

## 5. POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

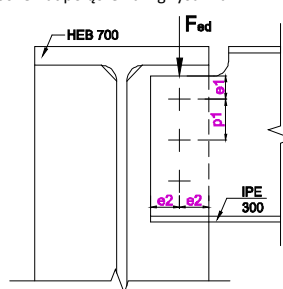
## 5.1 POŁĄCZENIE BELKI STROPOWEJ z PODCIĄGIEM:

Połączenie zakładkowe kategorii "A" musi spełniać wymagania określone w tablicy 3.2 w PN-EN 1993-1-8.

Rozstaw łączników w połączeniu musi spełniać wymagania normowe określone w tablicy 3.3. Odległości normowe oznaczone są przez symbole "e" oraz "p".

Symbol "e" oznacza odległość od osi łącznika do skrajki blachy, natomiast symbol "p" oznacza rozstaw śrub. W połączeniach śrubowych przyjmuje się układ odniesienia oznaczony kierunkami "1" i "2". Indeks "1" oznacza kierunek wzdłuż działającego obciążenia, indeks "2" oznacza kierunek prostopadły do działającego obciążenia. Wyróżnia się zatem odległości e1, e2, p1, p2.

Schemat połączenia wg rysunku:



Dane:

Zastosowano 3 śruby M16 kl. 6.8

Z tabl. 3.1 odczytano  $f_{yb} = 480,00$  [MPa]

Z tabl. 3.1 odczytano  $f_{ub} = 600,00$  [MPa]

śr. śruby  $d = 16,00$  [mm]

otwór  $d_o = 18,00$  [mm]

pole przekroju trzpienia śruby  $A = 201,06$  [mm<sup>2</sup>] - wg tablicy Z2-2 w PN-90/B-03200

Blachy poddane dociskowe:

średnik IPE 300  $t_w = 7,10$  [mm]

żebro  $t_{s1} = 12,00$  [mm]

żebro podporowe  $t_{s2} = 25,00$  [mm]

O nośności decyduje najcieńsza z blach, czyli średnik belki.

Stal S275:

$f_y = 275,00$  [MPa]

$f_u = 430,00$  [MPa]

Współczynniki częściowe nośności:

$\gamma_{mo} = 1,00$

$\gamma_{m2} = 1,25$

- wg normy PN-EN 1993-1-8

Rozstaw śrub w połączeniu w [mm] (minimalne rozstawy na podstawie tabl. 3.3):

|    |       |                        |       |      |
|----|-------|------------------------|-------|------|
| e1 | 40,00 | min. $1,2 \cdot d_o =$ | 21,60 | [mm] |
| e2 | 50,00 | min. $1,2 \cdot d_o =$ | 21,60 | [mm] |
| p1 | 70,00 | min. $2,2 \cdot d_o =$ | 39,60 | [mm] |

Nośność pojedynczego łącznika wyznaczono na podstawie wzorów z tabl. 3.4:

Nośność pojedynczego łącznika na ścinanie:  $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| współczynnik $\alpha_v =$ | 0,60   |
| $f_{ub} =$                | 600,00 |
| $A = \pi \cdot d^2 / 4 =$ | 201,06 |
| $\gamma_{m2} =$           | 1,25   |
| $F_{v,Rd} =$              | 57,91  |

[N/mm<sup>2</sup>]

[mm<sup>2</sup>] - płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez część gwintowaną śruby

[kN]

Nośność pojedynczego łącznika ze względu na docisk do ścianek otworu (średnika IPE300):

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_w}{\gamma_{M2}}$$

Współczynnik  $k_1$  ustala się odrębnie dla śrub skrajnych, odrębnie dla śrub pośrednich:

|                                                                |      |                                                                  |      |
|----------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------|------|
| śruba skrajna $k_1 = \min\{2,8 \cdot e_2 / d_o - 1,7; 2,5\} =$ | 2,50 | śruba pośrednia $k_1 = \min\{1,4 \cdot p_2 / d_o - 1,7; 2,5\} =$ | 2,50 |
| $2,8 \cdot e_2 / d_o - 1,7 =$                                  | 6,08 | $2,8 \cdot p_2 / d_o - 1,7 =$                                    | 0,00 |
| $2,5 =$                                                        | 2,50 | $2,5 =$                                                          | 2,50 |

Współczynniki  $\alpha_b$  wyznacza się odrębnie dla śrub skrajnych, odrębnie dla śrub pośrednich:

|                                                                             |      |                                                                                   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| śruba skrajna $\alpha_b = \min\{e_1 / (3 \cdot d_o); f_{ub} / f_u; 1,0\} =$ | 0,74 | śr. pośrednia $\alpha_b = \min\{p_1 / (3 \cdot d_o) - 1/4; f_{ub} / f_u; 1,0\} =$ | 1,00 |
| $e_1 / (3 \cdot d_o) =$                                                     | 0,74 | $p_1 / (3 \cdot d_o) - 1/4 =$                                                     | 1,05 |
| $f_{ub} / f_u =$                                                            | 1,40 | $f_{ub} / f_u =$                                                                  | 1,40 |
| $1,0 =$                                                                     | 1,00 | $1,0 =$                                                                           | 1,00 |

Nośności pojedynczego łącznika (śruby) wynoszą:

|                                                                 |        |      |
|-----------------------------------------------------------------|--------|------|
| Nośność śruby skrajnej na docisk $F_{b,Rd,1} =$                 | 72,37  | [kN] |
| Nośność śruby pośredniej na docisk $F_{b,Rd,2} =$               | 97,70  | [kN] |
| Nośność śruby na ścinanie $F_{v,Rd,1} =$                        | 57,91  | [kN] |
| Siła obciążająca połączenie $F_{v,ed} =$                        | 117,75 | [kN] |
| siła obciążająca pojedynczą śrubę $F_{v,ed,1} = F_{v,ed} / n =$ | 39,25  | [kN] |

Warunki nośności mają postać:

|                              |                       |        |                             |
|------------------------------|-----------------------|--------|-----------------------------|
| liczba śrub w połączeniu n = |                       | 3,00   |                             |
|                              | n * Fv,rd,1 =         | 173,72 | < Fv,ed - warunek spełniony |
|                              | 2*Fb,rd,1 + Fb,rd,2 = | 242,43 | < Fv,ed - warunek spełniony |

Nośność połączenia zapewniona

Warunek nośności ze względu na rozzerwanie blokowe blachy (wg punktu 3.10.2) ma postać  $V_{eff,1,Rd} > F_{v,ed}$ :

Nośność połączenia:  $V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M2} \sqrt{3}}$

|                                                                        |           |                    |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|
| pole rozciągane blachy $A_{nt} = (e_2 - d_o / 2) t_w =$                | 291,10    | [mm <sup>2</sup> ] |
| pole ścinane blachy $A_{nv} = (e_1 + p_1 + p_1 - 2,5 \cdot d_o) t_w =$ | 958,50    | [mm <sup>2</sup> ] |
| $V_{eff,1,Rd} =$                                                       | 252320,71 | [N]                |
| $V_{eff,1,Rd} =$                                                       | 252,32    | [kN]               |
| $F_{v,ed} =$                                                           | 117,75    | [kN]               |

Nośność połączenia jest zapewniona  $V_{eff,1,Rd} > F_{v,ed}$ .

5.2 STYK MONTAŻOWY PODCIĄGU

Kategoria połączenia.

Styk zaprojektowano wg metody "na siłę" jako połączenie kategorii "C" wg PN-EN 1993-1-8. Połączenie kategorii "C" musi spełniać następujące wymagania:

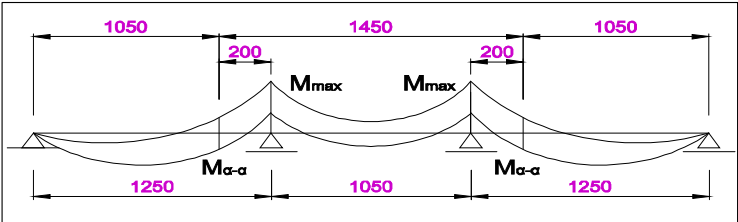
- 1) warunek poślizgu -  $F_{v,ed} < F_{s,rd}$
- 2) warunek docisku -  $F_{v,ed} < F_{b,rd}$
- 3) warunek nośności przekroju osłabionego otworami  $F_{v,ed} < N_{net,rd}$

Gdzie  $F_{v,ed}$  to wypadkowa siła ścinająca śrubę.

Siły obciążające połączenie -  $F_{ed}$ .

Styki montażowe znajdować się będą w odległości 2,0m na lewo i na prawo od podpory środkowej (B i C). Do obliczeń przyjęto siły  $F_{ed}$  ( $M_{ed}$ ,  $T_{ed}$ ) = max [ $F_{\alpha-\alpha}$ ; 0,5 $F_{max}$ ].  $F_{\alpha-\alpha}$  - siły w przekroju, w którym znajduje się styk montażowy,  $F_{max}$  - siły odczytane z przekroju najbardziej wyężonego (podpora pośrednia B).

|                       |                       |           |            |              |        |       |
|-----------------------|-----------------------|-----------|------------|--------------|--------|-------|
| $M_{\alpha-\alpha}$ : | $T_{\alpha-\alpha}$ : | 0,5M,max: | 0,5*T,max: | $M_{y,ed}$ = | 696,13 | [kNm] |
| 325,19                | 235,45                | 696,13    | 297,17     | $V_{z,ed}$ = | 297,17 | [kN]  |



Udział poszczególnych części przekroju w przenoszeniu momentu zginającego:

a) moment przenoszony przez środnik  $M_{w,ed}=M_{y,ed}*(J_w/J_y)$ :

|              |           |                    |
|--------------|-----------|--------------------|
| $J_w$ =      | 88733,33  | [cm <sup>4</sup> ] |
| $J_y$ =      | 377276,00 | [cm <sup>4</sup> ] |
| $M_{w,ed}$ = | 163,72    | [kNm]              |

b) moment przenoszony przez pasy  $M_{f,ed}=M_{y,ed}-M_{w,ed}$ :

|              |        |       |
|--------------|--------|-------|
| $M_{f,ed}$ = | 532,40 | [kNm] |
|--------------|--------|-------|

Geometria połączenia:

Grubość blach nakładek ( $t_n$ ) i przyładek ( $t_p$ ) dobrano tak aby o zniszczeniu połączenia decydowała geometria przekroju podciagu tj. środnika ( $t_w$ ) i pasa ( $t_f$ ). Grubość nakładek przyjęto ze wzoru  $t_n=t_f/2+2$ mm, natomiast grubość blach przyładek przyjęto ze wzoru  $t_p=t_w/2+2$ mm. Wymiary  $t_n$  i  $t_p$  zaokrąglono do pełnych milimetrów.

|         |       |      |                       |       |      |
|---------|-------|------|-----------------------|-------|------|
| $t_f$ = | 20,00 | [mm] | gr. nakładki $t_n$ =  | 12,00 | [mm] |
| $t_w$ = | 8,00  | [mm] | gr. przyładek $t_p$ = | 6,00  | [mm] |

Połączenie kat. "C" to połączenie sprężane, dlatego zastosowano śruby HV

|                           |                      |                   |                      |
|---------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
|                           | Połączenie środnika: | Połączenie pasów: |                      |
| typ śruby =               | M20 kl.8.8           | M20 kl.8.8        |                      |
| średnica śruby d=         | 20,00                | 20,00             | [mm]                 |
| $f_{yb}$ =                | 640,00               | 640,00            | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| $f_{ub}$ =                | 800,00               | 800,00            | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| średnica otworu do =      | 22,00                | 22,00             | [mm]                 |
| pole czynne śruby $A_s$ = | 245,00               | 245,00            | [mm <sup>2</sup> ]   |

Średnice otworu okrągłego na śrubę przyjęto wg normy PN-EN 1090 jako  $do=d+\Delta d$ .

Minimalne/maksymalne odległości śrub w połączeniu wg tab. 3.3 normy:

Dla środnika  $t=\min[t_w;2*t_p]$

Odległość od obciążonej krawędzi blachy - e1:

|                                                  |       |      |                              |        |
|--------------------------------------------------|-------|------|------------------------------|--------|
| $e1,min = 1,2*do$                                | 26,40 | [mm] | Rozstaw śrub w szeregu - p1: |        |
| $e1,max = 4*t+40mm$                              | 72,00 |      | $p1,min=2,2*do$              | 48,40  |
|                                                  |       |      | $p1,max=\min[14*t;200]$      | 112,00 |
| Odległość od nieobciążonej krawędzi blachy - e2: |       |      | Rozstaw śrub w rzędzie - p2: |        |
| $e2,min = 1,2*do$                                | 26,40 | [mm] | $p2,min=2,4*do$              | 52,80  |
| $e2,max = 4*t+40mm$                              | 72,00 |      | $p2,max=\min[14*t;200]$      | 112,00 |

Minimalny rozstaw śrub z warunku swobodnego dokręcenia śruby (M12-M30) :

$p1$  i  $p2 > 2,5*do+5mm = 60,00$

Ostatecznie przyjęto:

|        |       |        |        |
|--------|-------|--------|--------|
| $e1$ = | 50,00 | $p1$ = | 100,00 |
| $e2$ = | 50,00 | $p2$ = | 100,00 |

Dla pasa  $t=\min[t_f;2*t_n]$

Odległość od obciążonej krawędzi blachy - e1:

|                                                  |        |      |                              |        |
|--------------------------------------------------|--------|------|------------------------------|--------|
| $e1,min = 1,2*do$                                | 26,40  | [mm] | Rozstaw śrub w szeregu - p1: |        |
| $e1,max = 4*t+40mm$                              | 120,00 |      | $p1,min=2,2*do$              | 48,40  |
|                                                  |        |      | $p1,max=\min[14*t;200]$      | 200,00 |
| Odległość od nieobciążonej krawędzi blachy - e2: |        |      | Rozstaw śrub w rzędzie - p2: |        |
| $e2,min = 1,2*do$                                | 26,40  | [mm] | $p2,min=2,4*do$              | 52,80  |
| $e2,max = 4*t+40mm$                              | 120,00 |      | $p2,max=\min[14*t;200]$      | 200,00 |

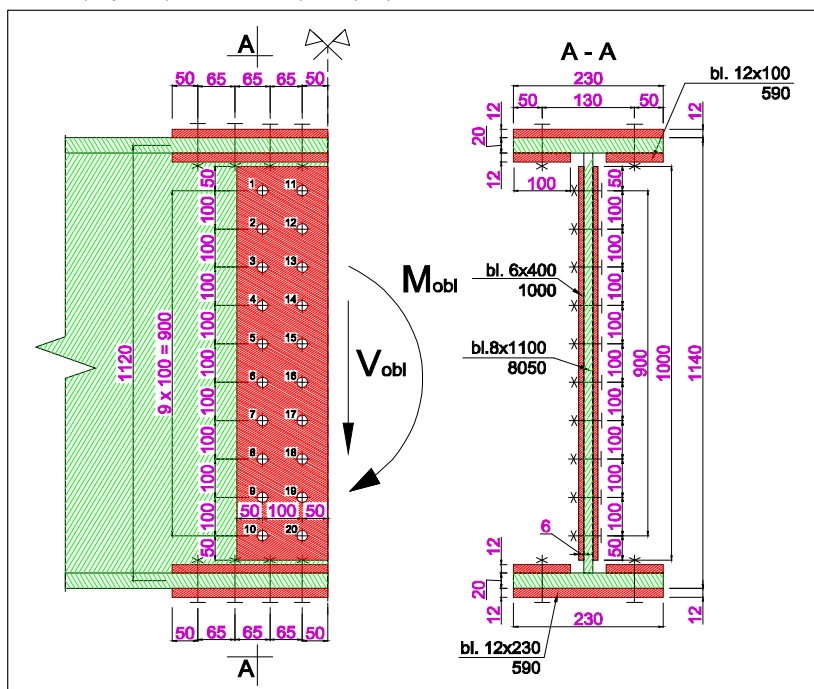
Minimalny rozstaw śrub z warunku swobodnego dokręcenia śruby (M12-M30) :

$p1$  i  $p2 > 2,5*do+5mm = 60,00$

Ostatecznie przyjęto:

|        |       |        |        |
|--------|-------|--------|--------|
| $e1$ = | 50,00 | $p1$ = | 65,00  |
| $e2$ = | 50,00 | $p2$ = | 130,00 |

Geometrie połączenia przedstawiono na poniższym rysunku:



### 5.2.1 POŁĄCZENIE ŚRODNIKA:

#### 5.2.1.1 Dobór ilości łączników

Wysokość przykładki środnika  $h_p = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot a$

|                                    |                |      |
|------------------------------------|----------------|------|
| $h =$                              | 1140,00        | [mm] |
| $t_f =$                            | 20,00          | [mm] |
| prześwit na spoine $a =$           | 30,00          | [mm] |
| $h_p =$                            | 1040,00        | [mm] |
| <b>Przyjęto <math>h_p =</math></b> | <b>1000,00</b> | [mm] |

Porównanie momentów bezwładności środnika i przykładki, w celu określenia, który z tych elementów decyduje o nośności:

|                                          |               |                    |
|------------------------------------------|---------------|--------------------|
| $J_w = t_w \cdot h_w^3 / 12 =$           | 887333333,33  | [mm <sup>4</sup> ] |
| $J_p = 2 \cdot (t_p \cdot h_p^3 / 12) =$ | 1000000000,00 | [mm <sup>4</sup> ] |

$J_w > J_p$  to znaczy, że zgodnie z wcześniejszym założeniem, o nośności decyduje środek. W związku z czym dalsze obliczenia wykonywane są dla wymiarów środnika.

Orientacyjną ilość śrub w środniku można wyznaczyć ze wzoru:  $n = (5,2 \cdot M_{w,ed}) / (F_s \cdot r_d \cdot h_{max})$

Nośność śruby na poślizg wg punktu 3.9.1 PN-EN -  $F_{s,r,d} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p,c} / \gamma_{m3}$ , gdzie siła sprężenia  $F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$

|                                                     |              |             |                               |               |                      |
|-----------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------------------------|---------------|----------------------|
| otwory normalne - $k_s =$                           | 1,00         |             | $f_{ub} =$                    | 800,00        | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| liczba styków ciernych - $n =$                      | 2,00         |             | $A_s =$                       | 245,00        | [mm <sup>2</sup> ]   |
| wsp. tarcia $\mu =$                                 | 0,40         |             | <b><math>F_{p,c} =</math></b> | <b>137,20</b> | <b>[kN]</b>          |
| $\gamma_{m3} =$                                     | 1,25         |             |                               |               |                      |
| <b><math>F_{s,r,d} =</math></b>                     | <b>87,81</b> | <b>[kN]</b> |                               |               |                      |
| Część momentu przypadająca na środek $M_{w,ed} =$   | 163,72       | [kNm]       |                               |               |                      |
| Ramię działania sił $h_{max} = h_p - 2 \cdot e_1 =$ | 900,00       | [mm]        |                               |               |                      |
| Odległość skrajnych łączników $e_1 =$               | 50,00        | [mm]        |                               |               |                      |
| Przybliżona liczba śrub $n =$                       | 10,77        |             |                               |               |                      |
| <b>Przyjęto <math>n =</math></b>                    | <b>20,00</b> |             |                               |               |                      |

Przyjęto 20 śrub w środniku, rozstawionych wg powyższego rysunku.

#### 5.2.1.2 Wypadkowa siła w najbardziej wyężonej śrubie.

Siły wewnętrzne ( $M_{w,ed}$ ,  $V_{z,ed}$ ) działające w przekroju styku należy zredukować do środka ciężkości grupy łączników.

Dodatkowy moment  $M_v$  od siły tnącej  $V_{z,ed}$  działającej na mimośrodku "e" względem śr. ciężkości grupy łączników.

|                                    |        |       |
|------------------------------------|--------|-------|
| $e = \delta / 2 + e_1 + p_1 / 2 =$ | 102,00 | [mm]  |
| luz w styku $\delta =$             | 5,00   | [mm]  |
| $V_{z,ed} =$                       | 297,17 | [kN]  |
| $M_v = V_{z,ed} \cdot e =$         | 30,31  | [kNm] |

Ostatecznie na grupę łączników działają następujące siły:

|                                |        |       |
|--------------------------------|--------|-------|
| $M'_{w,ed} = M_{w,ed} + M_v =$ | 194,04 | [kNm] |
| $V_{z,ed} =$                   | 297,17 | [kN]  |

Zgodnie z pkt. 2.5 normy rozkład sił w połączeniu można określić na podstawie analizy sprężystej lub plastycznej (decyzja należy do projektanta). Poniższe obliczenia wykonano w oparciu o analizę sprężystą. Przyjęto założenie, że siła ścinająca rozkłada się równomiernie na wszystkie łączniki, natomiast moment zginający proporcjonalnie do odległości liczony od śr. ciężkości grupy łączników do analizowanego łącznika. Najbardziej obciążone będą zatem śruby nr 11 i 20 dla których wypadkowa siła ścinająca jest największa. Przyjęto układ współrzędnych w środku ciężkości grupy łączników, który oznaczono symbolami "z"- oś pionowa, "y"- oś pozioma. Siłę wypadkową można wyznaczyć z poniższych wzorów:

$$F_{vw,ed} = \sqrt{(F_{my,ed} + F_{vy,ed})^2 + (F_{mz,ed} + F_{vz,ed})^2}$$

$$F_{my,ed} = \frac{M'_{w,ed} \cdot z_i}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$F_{mz,ed} = \frac{M'_{w,ed} \cdot y_i}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$F_{vy,ed} = \frac{V_{y,ed}}{n}$$

$$F_{vz,ed} = \frac{V_{z,ed}}{n}$$

Fw,ed - wypadkowa siła ścinająca; Fm,ed - siła ścinająca od momentu M'w,ed; Fv,ed - siła ścinająca od siły Ved

| "i" (i-ta śruba w środku)                                         | współrzędna Zi<br>[mm] | współrzędna Yi<br>[mm] | (Zi)^2+(Yi)^2<br>[mm <sup>2</sup> ] | Fmz,ed [kN] | Fmy,ed [kN] | Fvz,ed [kN] | Fvw,ed [kN] |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1                                                                 | 450,00                 | -50,00                 | 205000,00                           | -5,71       | 51,36       | 14,86       | 52,17       |
| 2                                                                 | 350,00                 | -50,00                 | 125000,00                           | -5,71       | 39,95       | 14,86       | 40,98       |
| 3                                                                 | 250,00                 | -50,00                 | 65000,00                            | -5,71       | 28,53       | 14,86       | 29,97       |
| 4                                                                 | 150,00                 | -50,00                 | 25000,00                            | -5,71       | 17,12       | 14,86       | 19,41       |
| 5                                                                 | 50,00                  | -50,00                 | 5000,00                             | -5,71       | 5,71        | 14,86       | 10,78       |
| 6                                                                 | -50,00                 | -50,00                 | 5000,00                             | -5,71       | -5,71       | 14,86       | 10,78       |
| 7                                                                 | -150,00                | -50,00                 | 25000,00                            | -5,71       | -17,12      | 14,86       | 19,41       |
| 8                                                                 | -250,00                | -50,00                 | 65000,00                            | -5,71       | -28,53      | 14,86       | 29,97       |
| 9                                                                 | -350,00                | -50,00                 | 125000,00                           | -5,71       | -39,95      | 14,86       | 40,98       |
| 10                                                                | -450,00                | -50,00                 | 205000,00                           | -5,71       | -51,36      | 14,86       | 52,17       |
| 11                                                                | 450,00                 | 50,00                  | 205000,00                           | 5,71        | 51,36       | 14,86       | 55,33       |
| 12                                                                | 350,00                 | 50,00                  | 125000,00                           | 5,71        | 39,95       | 14,86       | 44,93       |
| 13                                                                | 250,00                 | 50,00                  | 65000,00                            | 5,71        | 28,53       | 14,86       | 35,17       |
| 14                                                                | 150,00                 | 50,00                  | 25000,00                            | 5,71        | 17,12       | 14,86       | 26,76       |
| 15                                                                | 50,00                  | 50,00                  | 5000,00                             | 5,71        | 5,71        | 14,86       | 21,34       |
| 16                                                                | -50,00                 | 50,00                  | 5000,00                             | 5,71        | -5,71       | 14,86       | 21,34       |
| 17                                                                | -150,00                | 50,00                  | 25000,00                            | 5,71        | -17,12      | 14,86       | 26,76       |
| 18                                                                | -250,00                | 50,00                  | 65000,00                            | 5,71        | -28,53      | 14,86       | 35,17       |
| 19                                                                | -350,00                | 50,00                  | 125000,00                           | 5,71        | -39,95      | 14,86       | 44,93       |
| 20                                                                | -450,00                | 50,00                  | 205000,00                           | 5,71        | -51,36      | 14,86       | 55,33       |
| $\sum [(Zi)^2+(Yi)^2] =$                                          |                        |                        | 1700000,00                          |             |             |             |             |
| Siła wypadkowa w najbardziej wyężonej śrubie (nr 11 i 20) Fw,ed = |                        |                        |                                     | 55,33       | [kN]        |             |             |
| Składowa pozioma siły wypadkowej Fw,ed,h = Fmy =                  |                        |                        |                                     | 51,36       | [kN]        |             |             |
| Składowa pionowa siły wypadkowej Fw,ed,v = Fmz + Fvz =            |                        |                        |                                     | 20,57       | [kN]        |             |             |

## 5.2.1.3 Nośność pojedynczej śruby.

|                                                                           |       |      |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|------|
| a) Nośność śruby na poślizg w styku sprężonym (oblicz. wcześniej) Fs,rd = | 87,81 | [kN] |
| Siła wypadkowa w najbardziej wyężonej śrubie (nr 11 i 20) Fw,ed =         | 55,33 |      |
| Warunek nośności jest spełniony ponieważ Fs,rd > Fw,ed                    |       |      |

b) Nośność śruby na docisk Fb,rd: 
$$F_{b,rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_w}{\gamma_{M2}}$$

Zgodnie z uwagą (3) w tablicy 3.4. PN-EN, w przypadku gdy kierunek obciążenia śruby (kierunek wypadkowej Fw,ed) jest ukośny względem brzegu, to nośność na docisk można sprawdzać, rozpatrując oddzielnie poszczególne składowe obciążenia działające równolegle i prostopadle do brzegu blachy.

|                                                                  |        |                                                         |                                                                  |                                        |            |
|------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------|
| Blachy - Stal S275:                                              |        | Współczynniki częściowe nośności:                       |                                                                  | Grubość blachy decydującej o nośności: |            |
| fy =                                                             | 275,00 | γmo =                                                   | 1,00                                                             | tw =                                   | 8,00       |
| fu =                                                             | 430,00 | γm2 =                                                   | 1,25                                                             |                                        |            |
| Rozstawy śrub:                                                   |        | Wytrzymałości śruby:                                    |                                                                  | Geometria śruby i otworu:              |            |
| e1 = e2 =                                                        | 50,00  | fyb =                                                   | 640,00                                                           | śr. śruby d =                          | 20,00      |
| p1 = p2 =                                                        | 100,00 | fub =                                                   | 800,00                                                           | śr. otworu do =                        | 22,00      |
| b1) składowa pozioma nośności na docisk śruby skrajnej:          |        | b2) składowa pionowa nośności na docisk śruby skrajnej: |                                                                  |                                        |            |
| Współczynnik k1 = min{2,8*e2/do-1,7; 2,5} =                      |        | 2,50                                                    | k1 = min{2,8*e2/do-1,7; 2,5} =                                   | 2,50                                   |            |
|                                                                  |        | 2,8*e2/do-1,7 =                                         | 4,66                                                             | 2,8*e2/do-1,7 =                        | 4,66       |
|                                                                  |        | 2,5 =                                                   | 2,50                                                             | 2,5 =                                  | 2,50       |
| Współczynnik αb = min {e1/(3*do); fub/fu; 1,0} =                 |        | 0,76                                                    | αb = min {e1/(3*do); fub/fu; 1,0} =                              | 0,76                                   |            |
|                                                                  |        | e1/(3*do) =                                             | 0,76                                                             | e1/(3*do) =                            | 0,76       |
|                                                                  |        | fub/fu =                                                | 1,86                                                             | fub/fu =                               | 1,86       |
|                                                                  |        | 1,0 =                                                   | 1,00                                                             | 1,0 =                                  | 1,00       |
| Nośność śruby skrajnej na docisk (w kierunku poziomym) Fb,rd,h = |        | 104,24                                                  | Nośność śruby skrajnej na docisk (w kierunku pionowym) Fb,rd,v = | 104,24                                 | [kN]       |
| Składowa pozioma siły wypadkowej Fw,ed,h =                       |        | 51,36                                                   | Składowa pionowa siły Fw,ed,v =                                  |                                        | 20,57 [kN] |

Warunek nośności dla najbardziej wyężonej śruby:

|                                                                                  |      |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|
| Warunek nośności ma postać $[(Fw,ed,h/Fb,rd,h)^2 + (Fw,ed,v/Fb,rd,v)^2]^{0,5} =$ | 0,53 | < 1 - warunek spełniony |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|

## c) nośność przekroju (rozciąganego) osłabionego otworami Nnet,rd:

Oslabienie przekroju otworami dotyczy tylko części rozciąganej środnika. Zgodnie z pkt. 3.4.1 (c) PN-EN 1993-1-8 nośność przekroju Nnet,rd można obliczyć wg pkt. 6.2 normy PN-EN 1993-1-1. Przy czym środnik poddany jest zginaniu (M'w,ed) oraz ścinaniu (Ved), dlatego skorzystać można z pkt. 6.2.5 (5), który mówi, że można pomijać otwory w części rozciąganej środnika, jeśli spełniony jest warunek:

|                                                                   |            |                    |
|-------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|
| część rozciągana środnika Awt = (hw*tw)/2 =                       | 4400,00    | [mm <sup>2</sup> ] |
| rozciągana część netto środnika Awt,net = Awt - n*do*tw =         | 3520,00    | [mm <sup>2</sup> ] |
| liczba śrub, które znajdują się w części rozciąganej środnika n = | 5,00       |                    |
| współczynnik γm3 =                                                | 1,25       |                    |
| Awt,net*0,9*fu/γm3 =                                              | 1089792,00 |                    |
| Awt*fy/γm0 =                                                      | 1210000,00 |                    |

Warunek 6.2.5 (5) normy nie jest spełniony, dlatego należy uwzględnić otwory w części rozciąganej środnika.

## c') warunek nośności środnika na zginanie - przekroju netto - ma postać M'w,ed &lt; Mw,net,rd:

Nośność sprężysta środnika osłabionego otworami Mw,net,rd = Wel,net\*fy/γm0. Sprężysty wskaźnik wytrzymałości przekroju netto środnika Wel,net = Jw,net/(hw/2) = 2\*Jw,net/hw = 2(Jw-J,otw)/hw.

Cechy geometryczne obliczane są względem osi obojętnej (poziomej) przechodzącej przez środek ciężkości środnika tzn. w połowie jego wysokości.

|                                                                                             |             |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|
| Moment bezwładności środnika Jw = tw*hw <sup>3</sup> /12 =                                  | 887333333,3 | [mm <sup>4</sup> ] |
| Moment bezwładności otworów w strefie rozciąganej środnika J,otw = tw*do*Σzi <sup>2</sup> = | 72600000,0  | [mm <sup>4</sup> ] |

Rzędna zi, liczona jest od osi obojętnej do i-tego otworu na śrubę w części rozciąganej środnika. W części rozciąganej przekroju środnika znajduje się 5 otworów.

| i-ty otwór (śruba wg rys)                                         | rzędna zi otworu | zi <sup>2</sup> |                                 |
|-------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|
| 1                                                                 | 450,00           | 202500,00       | [mm]                            |
| 2                                                                 | 350,00           | 122500,00       | [mm]                            |
| 3                                                                 | 250,00           | 62500,00        | [mm]                            |
| 4                                                                 | 150,00           | 22500,00        | [mm]                            |
| 5                                                                 | 50,00            | 2500,00         | [mm]                            |
| suma $\Sigma$                                                     |                  | 412500,00       | [mm]                            |
| Moment bezwładności przekroju netto $J_{w,net} = J_w - J_{otw} =$ |                  |                 | 814733333,33 [mm <sup>4</sup> ] |
| Wskaźnik sprężystości przekroju netto $W_{el,net} =$              |                  |                 | 1481333,33 [mm <sup>3</sup> ]   |
| nośność sprężysta przekroju netto środnika $M_{w,net,rd} =$       |                  |                 | 407,37 [kNm]                    |
| moment zginający obciążający środnik $M'_{w,ed} =$                |                  |                 | 194,04 [kNm]                    |

Warunek spełniony. Przekrój osłabiony "wytrzyma" zginanie.

c") warunek nośności środnika na ścinanie - przekroju netto - ma postać  $V_{z,ed} < V_{net,rd}$ 

|                                                                         |         |                    |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|
| nośność $V_{net,rd} = A_{v,net} \cdot f_y / (3 \cdot \gamma_{mo}) =$    | 1117,75 | [kN]               |
| pole netto środnika $A_{v,net} = A_v - n \cdot w \cdot d_o \cdot t_w =$ | 7040,00 | [mm <sup>2</sup> ] |
| pole środnika $A_v = h_w \cdot t_w =$                                   | 8800,00 | [mm <sup>2</sup> ] |
| liczba otworów (śrub) w przekroju środnika $n, w =$                     | 10,00   |                    |
| siła ścinająca obciążająca środnik $V_{z,ed} =$                         | 297,17  | [kN]               |

Warunek spełniony. Przekrój osłabiony "wytrzyma" ścinanie.

## 5.2.2 POŁĄCZENIE PASÓW.

Przyjęto, że kategoria połączenia pasów, będzie taka sama jak połączenia środnika.

|                                                                 |        |                          |            |                                              |
|-----------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|------------|----------------------------------------------|
| Cechy śruby:                                                    |        |                          | Stal S275: |                                              |
| średnica śruby d=                                               | 20,00  | [mm]                     | fy =       | 275,00                                       |
| A = π*d^2/4 =                                                   | 314,16 | [mm2]                    | fu =       | 430,00                                       |
| As =                                                            | 245,00 | [mm2]                    | γm2 =      | 1,25                                         |
| fyb=                                                            | 640,00 | [N/mm2]                  | γm0=       | 1,00                                         |
| fub=                                                            | 800,00 | [N/mm2]                  |            |                                              |
| Średnica otworu okrągłego na śrubę wg normy PN-EN 1090 do=d+Δd= |        |                          | 22,00 [mm] |                                              |
| Rozstaw łączników:                                              |        |                          |            |                                              |
| e1 =                                                            | 50,00  |                          | p1 =       | 65,00                                        |
| e2 =                                                            | 50,00  |                          | p2 =       | 130,00                                       |
| Wymiary:                                                        |        |                          |            |                                              |
| grubość pasa tf =                                               | 20,00  | wysokość podcięcia h =   | 1140,00    | długość nakładki ln = 590,00                 |
| grubość nakładki tn =                                           | 12,00  | osiowy rozst. pasów hf = | 1120,00    | szerokość nakładki górnej bn,g = bf = 230,00 |
| 4.2.2.1 Dobór ilości łączników:                                 |        |                          |            | szerokość nakładki dolnej bn,d = 100,00      |

## 4.2.2.1 Dobór ilości łączników:

Nośność śruby na poślizg wg punktu 3.9.1 PN-EN -  $F_{s,rd} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_p \cdot c / \gamma_{m3}$ , gdzie siła sprężenia  $F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$ 

|                                |       |      |             |        |                      |
|--------------------------------|-------|------|-------------|--------|----------------------|
| otwory normalne - $k_s =$      | 1,00  |      | $F_{p,c} =$ | 137,20 | [kN]                 |
| liczba styków ciernych - $n =$ | 2,00  |      | $f_{ub} =$  | 800,00 | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| wsp. tarcia $\mu =$            | 0,40  |      | $A_s =$     | 245,00 | [mm <sup>2</sup> ]   |
| $\gamma_{m3} =$                | 1,25  |      |             |        |                      |
| $F_{s,rd} =$                   | 87,81 | [kN] |             |        |                      |

Orientacyjna liczba śrub w pasie:

|                                                             |        |       |
|-------------------------------------------------------------|--------|-------|
| Moment przenoszony przez pas $M_{f,ed} =$                   | 532,40 | [kNm] |
| Siła podłużna obciążająca pas $F_{f,ed} = M_{f,ed} / h_f =$ | 475,36 | [kN]  |
| Przybliżona ilość śrub $n = F_{f,ed} / F_{s,rd} =$          | 5,41   |       |
| Przyjęto $n =$                                              | 8,00   |       |

5.2.2.2 Siła wypadkowa  $F_{v,f,ed}$  w najbardziej wyężonej śrubie (przy założeniu, że wszystkie śruby są równo wyężone):

|                               |       |      |
|-------------------------------|-------|------|
| $F_{v,f,ed} = F_{f,ed} / n =$ | 59,42 | [kN] |
|-------------------------------|-------|------|

## 5.2.2.3 Nośność pojedynczej śruby a nośność grupy łączników:

Sprawdzenie warunku długości złącza zakładkowego (wg pkt. 3.8)  $L_j < 15 \cdot d$ 

|                                      |        |  |
|--------------------------------------|--------|--|
| Długość złącza $L_j = 3 \cdot p_1 =$ | 195,00 |  |
| $15 \cdot d =$                       | 300,00 |  |

Długość połączenia  $L_j < 15 \cdot d$  dlatego nie trzeba redukować nośności grupy łączników na ścinanie  $F_{v,rd}$ . Oznacza to, że założenie określone w pkt. 5.2.2.2 zostało przyjęte poprawnie, wszystkie łączniki są obciążone równomiernie.

|                                                                                   |       |                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------|
| a) Nośność śruby na poślizg w styku sprężonym (oblicz. wcześniejszy) $F_{s,rd} =$ | 87,81 | Warunek nośności jest spełniony ponieważ $F_{s,rd} > F_{v,f,ed}$ |
| Siła wypadkowa w śrubie $F_{v,f,ed} =$                                            | 59,42 |                                                                  |

b) Nośność śruby na docisk  $F_{b,rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_w}{\gamma_{M2}}$ 

|                                                                            |        |  |                                                                           |        |  |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|--|---------------------------------------------------------------------------|--------|--|
| Dla śrub skrajnych:                                                        |        |  | Dla śrub pośrednich:                                                      |        |  |
| Współczynnik $k_1 = \min\{2,8 \cdot e_2 / d_o - 1,7; 2,5\} =$              | 2,50   |  | Współczynnik $k_1 = \min\{1,4 \cdot p_2 / d_o - 1,7; 2,5\} =$             | 2,50   |  |
| $2,8 \cdot e_2 / d_o - 1,7 =$                                              | 4,66   |  | $1,4 \cdot p_2 / d_o - 1,7 =$                                             | 6,57   |  |
| $2,5 =$                                                                    | 2,50   |  | $2,5 =$                                                                   | 2,50   |  |
| Współczynnik $\alpha_b = \min\{e_1 / (3 \cdot d_o); f_{ub} / f_u; 1,0\} =$ | 0,76   |  | wsp. $\alpha_b = \min\{p_1 / (3 \cdot d_o) - 0,25; f_{ub} / f_u; 1,0\} =$ | 0,73   |  |
| $e_1 / (3 \cdot d_o) =$                                                    | 0,76   |  | $p_1 / (3 \cdot d_o) - 0,25 =$                                            | 0,73   |  |
| $f_{ub} / f_u =$                                                           | 1,86   |  | $f_{ub} / f_u =$                                                          | 1,86   |  |
| $1,0 =$                                                                    | 1,00   |  | $1,0 =$                                                                   | 1,00   |  |
| Nośność śrub skrajnych $F_{b1,rd} =$                                       | 260,61 |  | Nośność śrub posrednich $F_{b2,rd} =$                                     | 252,79 |  |

Nośność zapewniona ponieważ  $F_{b1,rd} > F_{v,f,ed}$  oraz  $F_{b2,rd} > F_{v,f,ed}$ .c) nośność przekroju (rozciąganego) osłabionego otworami  $N_{net,rd}$ :Zgodnie z pkt. 3.4.1 (c) PN-EN 1993-1-8 nośność przekroju  $N_{net,rd}$  można obliczyć wg pkt. 6.2 normy PN-EN 1993-1-1

|                                                                       |         |                    |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|
| pole netto pasa $A_{f,net} = b_f \cdot t_f - n \cdot d_o \cdot t_w =$ | 3720,00 | [mm <sup>2</sup> ] |
| liczba otworów na śrubę w przekroju pasa $n =$                        | 2,00    |                    |
| nośność $N_{net,rd} = A_{f,net} \cdot f_y / \gamma_{mo} =$            | 1023,00 | [kN]               |
| siła rozciągająca pas $F_{f,ed} =$                                    | 475,36  | [kN]               |
| Warunek nośności $F_{f,ed} / N_{net,rd} =$                            | 0,46    |                    |

Styk montażowy zaprojektowany poprawnie.