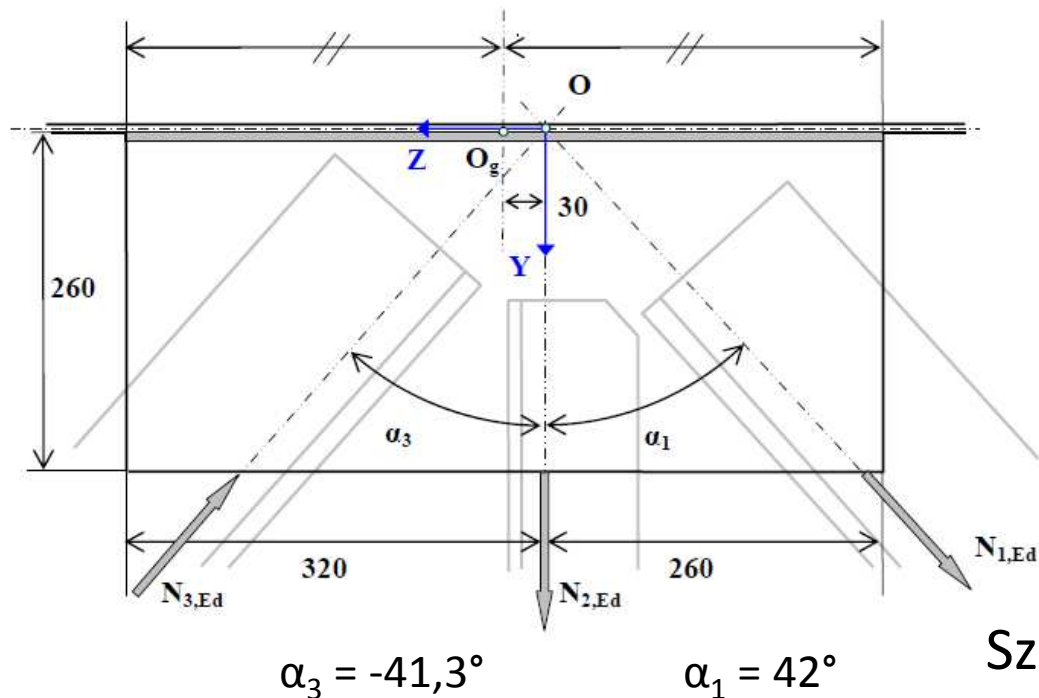
Przekrój A-A

Przekrój B-B



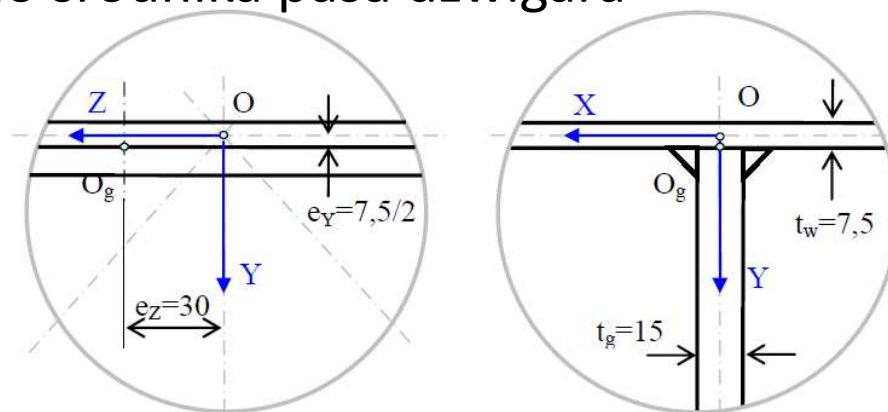
POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

➤ Połączenie spawane blachy węzłowej ze środkiem pasa dźwigara



Płaszczyzna blachy węzłowej nie jest umieszczona symetrycznie względem normalnej OY do płaszczyzny środka.

Szczegół połączenia blachy węzłowej do środka pasa dźwigara



Moment wynikający z mimośrodów e_z powinien zostać uwzględniony.

Moment wynikający z mimośrodów $e_y = t_w/2$ może być pominięty.

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ **Naprężenia w przekroju poprzecznym blachy węzłowej przy spoinach**

Przyjęte podejście jest oparte na analizie liniowo-sprężystej, która prowadzi do uzyskania bezpiecznej szacunkowej oceny nośności połączenia spawanego.

✓ **Siły obliczeniowe w blasze węzłowej przy licu środka pasa**

$N_{g,Ed}$ – Siła osiowa na mimośrodzie $e_z = 30$ mm do linii środkowej blachy węzłowej

$$N_{g,Ed} = \sum_{i=1}^3 N_i \cos(\alpha_i) = -152,83 \text{ kN}$$

$V_{g,Ed}$ – Siła poprzeczna

$$V_{g,Ed} = \sum_{i=1}^3 N_i \sin(\alpha_i) = 674,47 \text{ kN}$$

$M_{g,Ed}$ – Moment wynikający z działania siły $N_{g,Ed}$ na mimośrodzie e_z

$$M_{g,Ed} = N_{g,Ed} e_z = 4,585 \text{ kNm}$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Naprężenia normalne

Zakładając równomierny rozkład naprężeń w przekroju, naprężenia normalne określono jako:

$$\sigma_{g,\max} = \frac{N_{g,ED}}{A_g} + \frac{M_{g,Ed}}{I_g / \nu} = -23,02 \text{ N/mm}^2$$

gdzie:

A_g - powierzchnia przekroju poprzecznego:

$$A_g = t_g L_w = 15 \times 580 = 8700 \text{ mm}^2$$

I_g - moment bezwładności przekroju poprzecznego:

$$I_g = \frac{t_g L_w^3}{12} = 243,89 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

ν – położenie włókna skrajnego $\nu = 290 \text{ mm}$

✓ Naprężenia ścinające

Średnie naprężenie ścinające: $\tau_g = \frac{V_{g,ED}}{A_g} = 77,53 \text{ N/mm}^2$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Obliczeniowa nośność spoiny pachwinowej

EN 1993-1-8 § 4.5.3.1(1)

Obliczeniowa nośność spoiny pachwinowej jest określona przy zastosowaniu metody kierunkowej. Przyjęto równomierny rozkład naprężeń w przekroju spoiny.

EN 1993-1-8 § 4.5.3.2(4)

σ_{\perp} - naprężenia normalne względem płaszczyzny grubości spoiny

τ_{\perp} - naprężenia ścinające prostopadłe do osi spoiny

τ_{II} - naprężenia ścinające równoległe do osi spoiny

W przekroju spoiny, wartość siły na jednostkę długości wynosi:

$$a\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{g,\max} e_g}{n_a} \sin(\alpha_a / 2) = -122,08 \text{ N/mm}$$

$$a\tau_{\perp} = \frac{\sigma_{g,\max} e_g}{n_a} \cos(\alpha_a / 2) = -122,08 \text{ N/mm}$$

$$a\tau_{II} = \frac{\tau_g e_g n_a}{n_a} = 581,44 \text{ N/mm}$$

$\alpha_a = 90^\circ$ - kąt między blachą a środkiem, $n_a = 2$ – liczba spoin

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Nośność obliczeniową spoiny pachwinowej uznaje się za wystarczającą, jeżeli spełnione są oba warunki: EN 1993-1-8 § 4.5.3.2(6)

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{EN 1993-1-8 Tablica 4.1}$$

Warunki te można przedstawić w następującej postaci:

$$(a \sigma_w) / a \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{i} \quad (a \sigma_{\perp}) / a \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

Z tych warunków można wyprowadzić minimalną wartość grubości efektywnej:

$$a_{1,\min} = a \sigma_w / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})] = 2,03 \text{mm}$$

$$a_{2,\min} = a \sigma_{\perp} / 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 0,33 \text{mm}$$

$$a_{\min} = \max(a_{1,\min}; a_{2,\min}) = 2,03 \text{mm}$$

EN 1993-1-8

Następujące wymagania muszą zostać spełnione: $a \geq 3 \text{mm}$ § 4.5.2(2)

$$l_{\text{eff}} \geq \max(30 \text{mm}; 6a) \quad \text{gdzie} \quad l_{\text{eff}} = L_w - 2a \quad \text{§ 4.5.2(1)}$$

Efektywna grubość spoiny pachwinowej 4mm jest zatem wystarczająca.

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Analiza globalna przekroju brutto blachy węzłowej

Sprawdzenie przekroju brutto 1 $A_{g1} = H_g t_g = 3900\text{mm}^2$

Nośność na ścinanie $V_{g1,pl,Rd} = A_{g1} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 799,34\text{kN}$

$V_{g1,Ed} = \max(N_{1,Ed} \cos \alpha_1; N_{2,Ed} \cos \alpha_2) = 457,82\text{kN}$

$V_{g1,Ed} < V_{g1,pl,Rd}$
OK

Nośność ze względu na siłę osiową

$N_{g1,pl,Rd} = A_{g1} f_y / \gamma_{M0} = 1384,50\text{kN}$

$N_{g1,Ed} = \sum_{i=1}^3 N_{i,Ed} \sin(\alpha_i) = 674,47\text{kN}$

$N_{g1,Ed} < N_{g1,pl,Rd}$
OK

Sprawdzenie przekroju brutto 2 $A_{g2} = L_g t_g = 8700\text{mm}^2$

Nośność na ścinanie $V_{g2,pl,Rd} = A_{g2} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 1783,15\text{kN}$

$V_{g2,Ed} = \sum_{i=1}^3 N_{i,Ed} \sin(\alpha_i) = 674,47\text{kN}$

$V_{g2,Ed} < V_{g2,pl,Rd}$
OK

Nośność ze względu na siłę osiową

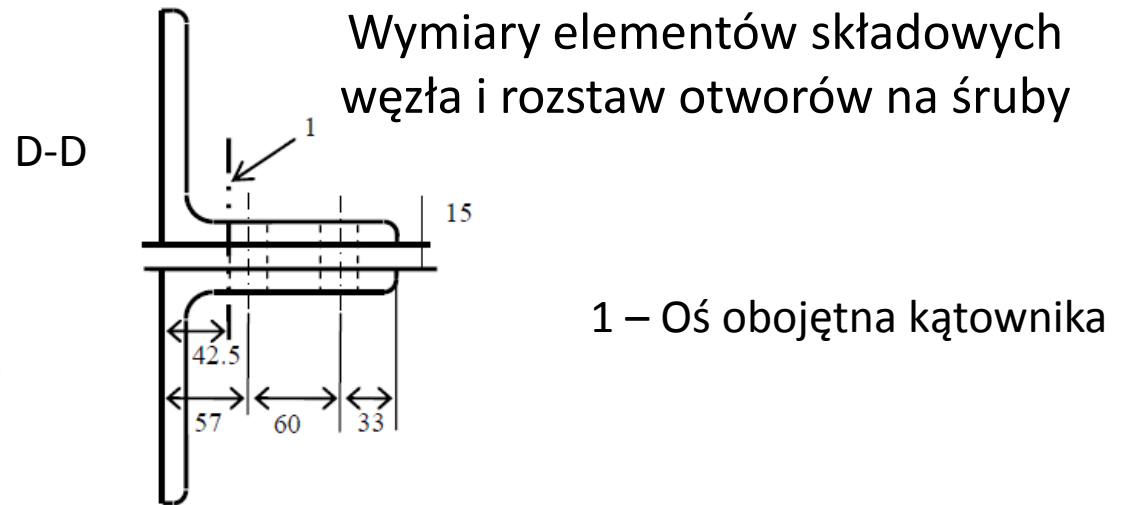
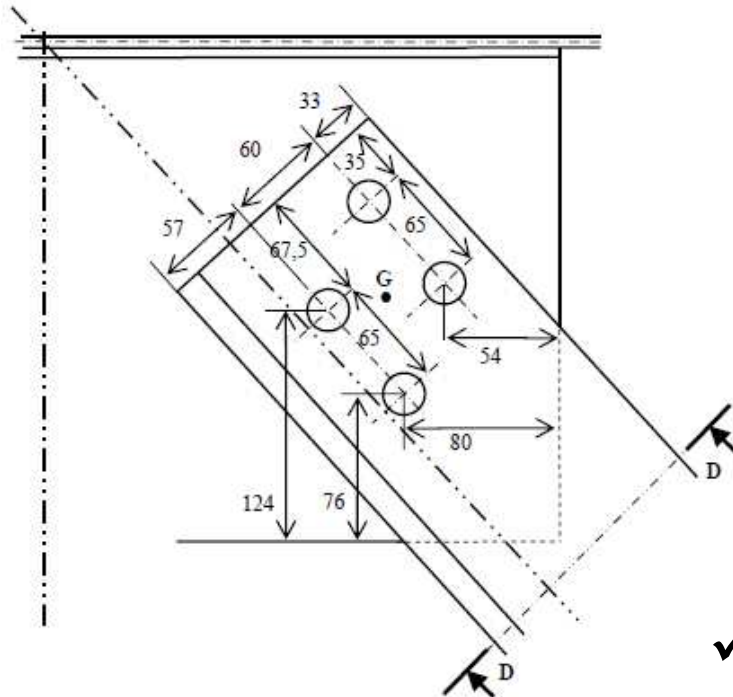
$N_{g2,pl,Rd} = A_{g2} f_y / \gamma_{M0} = 3088,5\text{kN}$

$N_{g2,Ed} = \sum_{i=1}^3 N_{i,Ed} \cos(\alpha_i) = 152,83\text{kN}$

$N_{g2,Ed} < N_{g2,pl,Rd}$
OK

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Połączenie N1 – Połączenie śrubowe pary kątowników do blachy węzłowej



✓ Siły obliczeniowe:

$N_{1,Ed}$ - Normalna siła rozciągająca na mimośrodku $e_{N1} = 44,5\text{mm}$
względem środka ciężkości połączenia

$M_{1,N,Ed}$ - Moment wynikający z istnienia mimośrodu $M_{N,1,Ed} = e_{N1} N_{1,Ed}$

Dla blachy węzłowej: $N_{1,g,Ed} = 406,9\text{kN}$ Dla każdego kątownika: $N_{1,a,Ed} = 203,45\text{kN}$

$M_{1,g,Ed} = 18,11\text{kNm}$ $M_{1,a,Ed} = 9,05\text{kNm}$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Sprawdzenie kątownika

Naprężenia normalne

Zakładając równomierny rozkład obciążenia w przekroju, naprężenie normalne wynosi:

$$\sigma_{x,Ed} = \max \left(\frac{N_{1,a,Ed}}{A_{1,a}} + \frac{M_{1,a,Ed}}{I_{1,a} / v} \right) \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

gdzie:

$A_{1,a}$ – pole przekroju kątownika $A_{1,a} = 4302 \text{ mm}^2$

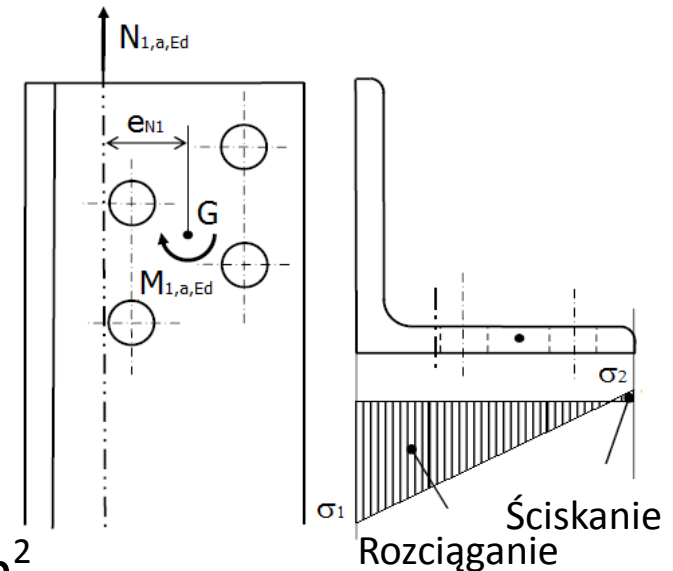
$I_{1,a}$ – moment bezwładności przekroju kątownika $I_{1,a} = 8,981 \times 10^6 \text{ mm}^4$

v – położenie rozpatrywanego włókna skrajnego

$$v_1 = 8 \text{ m} \quad \text{i} \quad v_2 = 6 \text{ m}$$

Otrzymano: $\sigma_1 = -134,99 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_2 = 16,22 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{x,Ed} = \max(\sigma_1, \sigma_2) = 134,99 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \text{ N/mm}^2$$



POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Sprawdzenie blachy węzłowej

Nośność przekroju

Do wyznaczenia przekroju poprzecznego brutto, przyjmuje się rozproszenie siły wewnętrznej $N_{g,Ed}$ pod kątem 45°

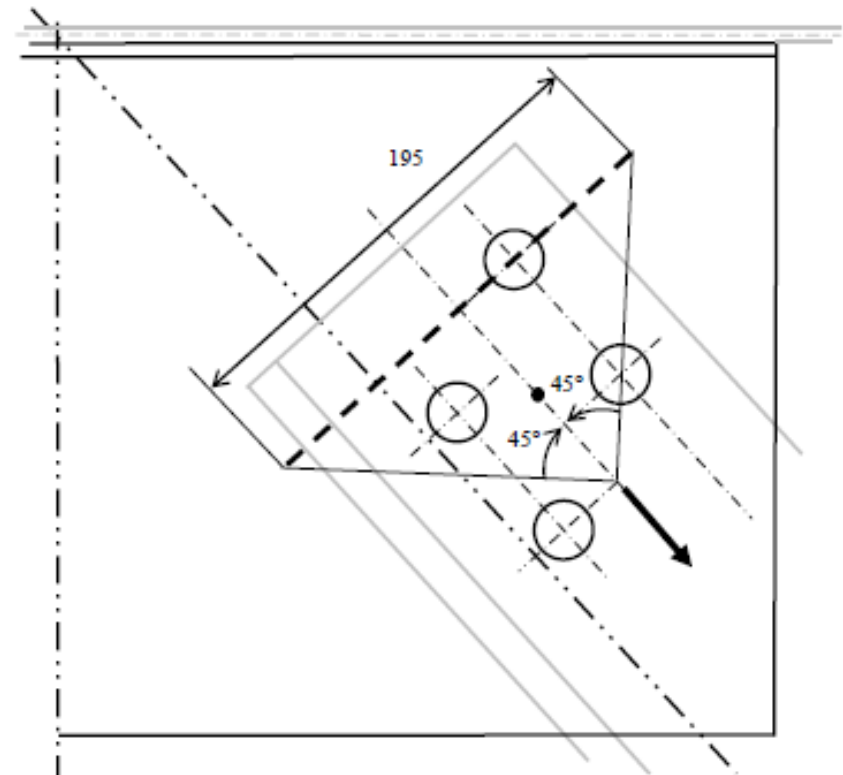
Należy spełnić następujący warunek:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{1,g,Ed}}{A_{1,g}} \pm \frac{M_{1,g,Ed}}{I_{1,g} / \nu} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{1,g} = 195 \times t_g = 2925 \text{mm}^2$$

$$I_{1,g} = t_g \times \frac{195^3}{12} = 9268594 \text{mm}^4$$

$$\nu = +195/2 \text{mm}$$



Rozproszenie siły wewnętrznej pod kątem 45°

$$\sigma_{x,Ed} = 139,11 + 190,51 = 329,62 \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \text{N/mm}^2$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

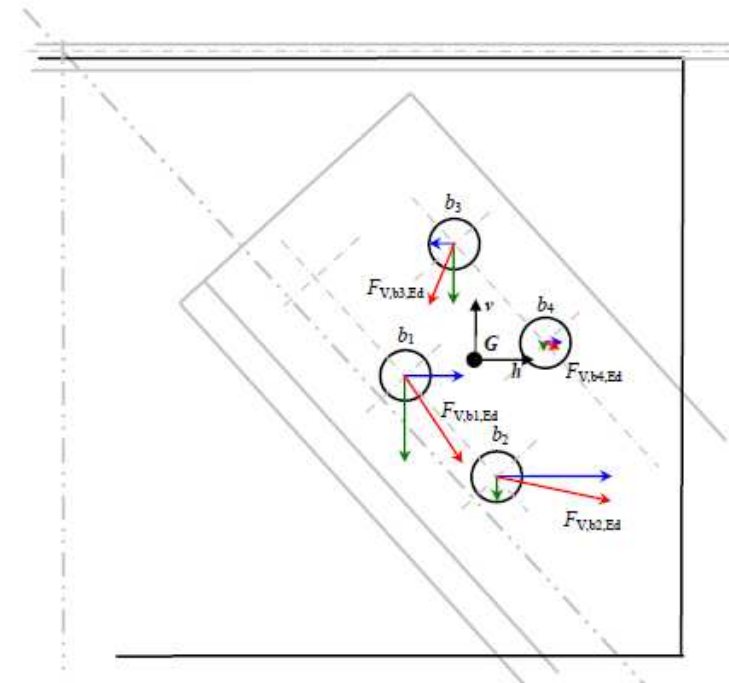
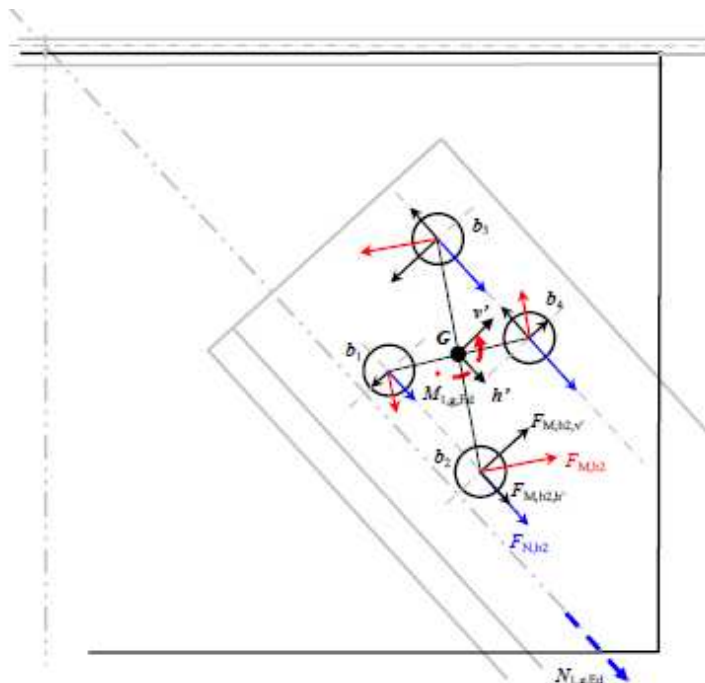
✓ Weryfikacja śrub w odniesieniu do blachy węzłowej

Wyznaczenie obliczeniowej siły ścinającej $F_{V,Ed}$ dla każdej śruby

Ze względu na kierunek siły normalnej $N_{1,Ed}$, obciążenie każdej śruby nie jest równoległe do krawędzi blachy. W rezultacie przeprowadzona zostanie analiza składowych obciążenia ścinającego równoległych i prostopadłych względem krawędzi blachy.

EN 1993-1-8 Tablica 3.4

Obliczenia składowych dokonano w układzie $\{h',v'\}$ a następnie w $\{h,v\}$.



POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Obliczeniowe siły ścinające w układzie odniesienia $\{h', v'\}$

Śruba	b_1	b_2	b_3	b_4
h'_i	-16,25	48,75	-48,75	16,25
v'_i	-30	-30	30	30
r'_i	34,12	57,24	57,24	34,12
$F_{M,bi}$	69,56	116,70	116,70	69,56
$F_{M,bi,h'}$	61,16	61,16	-61,16	-61,16
$F_{M,bi,v'}$	-33,13	99,39	-99,39	33,13
$F_{N,bi}$	101,73	101,73	101,73	101,73
$F_{V,bi,Ed}$	166,22	190,82	107,35	52,37
$F_{V,bi,h',Ed}$	162,89	162,89	40,56	40,56
$F_{V,bi,v',Ed}$	-33,13	99,39	-99,39	33,13

Zmiana układu odniesienia:

$$F_{V,bi,h,Ed} = F_{V,bi,h',Ed} \sin(\alpha_1) + F_{V,bi,v',Ed} \cos(\alpha_1)$$

$$F_{V,bi,v,Ed} = -F_{V,bi,h',Ed} \cos(\alpha_1) + F_{V,bi,v',Ed} \sin(\alpha_1)$$

$$\alpha_1 = 42^\circ$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Obliczeniowe siły ścinające w układzie odniesienia {h, v}

Śruba	b_1	b_2	b_3	b_4
$F_{V,bi,Ed}$	166,22	190,82	107,35	52,37
$F_{V,bi,h,Ed}$	84,37	182,86	-46,72	51,76
$F_{V,bi,v,Ed}$	-143,22	-54,54	-96,65	-7,97

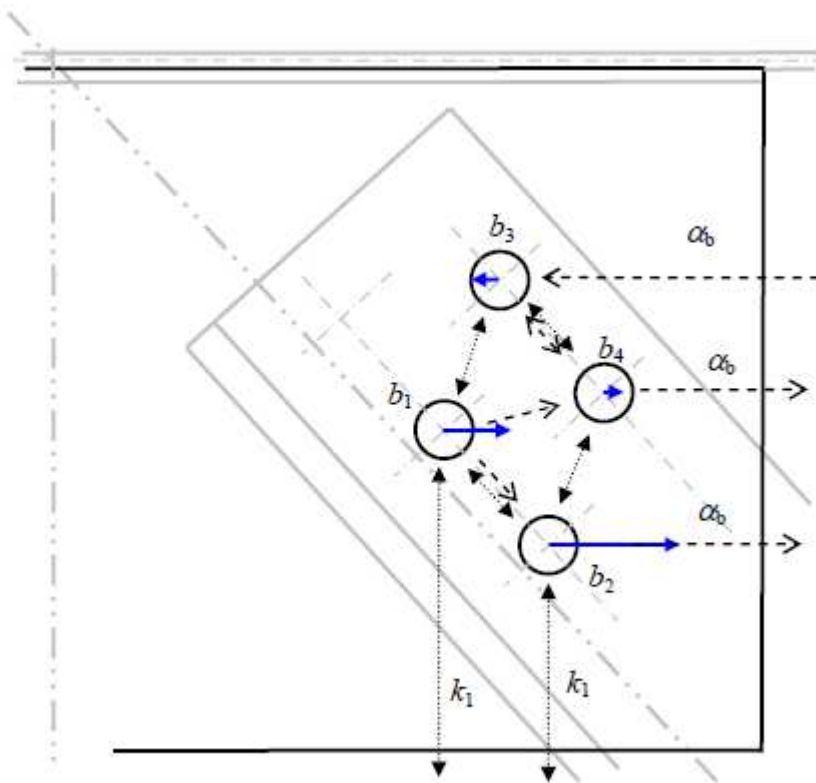
Rozmieszczenie śrub

Odległość lub rozstaw	Wartość minimalna	Wartość przyjęta	Wartość maksymalna
$\min\{e_1; e_2\}$	31,2	54	
$\min\{p_1; p_2\}$	57,2	60	
$\max\{p_1; p_2\}$		65	200

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Wyznaczenie obliczeniowej nośności na docisk $F_{b,Rd}$ każdej śruby

Obciążenie poziome



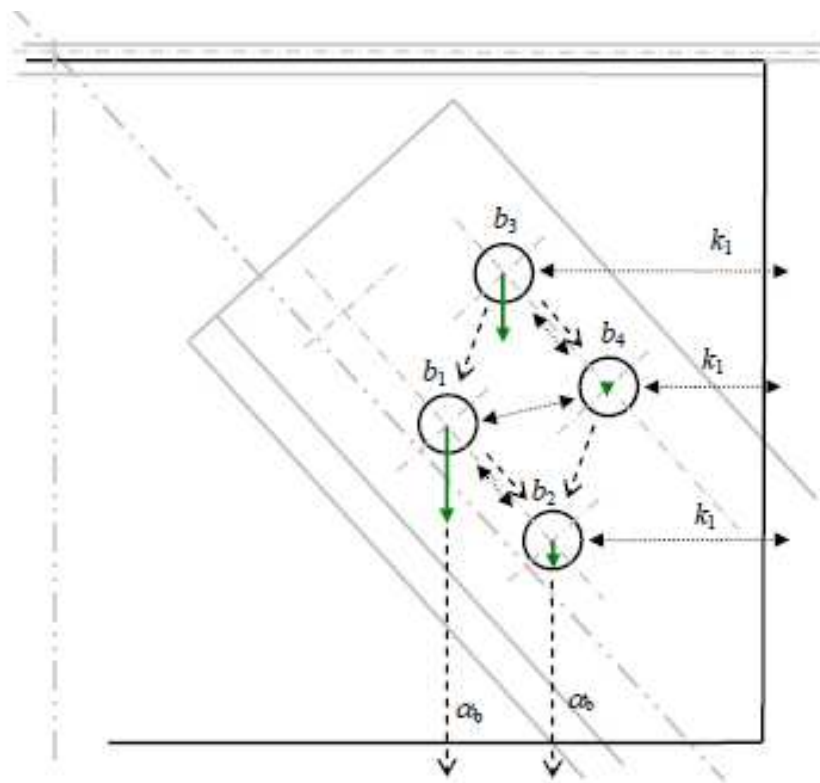
Śruba	b_1	b_2	b_3	b_4
e_1		80		54
e_2	124	76		
p_1	65 ¹⁾		65	
p_2	65 ¹⁾	65 ¹⁾	65 ¹⁾	65 ¹⁾
α_b	$\alpha_{b,inner}$	$\alpha_{b,end}$	$\alpha_{b,inner}$	$\alpha_{b,end}$
	0,58	1,00	0,58	0,69
k_1	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,inner}$	$k_{1,inner}$
	1,80	1,80	1,80	1,80
$F_{b,bi,h,Rd}$	154,22	264,38	154,22	183,04

1) $\min\{65;L\}$

2) $k_{1,min} = \min\{k_{1,inner};k_{1,end}\}$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Obciążenie pionowe



Bolt	b_1	b_2	b_3	b_4
e_1	124	76		
e_2		80	98	54
p_1			65 ¹⁾	65 ¹⁾
p_2	65 ¹⁾	65	65	65 ¹⁾
α_b	$\alpha_{b,end}$	$\alpha_{b,end}$	$\alpha_{b,inner}$	$\alpha_{b,inner}$
	1,00	0,97	0,58	0,58
k_1	$k_{1,inner}$	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,min}^{2)}$
	1,80	1,80	1,80	1,80
$F_{b,bi,v,Rd}$	264,38	257,60	154,22	154,22

$$1) \min\{65; L\}$$

$$2) k_{1,min} = \min\{k_{1,inner}; k_{1,end}\}$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Wyznaczenie obliczeniowej nośności na poślizg $F_{S,Rd}$

EN 1993-1-8

Śruby w otworach normalnych $\Rightarrow k_s = 1,0$

Tablica 3.6

Klasa powierzchni ciernych: Klasa A $\Rightarrow \mu = 0,5$

Tablica 3.7

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

Siła sprężenia: $F_{p,c} = 0,7 f_{u,b} A_s = 0,7 \times 1,000 \times 353 = 247,1\text{kN}$

Przy liczbie powierzchni ciernych $n = 2$ w odniesieniu do blachy węzłowej, otrzymano:

EN 1993-1-8 § 3.9.1(1)

$$F_{S,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} = 197,68\text{kN}$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Sprawdzenie pojedynczych śrub

EN 1993-1-8 Tablica 3.2 i Tablica 3.4

Każda śruba musi zostać poddana weryfikacji. Najwyższe wartości nośności nie zawsze odpowiadają najbardziej obciążonym śrubom.

W tym przypadku zaprezentowano sprawdzenia tylko dla śrub b_1 i b_2 :

$$|F_{V,b1,Ed}| = 166,22 < F_{S,Rd} = 197,68\text{kN}$$

$$|F_{V,b1,h,Ed}| = 84,37 < F_{b,b1,h,Rd} = 154,22\text{kN}$$

$$|F_{V,b1,v,Ed}| = 143,22 < F_{b,b1,v,Rd} = 264,38\text{kN}$$

$$\left(\frac{F_{V,b1,h,Ed}}{F_{b,b1,h,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,b1,v,Ed}}{F_{b,b1,v,Rd}}\right)^2 = 0,59 < 1$$

$$|F_{V,b2,Ed}| = 190,82 < F_{S,Rd} = 197,68\text{kN}$$

$$|F_{V,b2,h,Ed}| = 182,86 < F_{b,b2,v,Rd} = 264,38\text{kN}$$

$$|F_{V,b2,v,Ed}| = 54,54 < F_{b,b2,h,Rd} = 257,60\text{kN}$$

$$\left(\frac{F_{V,b2,h,Ed}}{F_{b,b2,h,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,b2,v,Ed}}{F_{b,b2,v,Rd}}\right)^2 = 0,52 < 1$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Sprawdzenie grupy łączników

Uwzględniając fakt, że płaszczyzna ścinania przechodzi przez gwintowaną część trzpienia śruby w otworach normalnych:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_v = 0,5 \\ A = A_s = 353\text{mm}^2 \end{array} \right\} \rightarrow F_{v,Rd} = 141,12\text{kN} < \begin{cases} F_{b,bi,h,Rd} \rightarrow F_{gr,b,h,Rd} = n_{bi} \times \min F_{b,bi,h,Rd} \\ F_{b,bi,v,Rd} \rightarrow F_{gr,b,v,Rd} = n_{bi} \times \min F_{b,bi,v,Rd} \end{cases}$$

EN 1993-1-8 § 3.7

gdzie n_{bi} jest liczbą łączników

Dla składowych poziomych:

$$N_{1,g,Ed} \sin(\alpha_1) = 272,27 < F_{gr,b,h,Rd} = 616,90\text{kN}$$

Dla składowych pionowych:

$$N_{1,g,Ed} \cos(\alpha_1) = 302,39 < F_{gr,b,v,Rd} = 616,90\text{kN}$$

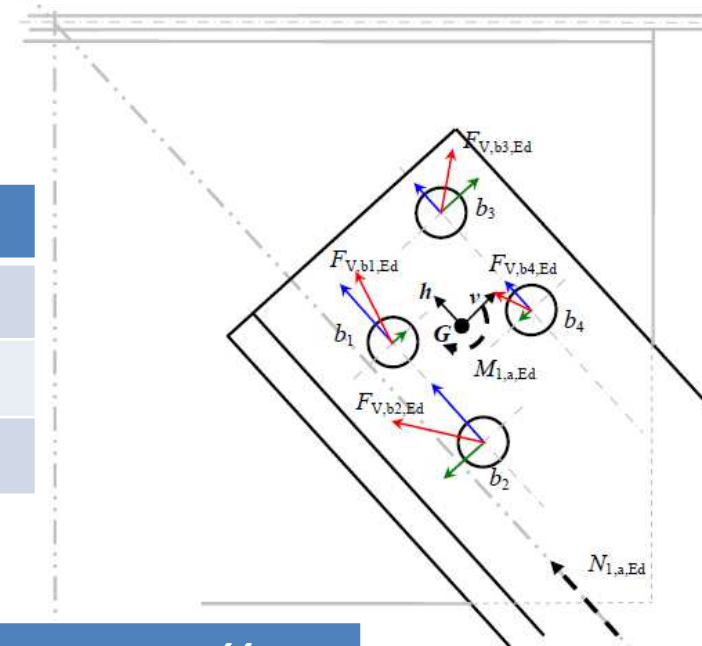
POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Weryfikacja śrub w odniesieniu do kątownika

Wyznaczenie obliczeniowej siły ścinającej $F_{V,Ed}$ dla każdej śruby

Poniższe wyniki zostały uzyskane na podstawie obliczeń przeprowadzonych w odniesieniu do blachy węzłowej w układzie $\{h',v'\}$.

Śruba	b_1	b_2	b_3	b_4
$F_{V,bi,Ed}$	83,11	95,41	53,67	26,19
$F_{V,bi,h,Ed}$	81,44	81,44	20,28	20,28
$F_{V,bi,v,Ed}$	16,57	-49,70	49,70	-16,57



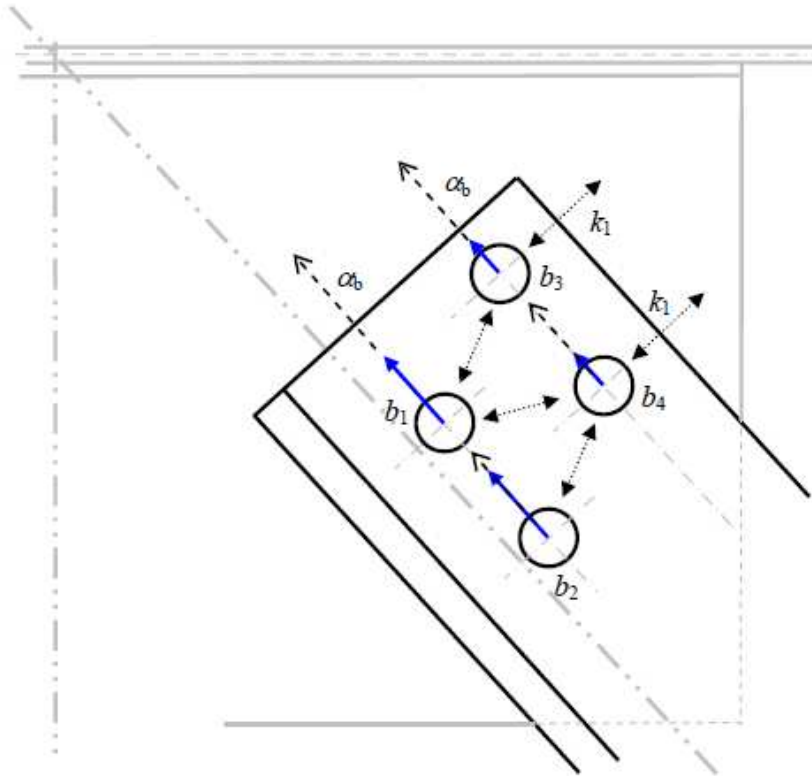
Rozmieszczenie śrub

Odległość lub rozstaw	Wartość minimalna	Wartość przyjęta	Wartość maksymalna
$\min\{e_1; e_2\}$	31,2	33	
$\min\{p_1; p_2\}$	57,2	60	
$\max\{p_1; p_2\}$		65	200

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Wyznaczenie obliczeniowej nośności na docisk $F_{b,Rd}$ każdej śruby

Obciążenie poziome



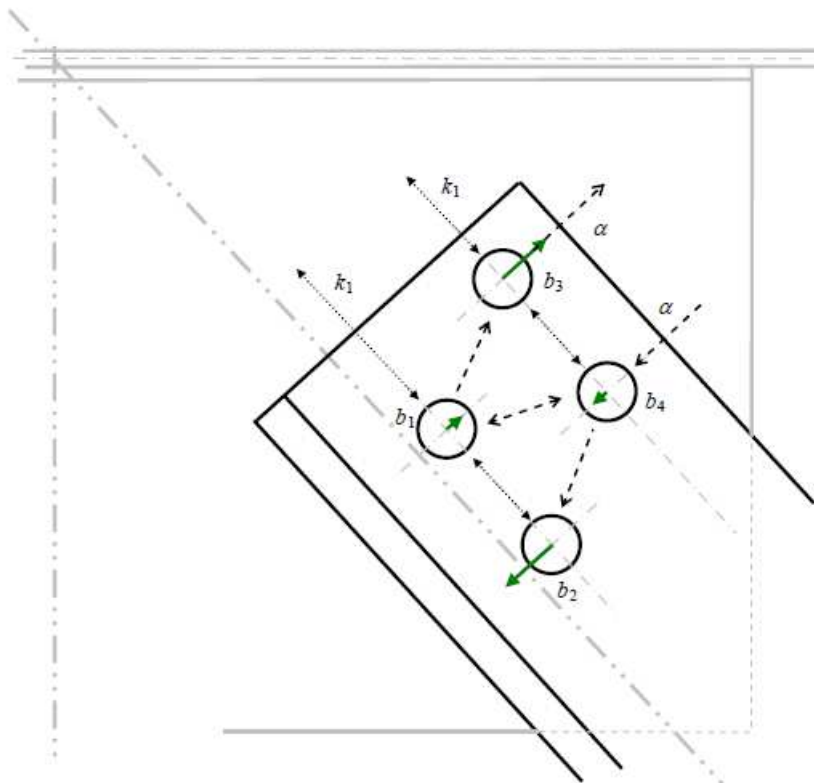
Bolt	b_1	b_2	b_3	b_4
e_1	67,5		35	
e_2			33	33
p_1		65		65
$p_2^{1)}$	68,24	68,24	68,24	68,24
α_b	$\alpha_{b,end}$	$\alpha_{b,inner}$	$\alpha_{b,end}$	$\alpha_{b,inner}$
	0,87	0,58	0,45	0,58
k_1	$k_{1,inner}$	$k_{1,inner}$	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,min}^{2)}$
	1,97	1,97	1,85	1,85
$F_{b,bi,h,Rd}$	250,95	169,16	122,18	158,84

1) zachowano odległość L

2) $k_{1,min} = \min\{k_{1,inner}; k_{1,end}\}$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Obciążenie pionowe



Bolt	b_1	b_2	b_3	b_4
e_1			33	
e_2	67,5		35	
$p_1^{1)}$	68,24	68,24		68,24
p_2	65	65	65	65
α_b	$\alpha_{b,inner}$	$\alpha_{b,inner}$	$\alpha_{b,end}$	$\alpha_{b,inner}$
	0,62	0,62	0,42	0,62
k_1	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,inner}$	$k_{1,min}^{2)}$	$k_{1,inner}$
	1,80	1,80	1,80	1,80
$F_{b,bi,v,Rd}$	165,19	165,19	111,85	165,19

1) zachowano odległość L

2) $k_{1,min} = \min\{k_{1,inner}; k_{1,end}\}$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Wyznaczenie obliczeniowej nośności na poślizg $F_{s,Rd}$

EN 1993-1-8

Śruby w otworach normalnych => $k_s = 1,0$

Tablica 3.6

Klasa powierzchni ciernych: Klasa A => $\mu = 0,5$

Tablica 3.7

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

$$F_{p,c} = 0,7 f_{u,b} A_s = 0,7 \times 1,000 \times 353 = 247,1\text{kN}$$

Siła sprężenia:

Przy liczbie powierzchni ciernych $n = 1$ w odniesieniu kątownika, otrzymano:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} = 98,84\text{kN}$$

EN 1993-1-8 § 3.9.1(1)

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

Sprawdzenie pojedynczych śrub

Każda śruba musi zostać poddana weryfikacji. W tym przypadku zaprezentowano sprawdzenie tylko dla śruby b_2 :

$$F_{V,b2,Ed} = 95,41\text{kN} < F_{S,Rd} = 98,84\text{kN}$$

$$F_{V,b2,h,Ed} = 81,44\text{kN} < F_{b,b2,h,Rd} = 169,16\text{kN}$$

$$F_{V,b2,v,Ed} = 49,70\text{kN} < F_{b,b2,v,Rd} = 165,19\text{kN}$$

$$\left(\frac{F_{V,b2,h,Ed}}{F_{b,b2,h,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{V,b2,v,Ed}}{F_{b,b2,v,Rd}} \right)^2 = 0,32 < 1$$

Sprawdzenie grupy łączników

W przypadku kątownika można uwzględnić tylko obciążenie poziome:

$$N_{1,a,Ed} = 203,45 < F_{gr,b,h,Rd} = 488,73\text{kN}$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Sprawdzenie przekroju netto blachy węzłowej EN 1993-1-8 § 3.4.1(1) c)

i Tablica 3.2

W przypadku połączenia rozciąganego, należy poddać weryfikacji przekroje netto łączonych elementów.

Należy sprawdzić przekrój oznaczony 1.

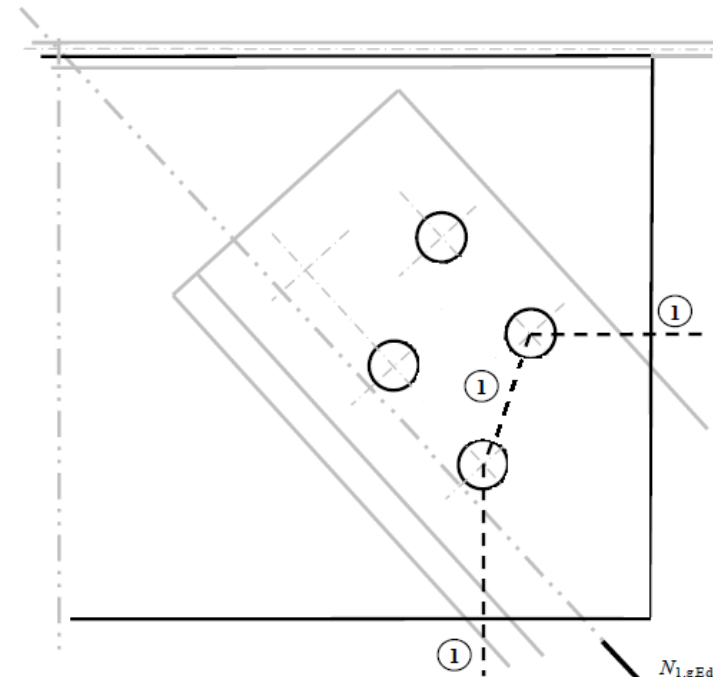
Przekrój ten musi spełniać warunek:

$$n_b \frac{N_{1,g,Ed}}{n_{bt}} \leq \frac{A_{net1} f_y}{\gamma_{M0}}$$

gdzie:

$n_{bt} = 4$ całkowita liczba śrub w połączeniu

$n_b = 2$ liczba śrub w odniesieniu do analizowanego przekroju



Przy $A_{net1} = 2194 \text{mm}^2$, warunek:
został spełniony

$$n_b \frac{N_{1,g,Ed}}{n_{bt}} = 203,4 \leq \frac{A_{net1} f_y}{\gamma_{M0}} = 778 \text{kN}$$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

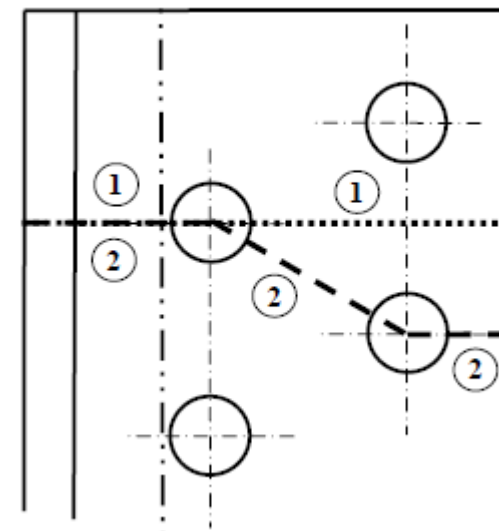
✓ Sprawdzenie przekroju netto kątownika

EN 1993-1-1 § 6.2.3(1),(4)

Należy spełnić warunek:

$$N_{1,a,Ed} \leq N_{1,a,net,Rd} = \frac{A_{1,a,net} f_y}{\gamma_{M0}}$$

Przekroje netto kątownika pokazano na rysunku



Przy $A_{1,a,net} = \min(A_{1,a,net1}, A_{1,a,net2}) = \min(3912, 3588) = 3588 \text{mm}^2$

warunek jest spełniony: $N_{1,a,Ed} = 203,45 \leq N_{1,a,net,Rd} = 1317,52 \text{kN}$

POŁĄCZENIE SKRATOWANIA Z PASEM

✓ Rozerwanie blokowe blachy węzłowej

Grupa śrub jest poddana obciążeniu mimośrodowemu i wymagane jest sprawdzenie:

$$N_{1,g,Ed} \leq V_{eff,2,Rd}$$

gdzie:
$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Przy $A_{nt} = 633,6\text{mm}^2$ i $A_{nv} = 3533,1\text{mm}^2$,
warunek jest spełniony:

$$N_{1,g,Ed} = 406,9 \leq V_{eff,2,Rd} = 853,4\text{kN}$$

✓ Rozerwanie blokowe kątownika

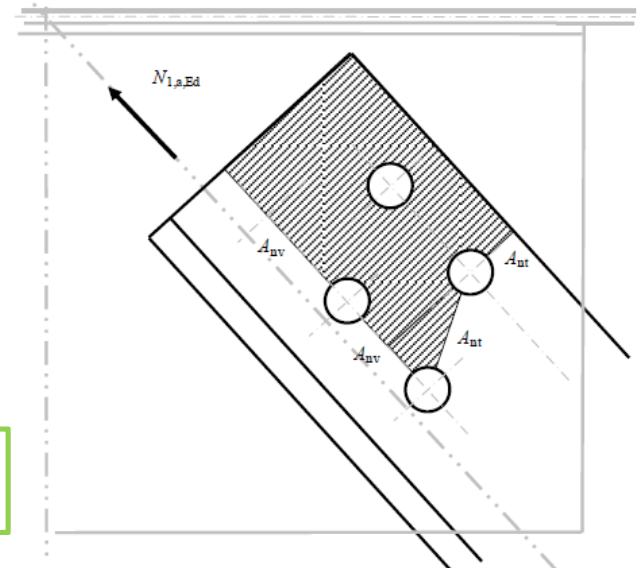
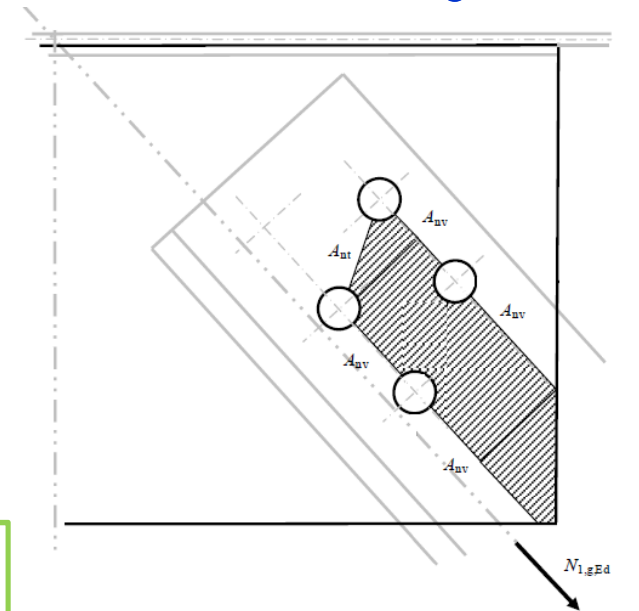
Grupa śrub jest poddana obciążeniu mimośrodowemu i wymagane jest sprawdzenie:

$$N_{1,a,Ed} \leq V_{eff,2,Rd}$$

Przy $A_{nt} = 933,6\text{mm}^2$ i $A_{nv} = 1402,5\text{mm}^2$,
warunek jest spełniony :

$$N_{1,a,Ed} = 203,45 \leq V_{eff,2,Rd} = 477,91\text{kN}$$

EN 1993-1-8 § 3.10.2



PODSUMOWANIE



Program
Uczenie się
przez całe życie

PODSUMOWANIE

- **W prezentacji przedstawiono przykład obliczeniowy ilustrujący praktyczne zastosowanie procedur projektowania kratownic w budynkach jednokondygnacyjnych.**
- **Przykład obliczeniowy zawiera opis kształtowania detali konstrukcyjnych, analizę statyczną, jak również wymiarowanie elementów kratownicy (pasów i skratowania) oraz połączeń (styk montażowy pasa, połączenie prętów skratowania z pasem).**

BIBLIOGRAFIA



Program
Uczenie się
przez całe życie

REFERENCES

- 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



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.

