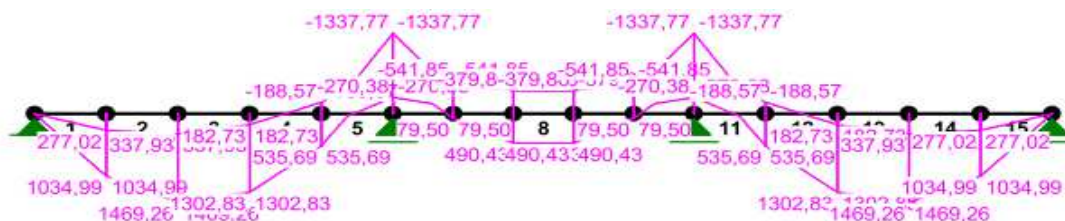
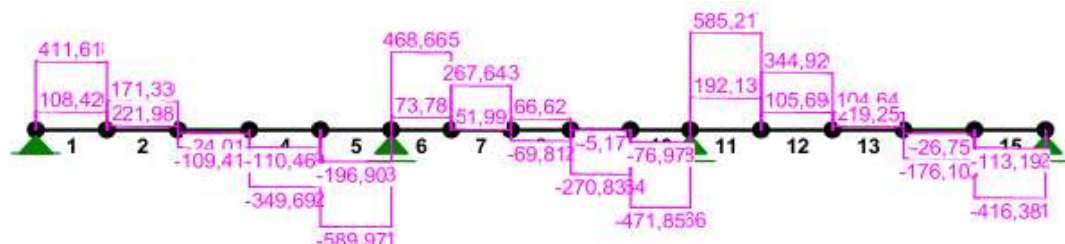


TRZECIE obliczenia statyczne (z uwzględnieniem: wyżej określonych przekrojów poprzecznych ; współczynników redukcji sztywności dla każdego przęsła = 1,0 ; usunięciu grupy obciążeń E ; włączeniu jako aktywnego "Ciężaru własnego" ze współczynnikiem 1,35 jeśli decyduje wzór 6.10a (lub  $1,35 \cdot 0,85 = 1,15$  gdy decyduje 6.10b) .

Wykres momentu zginającego  $M_{y,ed}$  - wartość obliczeniowa



Wykres siły tnącej (sił poprzecznej)  $V_{z,ed}$  - wartość obliczeniowa



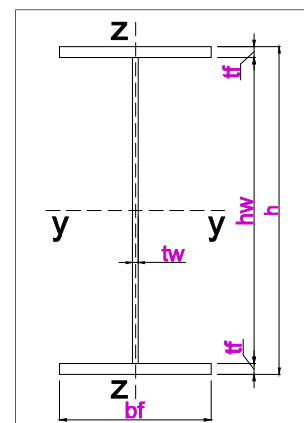
### 3.5 Siły wewnętrzne miarodajne do obliczeń

|                        | Podpora A (pr.) | Przęsło AB (CD) | Przęsło BC | Podpora B (lew.) | Podpora B (pr.) |       |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------|------------------|-----------------|-------|
| max (dołem) $M_{y,ed}$ | -               | 1469,26         | 491,26     | 270,38           | 270,38          | [kNm] |
| min (górną) $M_{y,ed}$ | -               | 337,93          | 379,03     | 1337,77          | 1337,77         | [kNm] |
| max $V_{z,ed}$         | 416,38          | -               | -          | 589,97           | 471,85          | [kN]  |
| reakcja max R          | 534,14          | -               | -          | 1278,50          | 1278,50         | [kN]  |

### 3.6 Sprawdzenie nośności przyjętych przekrojów

Cechy geometryczne przekroju blachownicy:

|                                                                                                                               | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|--------------------|
| wysokość przekroju $h$                                                                                                        | 1140,00         | 1124,00    | [mm]               |
| wys. środka $h_w$                                                                                                             | 1100,00         | 1100,00    | [mm]               |
| grubość środka $t_w$                                                                                                          | 8,00            | 8,00       | [mm]               |
| szerokość półki $b_f$                                                                                                         | 230,00          | 230,00     | [mm]               |
| grubość półki $t_f$                                                                                                           | 20,00           | 12,00      | [mm]               |
| grubość spoiny łączącej pas ze środkiem $a_w$                                                                                 | 5,00            | 5,00       | [mm]               |
| pole przekroju $A = 2 \cdot b_f \cdot t_f + h_w \cdot t_w$                                                                    | 18000,00        | 14320,00   | [mm <sup>2</sup> ] |
| pole czynne przy ścinaniu $A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w$                                                                    | 10560,00        | 10560,00   | [mm <sup>2</sup> ] |
| $\eta$                                                                                                                        | 1,20            | 1,20       |                    |
| ciężar przekroju $G = A \cdot \rho_s \cdot g$                                                                                 | 1,41            | 1,12       | [kN/m]             |
| moment bezwładności $J_y = t_w \cdot h_w^3 / 12 + 2 \cdot [b_f \cdot t_f^3 / 12 + b_f \cdot t_f \cdot (h_w / 2 + t_f / 2)^2]$ | 377276,00       | 259383,03  | [cm <sup>4</sup> ] |
| moment bezwładności $J_z = h_w \cdot t_w^3 / 12 + 2 \cdot t_f \cdot b_f^3 / 12$                                               | 4060,36         | 2438,09    | [cm <sup>4</sup> ] |
| sprężysty wskaźnik wytrzymałości względnie osi $y-y$ $W_y = J_y / (h_w / 2 + t_f / 2)$                                        | 6737,07         | 4665,16    | [cm <sup>3</sup> ] |
| wycinkowy moment bezwładności $J_w = J_z \cdot h^2 / 4$                                                                       | 13192109,64     | 7700571,51 | [cm <sup>6</sup> ] |
| moment bezwładności przy skręcaniu $J_t = (1/3) \cdot (2b_f \cdot t_f^3 + h_w \cdot t_w^3)$                                   | 141,44          | 45,27      | [cm <sup>4</sup> ] |



#### 3.6.1 Ustalenie klasy przekroju.

|                                          |           |                      |
|------------------------------------------|-----------|----------------------|
| Stal S275                                |           |                      |
| współczynnik $\epsilon$                  | 0,92      |                      |
| dla $t < 40$ mm $f_y$                    | 275,00    | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| dla $t < 40$ mm $f_u$                    | 430,00    | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| współczynnik $\gamma_{m0} = \gamma_{m1}$ | 1,00      |                      |
| współczynnik $\gamma_{m2}$               | 1,10      |                      |
| Moduł $E$                                | 210000,00 | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| Moduł $G$                                | 81000,00  | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| współczynniki $\eta$                     | 1,20      |                      |

#### STATECZNOŚĆ ścianek przy zginaniu:

PAS ŚCISKANY (smukłości graniczne podane w tabl. 5.2. - arkusz 2 EN 1993-1-1)

|                                           | PRZĘSŁO AB (CD)   | PRZĘSŁO BC        |      |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|------|
| $c = (b_f - t_w) / 2 - a_w \cdot 2^{0,5}$ | 103,93            | 103,93            | [mm] |
| smukłość ścianki $= c / t_f$              | 5,20              | 8,66              |      |
| smukłość graniczna                        | 8,28              | 9,20              |      |
|                                           | Pas jest klasy 1. | Pas jest klasy 2. |      |

ŚRODNIK (smukłości graniczne podane w tabl. 5.2. - arkusz 1)

|                                         | PRZĘSŁO AB (CD)        | PRZĘSŁO BC             |  |
|-----------------------------------------|------------------------|------------------------|--|
| $c = h_w - 2 \cdot a_w \cdot 2^{0,5}$   | 1085,86                | 1085,86                |  |
| smukłość ścianki $= c / t_w$            | 135,73                 | 135,73                 |  |
| smukłość graniczna $124 \cdot \epsilon$ | 114,08                 | 114,08                 |  |
|                                         | Środnika jest klasy 4. | Środnika jest klasy 4. |  |

Środnik jest klasy 4., dlatego cały przekrój jest klasy 4. ze względu na niestateczność środnika przy zginaniu.

**STATECZNOŚĆ ścianki środnika przy ścinaniu (pkt. 5.1 PN-EN 1993-1-5):**

Środnik jest usztywniony żebrami poprzecznymi w rozstawie co 2,1 oraz 2,5m. Przyjęto żebra pośrednie sztywne. Parametr niestateczności wyznaczono wg załącznika A.3 do PN-EN 1993-1-5. Warunek graniczny dla środnika uźebrowanego ma postać -  $hw/tw < (31/\eta) * \epsilon * (kt)^{0,5}$

|                                                        | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |      |
|--------------------------------------------------------|-----------------|------------|------|
| Rozstaw żeber a =                                      | 2500,00         | 2100,00    | [mm] |
| wysokość środnika hw =                                 | 1100,00         | 1100,00    | [mm] |
| stosunek wymiarów panela środnika a/hw =               | 2,27            | 1,91       |      |
| Współczynnik $\eta$ (dla stali niższej niż S460) =     | 1,20            | 1,20       |      |
| Współczynnik $kt = 5,34 + 4,0 * (hw/a)^2 + k_{tsl}$    |                 |            |      |
| Przy braku żeber podłużnych, można przyjąć $k_{tsl}$ = | 0,00            | 0,00       |      |
| $kt$ =                                                 | 6,11            | 6,44       |      |
| $hw/tw$ =                                              | 137,50          | 137,50     |      |
| $(31/\eta) * \epsilon * (kt)^{0,5}$ =                  | 58,77           | 60,30      |      |

Ponieważ  $hw/tw > (31/\eta) * \epsilon * (kt)^{0,5}$  - dlatego środnik jest wrażliwy na utratę stateczności przy ścinaniu.

**3.6.2 Ustalenie czy wystąpi efekt SZEROKIEGO PASA (wg EN 1993-1-5 pkt. 3.2)**

|                                    | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |
|------------------------------------|-----------------|------------|
| a) strefa przęsłowa:               |                 |            |
| $Le$ =                             | 10,625          | 7,350      |
| $bo = 0,5 * bf$ =                  | 115,00          | 115,00     |
| $\alpha o$ =                       | 1,00            | 1,00       |
| wsp. $K = \alpha o * bo / Le$ =    | 0,011           | 0,016      |
| Efekt szerokiego pasa nie wystąpi: |                 |            |
| b) strefa podporowa:               |                 |            |
| $Le = 0,25 * (lp1 + lp2)$          | 5,75            | 5,75       |
| $bo = 0,5 * bf$ =                  | 115,00          | 115,00     |
| $\alpha o$ =                       | 1,00            | 1,00       |
| wsp. $K = \alpha o * bo / Le$ =    | 0,020           | 0,020      |
| Efekt szerokiego pasa nie wystąpi: |                 |            |

[m] - Zgodnie z normą  $Le$ , jest to odległość między punktami zerowych momentów zginających.  $Le$  można przyjąć wg rys. 3.1 normy, lub odczytać wprost z wykresu momentu.

[mm] - brak żeber podłużnych, usztywniających pas  $\leq 0,02$  - efekt szerokiego pasa nie wystąpi.

[m] -  $Le$  przyjęte zgodnie z rys. 3.1 normy

[mm] - brak żeber podłużnych, usztywniających pas  $\leq 0,02$  - efekt szerokiego pasa nie wystąpi.

**3.6.3 Nośność obliczeniowa przekroju klasy 4 przy jednokierunkowym zginaniu wg PN-EN 1993-1-1 (wzór 6.12 i 6.15)**

Ustalenie przekroju współpracującego (cech efektywnych przekroju) wg PN-EN 1993-1-5. Procedura obliczeniowa na podstawie pkt. 4.4 normy.

Przybliżenie nr 1 (krok 1. iteracji)

|                                                                      | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |                      |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|----------------------|
| Szerokość strefy ściskanej (rozciąganej) $bc = hw/2$ =               | 550,00          | 550,00     | [mm]                 |
| napr. ściskające od zginania $\sigma_1 = M_{y,ed} * bc / J_y$ =      | 214,19          | 104,17     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| naprężenia na krawędzi rozciąganej $\sigma_2 = -\sigma_1$ =          | -214,19         | -104,17    | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| wsp. $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ =                                  | -1,00           | -1,00      |                      |
| Na podstawie tablicy 4.1 parametr $k\sigma$ =                        | 23,90           | 23,90      |                      |
| Smukłość względna płytowa $\lambda_p$ :                              |                 |            |                      |
| $\lambda_p = (hw/tw) * (1 / (\epsilon * 28,4 * k\sigma^{0,5}))$ =    | 1,076           | 1,076      |                      |
| Jeśli $\lambda_p > 0,673$ to współczynnik redukcyjny $\rho \leq 1$ : |                 |            |                      |
| Wsp. $\rho = [\lambda_p - 0,055 * (3 + \psi)] / \lambda_p^2$ =       | 0,834           | 0,834      |                      |
| Szerokości współpracujące środnika - zgodnie z tabelą 4.1 PN-EN:     |                 |            |                      |
| $beff = \rho * bc = \rho * hw / (1 - \psi)$ =                        | 458,72          | 458,72     | [mm]                 |
| Ponieważ $\psi < 0$ to $be1 = 0,4 * beff$ =                          | 183,49          | 183,49     | [mm]                 |
| $be2 = 0,6 * beff$ =                                                 | 275,23          | 275,23     | [mm]                 |

Mając określony zasięg strefy efektywnej ( $beff$ ) przekroju można obliczyć przesunięcie środka ciężkości. Przesunięcie śr. ciężkości wynika z tego, że analizowany jest przekrój efektywny, w którym usunięto obszar związany z niestatecznością miejscową (porównaj rysunek poniżej).

|                          |        |        |      |
|--------------------------|--------|--------|------|
| $h3 = be1$ =             | 183,49 | 183,49 | [mm] |
| $h2 = (1 - \rho) * bc$ = | 91,28  | 91,28  | [mm] |
| $h1 = hw - h2 - h3$ =    | 825,23 | 825,23 | [mm] |

Charakterystyki przekroju efektywnego (przedstawionego na rysunku oboko):

Nowe położenie środka ciężkości (a co za tym idzie nowe położenie osi obojętnej) wyznaczyć można z dobrze znanych (poznanych na kursie wytrzymałości materiałów) wzorów. W tym celu należy przyjąć oś odniesienia względem, której obliczane będą momenty statyczne. Oś odniesienia oznaczona jako oś a-a przyjęta do dalszych obliczeń przechodzi przez górną krawędź pasa dolnego przekroju.

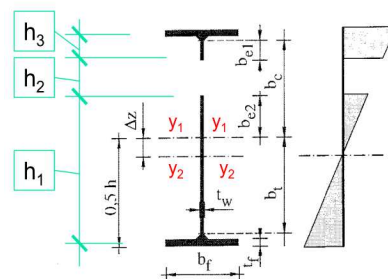
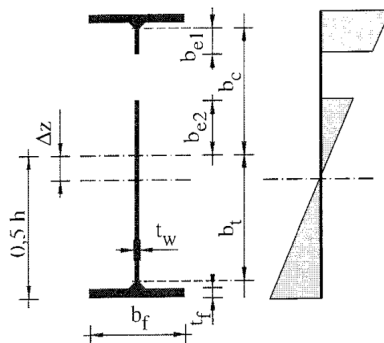
|                                                                                                                    | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|--------------------|
| Moment statyczny $Saa = -bf * tf / 2 + h1^2 * 0,5 * tw + h3 * tw * (h1 + h2 + h3 / 2) + bf * tf * (hw + tf / 2)$ : | 9264079,08      | 7240079,08 | [mm <sup>4</sup> ] |
| Pole przekroju $Aeff = 2 * bf * tf + tw * (hw - h2)$ =                                                             | 17269,79        | 13589,79   | [mm <sup>2</sup> ] |

Położenie osi obojętnej  $y2-y2$ :

|                                                       |        |        |      |
|-------------------------------------------------------|--------|--------|------|
| $z2 = Saa / Aeff$ =                                   | 536,43 | 532,76 | [mm] |
| odległość do krawędzi rozciąganej $zt = z2 + tf$ =    | 556,43 | 544,76 | [mm] |
| odległość do krawędzi ściskanej $zc = hw + tf - z2$ = | 583,57 | 579,24 | [mm] |

Moment bezwładności  $Jy2 = 2 * bf * tf^3 / 12 + bf * tf * (zt - tf / 2)^2 + bf * tf * (zc - tf / 2)^2 + tw * h3^3 / 12 + tw * h3 * (zc - tf - h3 / 2)^2 + tw * h1^3 / 12 + tw * h1 * (z2 - h1 / 2)^2$ :

|                                                               |               |               |                    |
|---------------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------|
| $Jy2$ =                                                       | 3693892256,26 | 2514101734,41 | [mm <sup>4</sup> ] |
| Wskaźnik dla włókien ściskanych $Weff,c = Jy2 / zc$ =         | 6329847,76    | 4340336,31    | [mm <sup>3</sup> ] |
| Wskaźnik dla włókien rozciąganych $Weff,t = Jy2 / zt$ =       | 6638524,93    | 4615073,44    | [mm <sup>3</sup> ] |
| $Weff = \min (Weff,c; Weff,t)$ =                              | 6329847,76    | 4340336,31    | [mm <sup>3</sup> ] |
| Nośność oblicz. przekroju $Mc,rd = Weff * fy / \gamma_{mo}$ = | 1740,71       | 1193,59       | [kNm]              |



## Przybliżenie nr 2 (krok 2. iteracji)

|                                                                     | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |                      |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|----------------------|
| Szerokość strefy ściskanej $bc' = zc - tf =$                        | 563,57          | 567,24     | [mm]                 |
| Szerokość strefy rozciąganej $bt' = zt - tf =$                      | 536,43          | 532,76     | [mm]                 |
| naprężenia od zginania $\sigma_1' = M_{y,ed} \cdot bc' / J_{y2} =$  | 224,16          | 110,84     | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| naprężenia od zginania $\sigma_2' = -M_{y,ed} \cdot bt' / J_{y2} =$ | -213,37         | -104,10    | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| wsp. $\psi = \sigma_2' / \sigma_1' =$                               | -0,952          | -0,939     |                      |

tabl. 4.1 EN parametr  $k\sigma' = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 =$

Smukłość względna płytkowa  $\lambda_p =$

$\lambda_p' = (h_w / t_w) \cdot (1 / (\epsilon \cdot 28,4 \cdot k\sigma'^{0,5})) =$

Jeśli  $\lambda_p > 0,673$  to współczynnik redukcyjny  $\rho \leq 1$ :

Wsp.  $\rho' = [\lambda_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \lambda_p^2 =$

Szerokości współpracujące środniczka - zgodnie z tabelą 4.1 PN-EN:

|                                                  |        |        |      |
|--------------------------------------------------|--------|--------|------|
| $beff' = \rho' \cdot bc' =$                      | 457,81 | 457,64 | [mm] |
| Ponieważ $\psi < 0$ to $be1 = 0,4 \cdot beff' =$ | 183,13 | 183,06 | [mm] |
| $be2 = 0,6 \cdot beff' =$                        | 274,69 | 274,59 | [mm] |
| $h3' = be1' =$                                   | 183,13 | 183,06 | [mm] |
| $h2' = (1 - \rho') \cdot bc' =$                  | 105,75 | 109,60 | [mm] |
| $h1' = h_w - h2' - h3' =$                        | 811,12 | 807,34 | [mm] |

Charakterystyki przekroju efektywnego:

Moment statyczny  $Saa' = -bf' \cdot tf / 2 + h1'^2 \cdot 0,5 \cdot t_w + h3' \cdot t_w \cdot (h1' + h2' + h3' / 2) + bf' \cdot tf \cdot (h_w + tf / 2) =$

$Saa' =$

Pole przekroju  $Aeff' = 2 \cdot bf' \cdot tf + t_w \cdot (h_w - h2') =$

Położenie osi obojętnej  $y2' - y2'$ :

|                                                          |        |        |      |
|----------------------------------------------------------|--------|--------|------|
| $z2' = Saa' / Aeff' =$                                   | 534,51 | 529,64 | [mm] |
| odległość do krawędzi rozciąganej $zt' = z2' + tf =$     | 554,51 | 541,64 | [mm] |
| odległość do krawędzi ściskanej $zc' = h_w + tf - z2' =$ | 585,49 | 582,36 | [mm] |

Moment bezwładności  $J_{y2}' = 2 \cdot bf' \cdot tf^3 / 12 + t_w \cdot bf' \cdot (zt' - tf / 2)^2 + t_w \cdot bf' \cdot (zc' - tf / 2)^2 + t_w \cdot h3'^3 / 12 + t_w \cdot h3' \cdot (zc' - tf - h3' / 2)^2 + t_w \cdot h1'^3 / 12 + t_w \cdot h1' \cdot (z2' - h1' / 2)^2 =$

$J_{y2}' =$

Wskaźnik dla włókien ściskanych  $Weff, c' = J_{y2}' / zc' =$

Wskaźnik dla włókien rozciąganych  $Weff, t' = J_{y2}' / zt' =$

$Weff' = \min \{Weff, c'; Weff, t'\} =$

Nośność oblicz. przekroju  $Mc, rd' = Weff' \cdot fy / \gamma_{mo} =$

Porównanie wyników z kroku nr 1 i 2:

|                                  |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|
| $(Mc, rd - Mc, rd') / Mc, rd' =$ | 0,006 | 0,010 |
| Różnica wynosi                   | 0,6%  | 1,0%  |

Różnica w wynikach sięga 1%, co uznano za wystarczającą dokładność, dlatego do dalszych obliczeń przyjęto wyniki z kroku nr 2.

## 3.6.4 Warunek nośności przekroju przy jednokierunkowym zginaniu wg PN-EN 1993-1-5 (wzór 4.14)

|                                          | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |                              |
|------------------------------------------|-----------------|------------|------------------------------|
| $Mc, Rd = Weff \cdot fy / \gamma_{mo} =$ | 1730,57         | 1181,47    | [kNm]                        |
| $\max M_{y, ed} =$                       | 1469,26         | 491,26     | [kNm]                        |
| $\eta_1 = M_{y, ed} / Mc, Rd =$          | 0,85            | 0,42       | < 1 - warunek jest spełniony |

## 3.6.5 Sprawdzenie nośności przekroju przy naprężeniach stycznych (zgodnie z pkt. 5 normy PN-EN 1993-1-5):

Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu ścianki klasy 4. =  $Vb, rd$ :

$Vb, rd = Vbw, rd + Vbf, rd$  (tzn.  $Vb, rd$  = nośność na ścinanie środniczka + nośność na ścinanie pasów)

|                                                           | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|------------|
| Pominięto udział pasów w nośności na ścinanie $Vbf, rd =$ | 0,00            | 0,00       |

Nośność na ścinanie samego środniczka  $Vbw, rd = (\chi_w \cdot fy \cdot h_w \cdot t_w / (3 \cdot 0,5 \cdot \gamma_{m1})) < (\eta \cdot fy \cdot h_w \cdot t_w / (3 \cdot 0,5 \cdot \gamma_{m1}))$ . Aby wyznaczyć nośność  $Vb, rd$  trzeba obliczyć współczynnik niestateczności  $\chi_w$ , który zależy od smukłości względnej  $\lambda_w$ .

Wyznaczenie względnej smukłości płytowej ścianki środniczka.

Środek jest usztywniony żebrami poprzecznymi w rozstawie co 2,5m oraz co 2,1m. Przyjęto zebra pośrednie sztywne. Parametr niestateczności wyznaczono wg załącznika A.3 do PN-EN 1993-1-5.

|                                                 | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |      |
|-------------------------------------------------|-----------------|------------|------|
| Rozstaw żeber $a =$                             | 2500,00         | 2100,00    | [mm] |
| wysokość środniczka $h_w =$                     | 1100,00         | 1100,00    | [mm] |
| stosunek wymiarów panela środniczka $a / h_w =$ | 2,27            | 1,91       |      |

Współczynnik  $k_T = 5,34 + 4,0 \cdot (h_w / a)^2 + k_{Ts1}$

Przy braku żeber podłużnych, można przyjąć  $k_{Ts1} =$

$k_T =$

Smukłość względna ścianki  $\lambda_w$ :

$\lambda_w = h_w / (37,4 \cdot t_w \cdot \epsilon \cdot k_T^{0,5}) =$

Współczynnik niestateczności  $\chi_w$  wyznaczono na podstawie tablicy 5.1 normy.

Ponieważ  $\lambda_w > 1,08$  oraz zastosowano zebra podporowe podatne to wsp.  $\chi_w = 0,83 / \lambda_w$

$\chi_w =$

nośność  $Vbw, rd = (\chi_w \cdot fy \cdot h_w \cdot t_w / (3 \cdot 0,5 \cdot \gamma_{m1})) =$

nośność dopuszczalna  $= (\eta \cdot fy \cdot h_w \cdot t_w / (3 \cdot 0,5 \cdot \gamma_{m1})) =$

Warunek nośności przekroju przy ścinaniu  $\eta_3 = V_{z, ed} / Vb, rd < 1$

|                                 | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC |                          |
|---------------------------------|-----------------|------------|--------------------------|
| $Vb, rd = Vbw, rd =$            | 717,57          | 736,29     | [kN]                     |
| $V_{z, ed} =$                   | 589,97          | 471,85     | [kN]                     |
| $\eta_3 = V_{z, ed} / Vb, rd =$ | 0,82            | 0,64       | < 1 - warunek spełniony. |

**3.6.6 Warunek nośności przekroju przy jednoczesnym zginaniu i scinananiu. (zgodnie z pkt. 7.1 normy PN-EN 1993-1-5):**

Ze względu na duże siły ścinające  $\eta_3 > 0,5$  należy sprawdzić interakcyjny warunek nośności przekroju przy jednoczesnym zginaniu i scinananiu.

Warunek ma postać: 
$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,rd}}{M_{pl,rd}}\right) \cdot (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1 \text{ lecz } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,rd}}{M_{pl,rd}}$$

**Mpl,rd** - nośność plastyczna obliczona dla przekroju złożonego z efektywnych części pasów oraz w pełni efektywnego środniczka (bez względu na jego klasę).

$M_{pl,rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{mo}$ .  $W_{pl,y} = |S_c| + |S_t|$ , gdzie  $S_c$  ( $S_t$ ) - to moment statyczny części ściskanej (rozciąganej) przekroju. Dla przekroju bisymetrycznego  $|S_c| = |S_t|$ . Dla dwuteownika  $|S_c| = h_w / 2 \cdot t_w \cdot h_w / 4 + b_f \cdot t_f \cdot (h_w / 2 + t_f / 2)$ . Zatem  $W_{pl,y} = 2 \cdot |S_c| = (h_w^2) / 4 \cdot t_w + b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f)$

**Mf,rd** - obliczeniowa nośność pasów, dla przekroju złożonego wyłącznie z efektywnych części pasów. Pomijając moment bezwładności względem osi własnej pasów można przyjąć, że  $M_{f,rd} = b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_y / \gamma_{mo}$ .

|                                                                                             | PRZĘŚŁO AB (CD) | PRZĘŚŁO BC |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|-------|
| $M_{pl,rd} = b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_y + (h_w^2) / 4 \cdot t_w \cdot f_y =$ | 2082,30         | 1509,51    | [kNm] |
| $M_{f,rd} = t_f \cdot b_f \cdot (h_w + t_f) \cdot f_y / \gamma_{mo} =$                      | 1416,80         | 844,01     | [kNm] |
| Stosunek nośności $M_{f,rd} / M_{pl,rd} =$                                                  | 0,68            | 0,56       |       |

Warunek pierwszy  $\eta_1' = M_{y,ed} / M_{pl,rd} > M_{f,rd} / M_{pl,rd}$ :

|                                                                                                        |             |             |                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\eta_1' = M_{y,ed} / M_{pl,rd} =$                                                                     | 0,71        | 0,33        | - jeśli $\eta_1' < M_{f,rd} / M_{pl,rd}$ to zamiast $\eta_1'$ należy podstawić $M_{f,rd} / M_{pl,rd}$ |
| $\eta_3' = V_{z,ed} / V_{bw,rd} =$                                                                     | 0,82        | 0,64        |                                                                                                       |
| <b>Warunek drugi <math>\eta_1' + (1 - M_{f,rd} / M_{pl,rd}) \cdot (2 \cdot \eta_3' - 1)^2 =</math></b> | <b>0,84</b> | <b>0,59</b> | <b>&lt; 1 - warunek spełniony.</b>                                                                    |

**UWAGA:** warunek interakcji należy sprawdzać w przekrojach gdzie działają jednocześnie duży moment i znaczna siła tnąca. Ponadto należy rozpatrywać siły wewnętrzne, które pochodzą od tej samej kombinacji obciążeń (czyli np. max  $M_{y,ed}$  i towarzysząca mu siła tnąca  $V_{z,ed}$  lub max  $V_{z,ed}$  i towarzyszący jej moment  $M_{y,ed}$ ). W powyższych obliczeniach do wzoru interakcji podstawiono max  $M_{y,ed}$  oraz max  $V_{z,ed}$  mimo, że one fizycznie nie wystąpią jednocześnie w tym samym przekroju. Zrobiono to dlatego aby ocenić czy analizowany przekrój będzie można zastosować również w przekrojach podporowych.

**3.6.7 Zgodnie z pkt. 8 (1) PN-EN 1993-1-5 należy sprawdzić warunek stateczności pasa przy smukłym środkniku:**

Warunek ma postać: 
$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

|                                                     | PRZĘŚŁO AB (CD) | PRZĘŚŁO BC    |                    |
|-----------------------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------|
| pole przekroju środknika $A_w =$                    | 8800,00         | 8800,00       | [mm <sup>2</sup> ] |
| efektywne pole przekroju pasa $A_{fc} =$            | 4600,00         | 2760,00       | [mm <sup>2</sup> ] |
| dla nośności sprężystej współczynnik $k =$          | 0,55            | 0,55          |                    |
| $k \cdot (E / f_{yf}) \cdot (A_w / A_{fc})^{0,5} =$ | <b>580,91</b>   | <b>749,96</b> |                    |
| $h_w / t_w =$                                       | <b>137,50</b>   | <b>137,50</b> |                    |

Warunek spełniony, stateczność pasa zapewniona.

**3.7 Dobór przekrojów podporowych i miejsc zmiany przekrojów**

- Ze względu na zbliżone wartości momentów zginających w przęsłach skrajnych (AB, CD) oraz w strzbie podópór pośrednich (B, C) zdecydowano aby we wszystkich tych strefach dać taki sam przekrój poprzeczny.
- W strzbie podópór pośrednich (B, C) występują momenty zginające o przeciwnym znaku niż te z przęsła (AB, CD). Mimo, że przekroje są takie same, to jednak przy różnym poziomie naprężeń, będą występować zmiany położenia osi obojętnej. Nie mniej jednak momenty maksymalne  $M_{y,ed}$  (AB/CD) są zbliżone do  $M_{y,ed}$  (B/C), dlatego różnice efektywnych charakterystyk geometrycznych będą pomijalnie małe. Przyjęto założenie, że nośności przekrojów  $M_{c,rd}$  (B/C) będą równe  $M_{c,rd}$  (AB/CD). Należy jednak pamiętać, że ze względu na znak momentu zginającego, strefa ściskana przekroju podporowego znajduje się teraz poniżej osi obojętnej.
- Nie ma potrzeby sprawdzania warunków wytyżenia przekrojów podporowych B/C, gdyż mają one nośność taką jak przekroje przęsłowe AB/CD, natomiast siły wewnętrzne są mniejsze niż te, które były brane pod uwagę przy wymiarowaniu przekrojów w przęsłach (AB/CD).
- Do ustalenia pozostaje jeszcze miejsce połączenia przekroju podporowego (B, C) z przekrojem przęsłowym BC.

Nośność przekroju  $M_{c,rd}$  (BC) = **1181,47** [kNm]

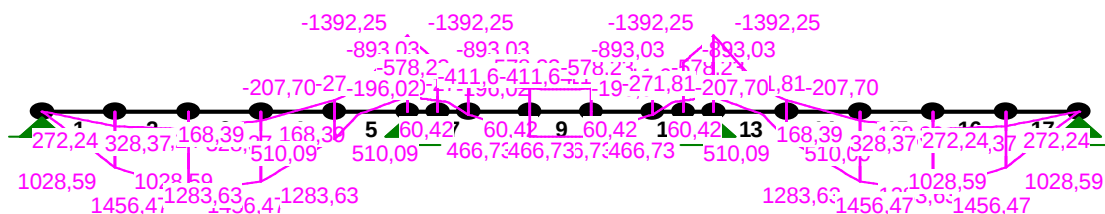
Z obwiedni sił wewnętrznych odczytano, że  $M_{y,ed} = M_{c,rd}$  (BC) występuje w odległości  $x_{gr} = 0,33m$  licząc od podpory pośredniej B w kierunku przęsła BC. Zatem miejsce zmiany przekroju powinno być ustalone w odległości większej niż 0,33m, ponadto należy omijać strefy wpływów spawalniczych tzn. strefy występowania żeber pionowych. Ustalono miejsce zmiany przekroju w odległości  $x_{zm} = 1,05m$ .

$M_{y,ed}(x_{zm} = 1,05m) =$  **843,17** [kNm]

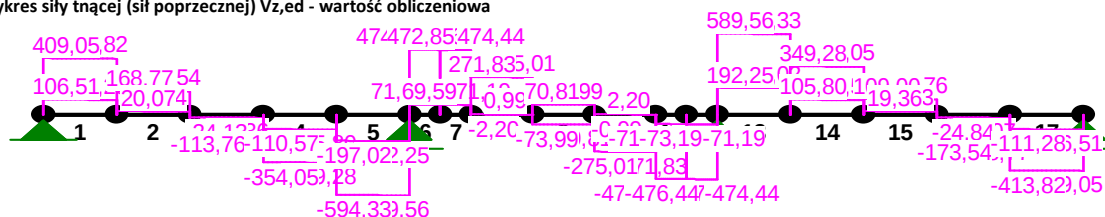
$V_{z,ed}(x_{zm} = 1,05m) =$  **470,25** [kN]

**3.8. CZWARTE obliczenia statyczne (z uwzględnieniem: przekroju podporowego B i C oraz wyżej określonego miejsca zmiany przekroju).**

Wykres momentu zginającego  $M_{y,ed}$  - wartość obliczeniowa



Wykres siły tnącej (sił poprzecznej)  $V_{z,ed}$  - wartość obliczeniowa



## 3.9 Sprawdzenie warunków nośności przekrojów

Siły przekrojowe miarodajne do obliczeń

|                          | Podpora A (pr.) | Przęsło AB (CD) | Przęsło BC | Podpora B lew. | Podpora B pr. | Zmiana B/BC |       |
|--------------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|---------------|-------------|-------|
| max (dołem) $M_{y,ed}$ = | -               | 1456,47         | 467,57     | 271,81         | 271,81        | 196,02      | [kNm] |
| min (górną) $M_{y,ed}$ = | -               | 328,37          | 410,81     | 1392,25        | 1392,25       | 893,03      | [kNm] |
| max $V_{z,ed}$ =         | 413,82          | 66,75           | 0,00       | 594,33         | 476,44        | 474,44      | [kN]  |
| reakcja max R =          | 531,58          | -               | -          | 1287,45        | 1287,45       | -           | [kN]  |

Warunki nośności przekrojów (UWAGA: pod uwagę należy brać siły wewnętrzne pochodzące od tej samej kombinacji obciążeń!)

|                                                               | PRZĘSŁO AB (CD) | PODPORA B(C)                                                     | ZMIANA B/BC | PRZĘSŁO BC |                                                                  |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|-------------|------------|------------------------------------------------------------------|
| warunek nośności przekroju na zginanie                        |                 |                                                                  |             |            |                                                                  |
| max $M_{y,ed}$ =                                              | 1456,47         | 1392,25                                                          | 893,03      | 467,57     |                                                                  |
| nośność $M_{c,rd}$ =                                          | 1730,57         | 1730,57                                                          | 1181,47     | 1181,47    |                                                                  |
| wyższenie $\eta_1 = M_{y,ed}/M_{c,rd}$ =                      | 0,84            | 0,80                                                             | 0,76        | 0,40       | < 1 warunki spełnione                                            |
| warunek nośności przekroju na ścinanie                        |                 |                                                                  |             |            |                                                                  |
| max $V_{z,ed}$ =                                              | 413,82          | 594,33                                                           | 474,44      | 474,44     |                                                                  |
| nośność $V_{b,rd}$ =                                          | 717,57          | 717,57                                                           | 736,29      | 736,29     |                                                                  |
| wyższenie $\eta_3$ =                                          | 0,58            | 0,83                                                             | 0,64        | 0,64       | < 1 warunki spełnione                                            |
| warunek interakcyjny nośności przekroju zginanego i ścinanego |                 |                                                                  |             |            |                                                                  |
| max $M_{y,ed}$ =                                              | 1456,47         | 1392,25                                                          | 893,03      | 467,57     |                                                                  |
| towarzysząca $V_{z,ed}$ =                                     | 66,75           | 594,33                                                           | 474,44      | 0,00       |                                                                  |
| $M_{f,rd}$ =                                                  | 1416,80         | 1416,80                                                          | 844,01      | 844,01     |                                                                  |
| $M_{pl,rd}$ =                                                 | 2082,30         | 2082,30                                                          | 1509,51     | 1509,51    |                                                                  |
| wyższenie $\eta_1' = M_{y,ed}/M_{pl,rd}$ =                    | 0,70            | 0,67                                                             | 0,59        | 0,31       |                                                                  |
| lecz $\eta_1' > M_{f,rd}/M_{pl,rd}$ =                         | 0,68            | 0,68                                                             | 0,56        | 0,56       |                                                                  |
| wyższenie $\eta_3' = V_{z,ed}/V_{bw,rd}$ =                    | 0,09            | 0,83                                                             | 0,64        | 0,00       |                                                                  |
| $\eta_1' + (1 - M_{f,rd}/M_{pl,rd}) * (2 * \eta_3' - 1)^2 =$  |                 | $\eta_3' < 0,5$ , dlatego nie ma potrzeby sprawdzania interakcji | 0,82        | 0,63       | $\eta_3' < 0,5$ , dlatego nie ma potrzeby sprawdzania interakcji |
|                                                               |                 |                                                                  |             |            | < 1 warunki spełnione                                            |

NOŚNOŚCI PRZEKROJÓW SĄ ZAPEWNIONE.

## 3.10 Sprawdzenie stateczności ogólnej podciągu (nośność elementu ze względu na zwichrzenie).

Zwichrzenie elementu należy sprawdzać w obszarze maksymalnych momentów zginających, w strefie przęsłowej i podporowej.

1) W strefie przęsłowej, tam gdzie występuje "rozciąganie dołem" (przęsło AB i CD) pas ściskany przekroju jest zabezpieczony przed przemieszczeniem bocznym za pomocą belek stropowych i płyty stropowej. Przyjęto, że zwichrzenie nie wystąpi.

2) W strefie podpór pośrednich (B i C), tam gdzie występuje "rozciąganie górą" pas ściskany (pas dolny przekroju) nie jest zabezpieczony przed przemieszczeniami bocznymi. Dlatego zastosowano dodatkowe elementy stabilizujące tzw. zastrzały łączące pas ściskany blachownicy z pasem belki stropowej (zastrzały wprowadzono pod pierwszymi belkami leżącymi na lewo i prawo od podpór B i C). W związku z czym rozpiętością obliczeniową podciągu będzie odcinek między zastrzałami. Warunek zwichrzenia będzie sprawdzany wg tzw. procedury uproszczonej zgodnie z pkt. 6.3.2.4, spełniając warunek 6.59 normy PN-EN 1993-1-1.

3) W strefie przęsłowej, tam gdzie występuje "rozciąganie górą" (przęsło BC) pas ściskany przekroju nie jest zabezpieczony przed przemieszczaniem bocznymi. Nie wprowadzono zastrzałów, dlatego do obliczeń przyjmuje się pełną rozpiętość elementu o przekroju przęsłowym BC. Warunek zwichrzenia będzie sprawdzany wg metody dokładnej zgodnie z pkt. 6.3.2.1 i 6.3.2.3 PN-EN 1993-1-1.

## 3.10.1 STREFA PODPÓR POŚREDNICH (B, C) - Warunek zwichrzenia elementu wg procedury uproszczonej ma postać:

$$\lambda_F = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{f,z} \cdot \lambda_1} \leq \lambda_{c,o} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

|                                                                        | PODPORA B z lewej | PODPORA B z prawej |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------|
| Rozstaw elementów stabilizujących pas - $L_c$ =                        | 2,50              | 2,10               | [m]   |
| maks. mom. zginający między stężeniami $M_{y,Ed}$ =                    | 1392,25           | 1392,25            | [kNm] |
| moment zg. w przekroju w miejscu zebra $M_{1,Ed}$ =                    | -87,62            | 395,71             | [kNm] |
| nośność obliczeniowa na zginanie $M_{c,rd}$ =                          | 1730,57           | 1181,47            |       |
| smukłość $\lambda_1 = \pi \cdot (E/f_y)^{0,5} = 93,9 \cdot \epsilon$ = | 86,39             | 86,39              |       |
| przyjęto smukłość graniczną $\lambda_{c,o}$ =                          | 0,50              | 0,50               |       |

- UWAGA: z prawej strony podpory B analizowany jest element o zmiennym przekroju. Przyjęto bezpiecznie charakterystyki przekroju słabszego.

- UWAGA: wg załącznika NA.18 można przyjmować smukłość graniczną  $\lambda_{c,o} = 0,4$ Współczynnik  $k_c$  przyjęto z tabl. 6.6 PN-EN 1993-1-1 jak dla wykresu momentu zmiennego liniowo:

|                                      |       |      |
|--------------------------------------|-------|------|
| $k_c = 1/(1,33 - 0,33 \cdot \Psi)$ = | 0,74  | 0,81 |
| gdzie $\Psi = M_{1,Ed}/M_{y,Ed}$ =   | -0,06 | 0,28 |

if,z - to promień bezwładności przekroju zastępczego względem osi z-z. Przekrój zastępczy składa się z pasa ściskanego (A,f) i 1/3 ściskanej części środnika (Aeff,wc). Promień bezwładności zastępczego pasa można obliczyć ze wzoru  $i_{f,z} = (J_{f,z}/(A_{f,z} + 1/3 \cdot A_{eff,wc}))^{0,5}$ :

|                                                                       |        |        |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------------------|
| długość efektywnej części ściskanej środnika $h_{eff,wc} = b_{eff}$ = | 457,81 | 457,64 | [mm] - są to wymiary z drugiego kroku iteracyjnego |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------------------|

Moment bezwł. pasa ściskanego  $J_{f,z} = t^3 \cdot b^3 / 12 + 1/3 \cdot h_{eff,wc}^3 \cdot t^2 / 12$ :

|                                                    |             |             |                    |
|----------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| $J_{f,z}$ =                                        | 20284844,47 | 12173508,71 | [mm <sup>4</sup> ] |
| pole przekroju pasa ściskanego $A_f = t \cdot b$ = | 4600,00     | 2760,00     | [mm <sup>2</sup> ] |

Pole przekroju części ściskanej środnika  $A_{eff,wc} = t \cdot w \cdot h_{eff,wc}$ :

|                                                            |         |         |                    |
|------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------------|
| $A_{eff,wc}$ =                                             | 3662,51 | 3661,15 | [mm <sup>2</sup> ] |
| $i_{f,z} = (J_{f,z}/(A_f + 1/3 \cdot A_{eff,wc}))^{0,5}$ = | 59,03   | 55,30   | [mm]               |

Sprawdzenie warunku zwichrzenia:

|                                                           |       |       |
|-----------------------------------------------------------|-------|-------|
| $\lambda_F = (k_c \cdot L_c)/(i_{f,z} \cdot \lambda_1)$ = | 0,363 | 0,356 |
| $\lambda_{c,o} \cdot M_{c,Rd}/M_{y,Ed}$ =                 | 0,621 | 0,424 |
| Warunek spełniony, zwichrzenie nie wystąpi.               |       |       |

**3.10.2 STREFA PRZĘŚŁOWA BC (rozciąganie górą) - Warunek zwichrzenia elementu wg procedury dokładnej PN-EN 1993-1-1.**

Zgodnie z pkt.6.3.2.1 warunek do sprawdzenia ma postać  $M_{y,ed}/M_{b,Rd} < 1$ . Nośność na zwichrzenie  $M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_{y1} / \gamma_{M1}$

Współczynnik zwichrzenia należy obliczyć zgodnie z pkt. 6.3.2.3:

$$\text{gdzie: } \chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} \quad \text{lecz } \chi_{LT} \text{ ma być } \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2] \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{J_\omega}{J_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot J_T}{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}}$$

Zarówno w literaturze technicznej jak i normach przedmiotowych można znaleźć wzory na obliczenia momentu krytycznego przy tzw. zwichrzeniu sprężystym. Na podstawie materiałów udostępnionych na portalu "Acces steel" najbardziej ogólny wzór dotyczący elementu, który jest obciążony zmiennym nieliniowo momentem zginającym ma postać:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E J_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left\{ \left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{J_w}{J_z} + \frac{(k \cdot L)^2 G J_T}{\pi^2 E J_z} + (C_2 z_g)^2 - C_2 z_g \right\}$$

Moment krytyczny powodujący zwichrzenie belki zależy od wielu parametrów, które występują w powyższym wzorze. Wynika to ze złożoności zjawiska "zwichrzenia", które wiąże ze sobą zjawiska wyboczenia o charakterze giętnym oraz skrętnym (stąd we wzorze występują moduły E, G oraz cechy geometryczne  $J_w, J_z, J_t$ ). Zasadniczo moment krytyczny zależy od rozpiętości elementu, warunków podparcia elementu, sposobu obciążenia oraz rozkładu momentu zginającego na długości elementu. Współczynnik  $k$  - to współczynnik długości wyboczeniowej giętej, współczynnik  $k_w$  - to współczynnik określający podatność końców elementu na "spaczenie" przekroju. Parametry  $C_1$  i  $C_2$  - zależą od obciążenia i warunków podparcia na końcach elementu. Parametr  $z_g$  - określa miejsce przyłożenia obciążenia względem środka ścinania przekroju.

Przyjmując założenie, że obciążenie jest przyłożone w środku ścinania  $z_g=0$  oraz przyjmując współczynniki długości wyboczeniowych  $k=1,0$  i  $k_w=1,0$  to powyższy wzór przyjmuje następującą postać:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{J_\omega}{J_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot J_T}{\pi^2 \cdot E \cdot J_z}}$$

Powyższy wzór można znaleźć w podręczniku "Przykłady obliczeń wg PN-EN 1993-1-1" Tom 2 / Prz. 2011 - A. Kozłowski i inni.

Zgodnie z ww. książką współczynnik  $C_1$  można obliczyć ze wzoru  $C_1 = 12,5 M_{max} / (2,5 M_{max} + 3 M_1 + 4 M_2 + 3 M_3)$ , gdzie:

$M_{max}$  - to maksymalna bezwzględna wartość momentu zginającego na odcinku między stężeniami

$M_1$  - to wartość momentu zginającego w 1/4 rozpiętości elementu

$M_2$  - to wartość momentu zginającego w 2/4 rozpiętości elementu

$M_3$  - to wartość momentu zginającego w 3/4 rozpiętości elementu

W przypadku elementu obciążonego momentem gnącym, którego wykres jest liniowo zmienny to procedura obliczania  $M_{cr}$  oraz współczynnika zwichrzenia  $\chi_{LT}$  może być inna niż przedstawiana poniżej.

| Dane:                 | PRZĘŚŁO BC |                                                                                              |
|-----------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| E=                    | 210,00     | - moduł sprężystości podłużnej [kN/mm <sup>2</sup> = GPa]                                    |
| G=                    | 81,00      | - moduł odkształcenia postaciowego [kN/mm <sup>2</sup> = GPa]                                |
| Jz=                   | 2438,09    | - moment bezwładności względem osi słabszej przekroju [cm <sup>4</sup> ]                     |
| Jt=                   | 45,27      | - moment bezwładności przy skręcaniu swobodnym [cm <sup>4</sup> ]                            |
| J <sub>ω</sub> =      | 7700571,51 | - wycinkowy moment bezwładności [cm <sup>6</sup> ]                                           |
| L=                    | 630,00     | - długość elementu, któremu grozi zwichrzenie 3*e2 [cm], długość elementu między stężeniami. |
| M <sub>max,ed</sub> = | 562,41     | - maksymalny moment zginający na długości analizowanego elementu                             |
| M1,ed (x=1,575m)=     | 448,71     | - wartość momentu zginającego w 1/4 rozpiętości elementu odczytana z programu                |
| M2,ed (x=3,15m)=      | 410,81     | - wartość momentu zginającego w 2/4 rozpiętości elementu odczytana z programu                |
| M3,ed (x=4,725m)=     | 448,71     | - wartość momentu zginającego w 3/4 rozpiętości elementu odczytana z programu                |
| C1=                   | 1,22       | - współczynnik korygujący uwzględniający zmienny rozkład momentu gnącego                     |
| M <sub>cr</sub> =     | 91518,68   | - moment krytyczny zwichrzenia [kNcm]                                                        |
| M <sub>cr</sub> =     | 915,19     | [kNm]                                                                                        |
| W <sub>el,y</sub> =   | 4665,16    | - wskaźnik wytrzymałości sprężysty przekroju brutto [cm <sup>3</sup> ]                       |
| f <sub>y</sub> =      | 275,00     | - granica plastyczności [N/mm <sup>2</sup> = MPa]                                            |
| λ <sub>LT</sub> =     | 1,184      | - smukłość względna przy zwichrzeniu                                                         |
| β=                    | 0,75       | - wartości sugerowane przez norme                                                            |
| λ <sub>LT,0</sub> =   | 0,40       | - wartości sugerowane przez norme                                                            |

$\alpha_{LT}$  to tzw. parametr imperfekcji przypisany krzywej wyboczeniowej dla danego typu przekroju. Dla dwuteownika spawanego krzywa zwichrzenia, zależy od proporcji  $h/b$ .

|                   |         |                                                    |
|-------------------|---------|----------------------------------------------------|
| h=                | 1124,00 |                                                    |
| b=                | 230,00  |                                                    |
| Proporcja h/b=    | 4,89    | > 2, więc krzywa "d" dla której $\alpha_{LT}=0,76$ |
| α <sub>LT</sub> = | 0,76    |                                                    |
| φ <sub>LT</sub> = | 1,32    |                                                    |
| χ <sub>LT</sub> = | 0,46    | ≤ 1                                                |

Wyznaczony powyżej współczynnik zwichrzenia  $\chi_{LT}$ , został obliczony uwzględniając zmienny rozkład momentu zginającego dlatego można przyjąć, że  $\chi_{LT} = \chi_{LT,mod}$ .

|                                                                                       |        |                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------|
| Przyjęto χ <sub>LT</sub> =χ <sub>LT,mod</sub> =                                       | 0,46   |                                                     |
| max M <sub>y,ed</sub> =                                                               | 578,23 | [kNm] - na długości rozpatrywanego odcinka podciągu |
| M <sub>b,Rd</sub> =χ <sub>LT</sub> *W <sub>y</sub> *f <sub>y</sub> /γ <sub>M1</sub> = | 546,83 | [kNm]                                               |
| M <sub>y,ed</sub> /M <sub>b,Rd</sub> =                                                | 1,06   |                                                     |

Warunek nie jest spełniony, w związku z czym wprowadzono elementy stabilizujące pas dolny podciągu pod każdą belką stropową w przęśle środkowym BC

**3.11 Sprawdzenie nośności spoin łączących pas ze średnikiem wg PN-EN 1993-1-8 pkt. 4.5.3.2 (metoda kierunkowa)**

Przyjęto połączenie blach (pasa i średnika) na obustronne spoiny pachwinowe.

Ogólny warunek nośności ma postać (wzór 4.1 normy)  $[\sigma'^2 + 3(\tau'^2 + \tau''^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{m2})$ , W analizowanym przypadku o nośności decydują naprężenia styczne  $\tau''$  równoległe do spoiny, natomiast naprężenia normalne  $\sigma'$  i  $\tau'$  mogą zostać pominięte ze względu na ich niewielką wartość. W związku z czym warunek nośności ma postać  $[3\tau''^2]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{m2})$ , gdzie naprężenia styczne  $\tau'' = V_{z,ed} \cdot S_{y-y} / (J_y \cdot 2 \cdot a \cdot w)$ .

| Naprężenia styczne $\tau''$ :                                                                           | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC    |                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|
| maksymalna siła tnąca $V_{z,ed} =$                                                                      | 594,33          | 476,44        | [kN]                      |
| moment statyczny pasa liczony wzgl. osi obojętnej $S_{y-y} = b_f \cdot t_f \cdot (h_w / 2 + t_f / 2) =$ | 2576000,00      | 1534560,00    | [mm <sup>3</sup> ]        |
| moment bezwładności przekroju $J_{yy} =$                                                                | 3772760000,00   | 2593830293,33 | [mm <sup>4</sup> ]        |
| wymiary spoiny $a, w =$                                                                                 | 5,00            | 5,00          | [mm]                      |
| <b>naprężenia styczne <math>\tau'' =</math></b>                                                         | <b>40,58</b>    | <b>28,19</b>  | <b>[N/mm<sup>2</sup>]</b> |

**Nośność spoiny pachwinowej:**

|                                                                  |               |               |                                        |
|------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------------------------------|
| wytrzymałość stali na rozierwanie $f_u =$                        | 430,00        | 430,00        | [N/mm <sup>2</sup> ]                   |
| współczynnik korelacji $\beta_w$ (dla stali S275) =              | 0,85          | 0,85          | - współczynnik korelacji z tablicy 4.1 |
| współczynnik $\gamma_{m2} = \min[1,1; 0,9 \cdot f_u / f_y] =$    | 1,10          | 1,10          |                                        |
| <b>nośność spoiny <math>f_u / (\beta_w \gamma_{m2}) =</math></b> | <b>459,89</b> | <b>459,89</b> | <b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>              |
| <b>Warunek spełniony: nośność &gt; naprężenia.</b>               |               |               |                                        |

**3.12 Sprawdzenie nośności spoin w miejscu zmiany przekroju wg PN-EN 1993-1-8 pkt. 4.7.1**

Przyjęto, że blachy pasów będą łączone spoinami czołowymi z pełnym przetopem. W takich sytuacjach nośność spoiny równa jest nośności obliczeniowej słabszej z łączonych części. Warunek nośności spoiny można zapisać jak warunek nośności dla przekrojów pasa  $N_{f,ed} \leq N_{pl,rd}$  (siła przypadająca na pas  $\leq$  nośność plastyczna pasa). Warunek uważa się za spełniony, ponieważ wcześniejsze warunki dotyczące nośności  $\eta_2$  zostały spełnione.

**3.13 NOŚNOŚĆ PODCIĄGU ZE WZGLĘDU NA DOCISK SKUPIONY.**

Wg PN-EN 1993-1-5 warunek do spełnienia ma postać  $\eta_2 = F_{ed} / F_{rd} \leq 1,0$

Tam gdzie występują znaczne siły skupione przekrój podciągu usztywniony będzie żebrami pionowymi. W takich sytuacjach warunek  $\eta_2 = F_{ed} / F_{rd} < 1$  uważa się za spełniony jeśli żebra usztywniające spełniają wymogi normowe dotyczące ich geometrii oraz nośności. Gdyby w przekrojach, w których działają znaczne siły skupione nie występowały żebra pionowe, należałoby bezwzględnie sprawdzać warunek normowy na  $\eta_2$ .

**3.14 Stan graniczny użytkowalności SLS (obciążenia charakterystyczne).**

|                                                                  | PRZĘSŁO AB (CD) | PRZĘSŁO BC  |      |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|------|
| Maksymalne ugięcie odczytane z programu numerycznego $U_{max} =$ | 1,89            | 0,83        | [cm] |
| $U_{max}$ pochodzi od kombinacji obciążeń =                      | c.wł.+A+B+D     | c.wł.+A+B+D |      |
| Ugięcie dopuszczalne $U_{gr} = L/350 =$                          | 3,57            | 3,00        | [cm] |
| <b>Warunek spełniony <math>u_{max} &lt; u_{gr}</math></b>        |                 |             |      |