

Stalowe belki blachownicowe ze smukłym środkiem, bez żebra i z żebrem podłużnym

Dr inż. Elżbieta Grochowska, prof. dr hab. inż. Antoni Matysiak, Uniwersytet Zielonogórski

1. Wprowadzenie

Stalowe belki blachownicowe spawane stosuje się w budownictwie przemysłowym, w halach handlowych, widowiskowych, sportowych i w obiektach wielu innych rodzajów.

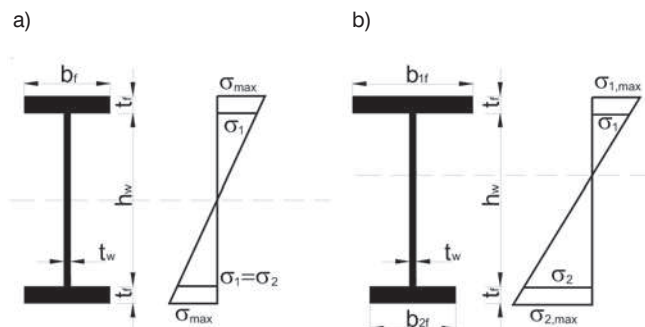
Zaprojektowany element konstrukcji powinien spełniać warunek nośności, sztywności, stateczności i racjonalności ze względu na zużycie materiału i koszty wykonania.

Kształtowanie przekroju powinno być dostosowane do wymienionych wymagań wyżej. Ma to związek z przyjętymi wymiarami i polem przekroju środka. Środek może być zaprojektowany o małej lub o dużej smukłości przy stałym polu przekroju. Doświadczony inżynier zaprojektuje belkę ze smukłym środkiem, przyjmując rozwiązanie racjonalne, ze środkiem klasy 4, wymagającym sprawdzenia niestateczności ścianki.

Belki ze środkami klasy 1, 2 i 3 nie wymagają sprawdzenia na niestateczność. W belkach stosowanych w budownictwie powszechnym, stosunek rozpiętości do szerokości wystającej (wspornikowej) części pasa jest na ogół mniejszy od 50 ($L/b_o < 50$). W takich rozwiązaniach konstrukcji efekt szerokiego pasa można pomijać [6]/3.1 (1).

2. Smukły środek klasy 4 podłużnie nieuzębrowany

Wykresy naprężeń normalnych wywołanych zginaniem podano na rysunku 1.



Rys. 1. Wykresy naprężeń normalnych wywołanych zginaniem; a) przekrój bisymetryczny, b) przekrój monosymetryczny

Współczynnik redukcyjny ρ dla ścianki przęstowej oblicza się według wzorów [6]:

$$\rho = 1 \text{ gdy } \bar{\lambda}_p \geq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi}, \quad (1)$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}, \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ gdy } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi}, \quad (3)$$

$$\text{gdyn } \psi = \frac{+\sigma_2}{-\sigma_1} = -1,0, \quad k_\sigma = 23,9,$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,11}{\bar{\lambda}_p^2}. \quad (4)$$

$$\text{Gdy } |\sigma_1| < |\sigma_2| \quad \psi = \frac{+\sigma_2}{-\sigma_1}.$$

$$\text{Dla } -1 > \psi \geq -3, \quad k_\sigma = 5,98(1 - \psi)^2.$$

Smukłość względną $\bar{\lambda}_p$ oblicza się według wzoru (2), a wartość współczynnika redukcyjnego według wzoru (3).

Dla innych przebiegów naprężeń normalnych w przekroju, wynikających ze zginania ze ściskaniem lub rozciąganiem, w zależności od współczynnika ψ , parametr k_σ oblicza się według wzorów z tablicy 4.1 [6].

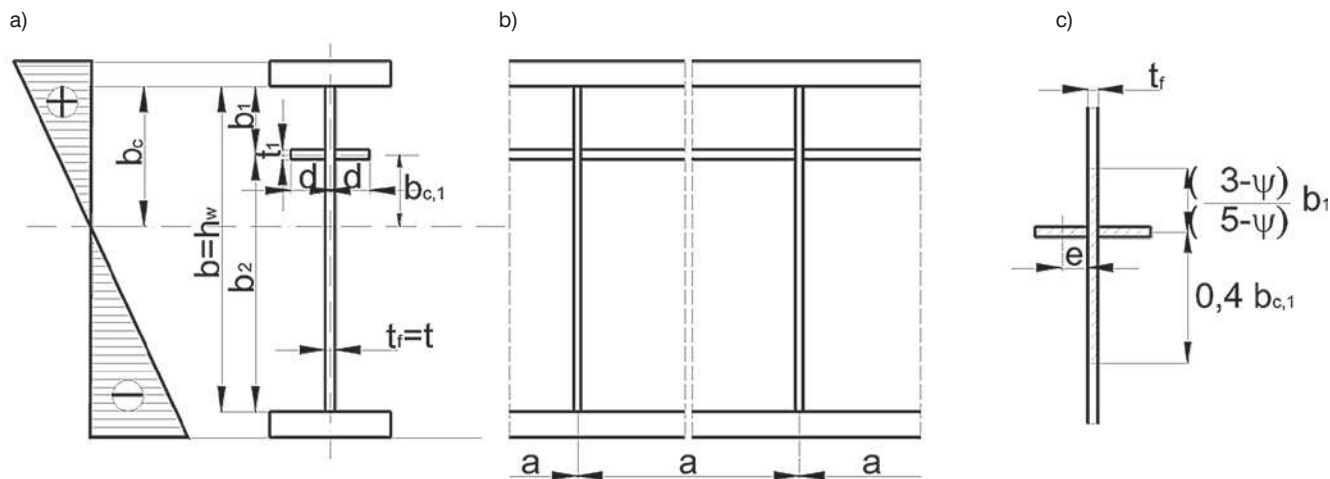
Pole przekroju współpracującego ściskanej strefy ścianki (środka) ustala się według tablicy 4.1 [6]. Nośność i stateczność blachownic, w których występują ścianki klasy 4 wyznacza się przyjmując geometryczne cechy przekroju współpracującego $A_{eff}, I_{eff}, W_{eff}$ [6]/4.2 (1).

3. Środek klasy 4, podłużnie uzębrowany

Żebra podłużne jedno- lub dwustronne stosuje się w belkach ze smukłym środkiem, zwłaszcza w belkach obciążonych w sposób dynamiczny. Żebra należy sytuować w części ściskanej środka z odpowiednim rozmieszczeniem (por. przykład).

Podłużne żebra wyznaczają pola współpracujące poszczególnych subpaneli między żebrami oraz pola współpracującego panelu (z żebrami) odpowiadające niestateczności całej uzębrowanej ścianki.

Pole przekroju współpracującego każdego subpanelu wyznacza się jak w przypadku środka bez podłużnych żeber



Rys. 2. Opis wymiarów do wzorów: a) przekrój poprzeczny belki, b) widok belki z boku, c) względne odcinki wymiarów subpanelu

ze wzorów (2), (3) za pomocą współczynnika ρ_{loc} . Stateczność całej uźebrowanej ścianki sprawdza się, traktując panel z żebrami jako zastępczą płytę ortotropową stosując globalny współczynnik redukcyjny ρ_c [6]/4.5.1 (2).

3.1. Środek belki z jednym żebrzem

Naprężenia krytyczne ścianki uźebrowanej jednym żebrzem, traktowanej jak zastępcza płyta ortotropowa oblicza się według [6]/A.2.

Żebro ze ścianką można rozważać jako fikcyjny wyizolowany pręt na podłożu sprężystym, odwzorowujący efekt płytowy, w kierunku prostopadłym do tego pręta.

Naprężenia krytyczne dla żebra można obliczać według wzorów:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{1,05E \sqrt{I_{sl,1} t^3 b}}{A_{sl,1} b_1 b_2} \quad \text{gdy } a \geq a_c, \quad (5)$$

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2} + \frac{E t^3 b a^2}{4\pi^2 (1 - \nu^2) A_{sl,1} b_1^2 b_2^2} \quad \text{gdy } a < a_c \quad (6)$$

$$\text{przy czym } a_c = 4,33 \sqrt[4]{\frac{I_{sl,1} b_1^2 b_2^2}{t^3 b}}. \quad (7)$$

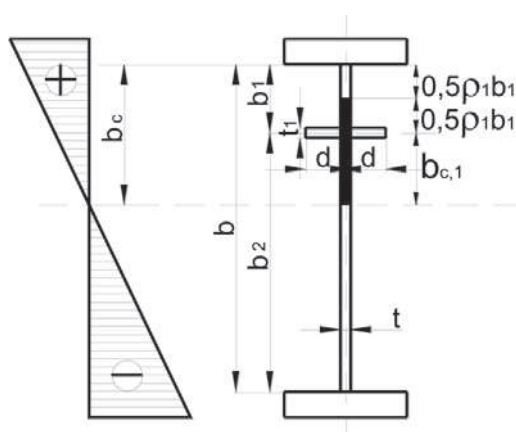
Zgodnie z powyższą treścią jest: $\sigma_{cr,p} = \sigma_{cr,sl}$ (według wzorów (5) lub (6)).

Oznaczenia: a , b_1 , b_2 , b_c , oraz b według rysunku 2.

Parametry $A_{sl,1}$ i $I_{sl,1}$ oblicza się dla przekroju pręta (zakresowanego) brutto utworzonego z żebra i przyległych części środka, jak pokazano na rysunku 2c. Jeżeli subpanel jest całkowicie ściskany, to odcinek środka przy brzegu (przy pasie) wynosi $[2/(5 - \psi)]b_1$.

Jeżeli w ramach subpanelu naprężenia zmieniają znak, to w efektywnym polu przekroju pręta uwzględnia się odcinek $0,4b_{c,1}$ (por. rys. 2c).

Wyznaczając współczynnik redukcyjny ρ_c rozważa się



Rys. 3. Rysunek wyjaśniający pola A_c i $A_{c,eff,loc}$

wpływ niestateczności typu płytowego i prętowego, będącego bardziej restrykcyjnym warunkiem od płytowego. Niestateczność typu płytowego wyznacza się według [6]/4.5.2, obliczając smukłość względną według wzoru:

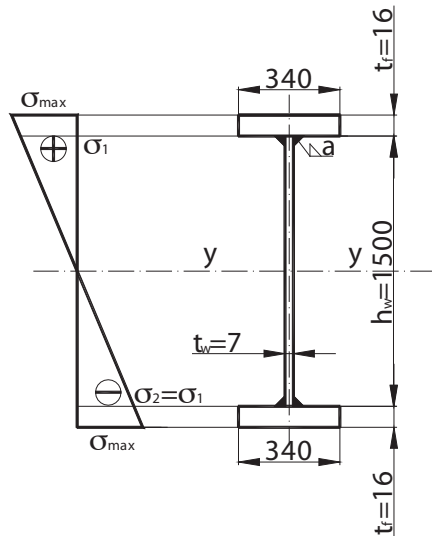
$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,C} f_y}{\sigma_{cr,p}}}, \quad (8)$$

przy czym $\beta_{A,C} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$,
gdzie:

A_c – pole przekroju brutto strefy ściskanej, z wyjątkiem połówkowych części brzegowych subpaneli (rys. 4.4 [6] i rys. 3),

$A_{c,eff,loc}$ – pole współpracujących części przekroju jak wyżej, uwzględniające efekty niestateczności poszczególnych subpaneli i/lub żeber.

Współczynnik redukcyjny ρ dla zastępczej płyty ortotropowej wyznacza się według [6]/4.4 (2), czyli według wzoru (3) w zależności od smukłości względnej otrzymanej za pomocą wzoru (8) (według [6]/4.5.2 wzór (4.7)).



Rys. 4. Wymiary przekroju belki i wykres naprężeń normalnych

3.1.1. Niestateczność typu prętowego

W ściankach uźebrowanych naprężenia krytyczne $\sigma_{cr,c}$ wyznacza się na podstawie naprężenia krytycznego dla najbardziej ściskanego żebra skrajnego $\sigma_{cr,sl}$, które jest określone wzorem:

$$\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 EI_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2} \quad (9)$$

Względna smukłość płytowa ścianki jest określona wzorem [6]/4.5.3 (4):

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{AC} f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad (10)$$

przy czym: $\beta_{AC} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}}$,

gdzie:

$A_{sl,1}$, $A_{sl,1,eff}$ – wartości liczone na podstawie rysunku 2c. Współczynnik redukcyjny χ_c wyznacza się według [5]/6.3.1.2. Dla ścianki uźebrowanej parametr imperfekcji krzywych wyoboczenia powiększa się. W przypadku żeber dwustronnych rozpatruje się mimośrodowo żeber po obu stronach [6]/4.5.3 (5) według wzoru:

$$a_c = a + \frac{0,09}{i/e} \quad (11)$$

przy czym:

$e = \max(e_1, e_2)$, według rysunku 2c lub [6]/A.1.,

$$i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}}$$

$$\chi_c = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}} \leq 1,0 \quad (12)$$

Pole przekroju:

pasy: $2,0 \cdot 34,0 \cdot 1,6 = 108,8 \text{ cm}^2$,

środek: $0,7 \times 150,0 = 105,0 \text{ cm}^2$,
 $A = 213,8 \text{ cm}^2$.

Moment bezwładności:

$$I_y = \frac{0,7 \cdot 150,0^3}{12} + 108,8 \cdot 75,8^2 = 822000,6 \text{ cm}^4$$

Wskaźnik wytrzymałości:

$$W_y = \frac{822000,6}{76,6} = 10731,0 \text{ cm}^3$$

gdzie:

$$\phi = 0,5[1 + a_c(\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2]$$

3.1.2. Interakcja niestateczności typu płytowego i prętowego

$$\rho_c = (\rho - \chi_c)\xi(2 - \xi) + \chi_c \quad (13)$$

gdzie: $\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1$ lecz $0 \leq \xi \leq 1$.

Niestateczność typu prętowego może wystąpić w przypadku paneli krótkich, gdy stosunek boków panelu $a/b < 1,0$ [6]/4.4 (6). Odpowiedni współczynnik redukcyjny ρ_c wyznacza się wzorem (13) według [6]/4.5.4.

Niestateczność typu prętowego zachodzi w przypadku paneli między żebrami, gdy współczynnik ρ_c jest bardzo zbliżony do współczynnika wyoboczenia χ_c dla elementów prętowych – patrz [6] rys. 4.3 a) i b).

Pole przekroju współpracującej strefy ściskanej ścianki uźebrowanej jest określone według [6]/4.5.1 (3), wzór (4.5) i według [6]/4.5.1 (4) wzór (4.6).

$$A_{c,eff} = \left[A_{sl,eff} + \sum_C \rho_{loc} b_{c,loc} t \right] \rho_c + \sum b_{edge,eff} t \quad (14)$$

gdzie:

$A_{sl,eff}$ – efektywne pole przekroju żebra znajdującego się w strefie ściskanej,

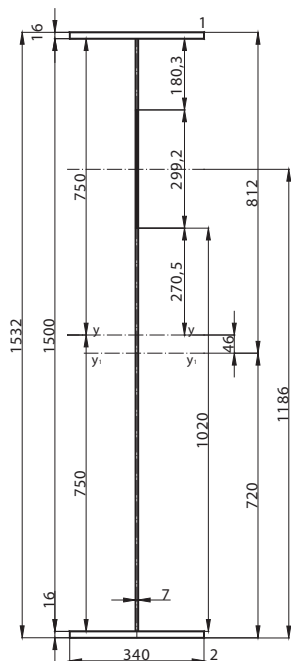
$b_{c,loc}$ – szerokość części ściskanej subpanelu,

$b_{edge,eff} = 0,5\rho_1 b_1$.

4. Przykłady liczbowe

4.1. Przykład 1. Środek belki klasy 4 bez żebra podłużnego

Belka stalowa blachownicowa pokazana na rysunku 4 jest obciążona równomiernie. W przekroju poprzecznym


Rys. 5. Przekrój poprzeczny belki po redukcji środnika

belki występują moment zginający i siła poprzeczna. Stal S 235, $\varepsilon = 1,0$.

Określenie klasy ścianki środnika i pasa

Dla środnika:

$$h_w / t_w = 1500 / 7 = 214,3100 > 124 \varepsilon = 124 \quad \text{klasa 4.}$$

Dla pasa:

$$b_f / t_f = 340 - 7/2 \cdot 16 = 10,41 < 14,0 \varepsilon = 14 \quad \text{klasa 3.}$$

Wpływ spoin na smukłość środnika

Przyjęto grubość spoin $a=5$ mm.

$$\frac{1500 - 2\sqrt{5}}{1500} = 0,991$$

Uwaga: Spoiny mają znikomy wpływ na smukłość elementów, zwłaszcza środników i w konsekwencji na nośność belek.

$$\psi = \frac{-\sigma_2}{\sigma_1} = -1,0, \quad \text{dla } \psi = -1,0 \quad k_\sigma = 23,9.$$

Smukłość względna ścianki:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{214,3}{28,4 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{23,9}} = 1,543.$$

Wartość współczynnika redukcyjnego dla rozważanej smukłości ścianki wynosi:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,543 - 0,055[3 + (-1,0)]}{1,543^2} = 0,601.$$

Szerokość współpracująca środnika [6]/tab./4.1:

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &= \rho \cdot b_c = 0,601 \cdot 75,0 = 45,08 \text{ cm}, \\ b_{e,1} &= 0,4 \cdot b_{\text{eff}} = 0,4 \cdot 45,08 = 18,03 \text{ cm}, \\ b_{e,2} &= 0,6 \cdot b_{\text{eff}} = 0,6 \cdot 45,08 = 27,05 \text{ cm}, \\ 0,5 h_w - b_{\text{eff}} &= 75,0 - 45,08 = 29,92 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Efektywny przekrój poprzeczny belki (rys. 5):

$$A_{\text{eff}} = 213,8 - 29,92 \cdot 0,7 = 192,86 \text{ cm}^2,$$

$$z_s = \frac{213,8 \times 76,6 - 0,7 \cdot 29,92 \cdot 118,81}{192,86} = 72,0 \text{ cm}.$$

Moment bezwładności efektywnego przekroju belki: pasy:

$$\begin{aligned} I_{y1} &= 54,4(80,4^2 + 71,2^2) + 2 \cdot \frac{34,0 \cdot 1,6^3}{12} = \\ &= 627451,0 \text{ cm}^4, \end{aligned}$$

środnik:

$$\begin{aligned} I_{y2} &= \frac{0,7 \cdot 18,03^3}{12} + 18,03 \cdot 0,7 \cdot 70,59^2 + \frac{0,7 \cdot 102,0^3}{12} \\ &+ 102,0 \cdot 0,7 \cdot 19,4^2 = 152007,60 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

Razem:

$$I_{y,\text{eff}} = 627451,05 + 152007,60 = 779458,6 \text{ cm}^4,$$

$$W_{y1,\text{eff}} = \frac{779458,6}{81,2} = 9599,24 \text{ cm}^3,$$

$$W_{y2,\text{eff}} = \frac{779458,6}{72,0} = 10825,81 \text{ cm}^3.$$

Efektywna nośność przekroju wynosi:

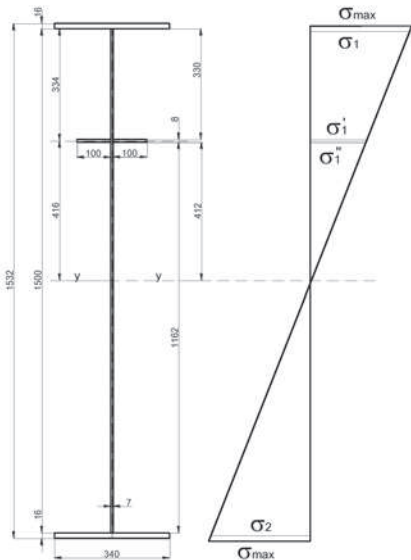
$$M_{\text{eff}} = \frac{W_{\text{eff}}}{W} M_R = \frac{9599,24}{10731,38} M_R = 0,895 M_R.$$

4.2. Przykład 2. Belka ze smukłym środnikiem i z żebrzem podłużnym

Na rysunku 6 pokazano przekrój belki dwuteowej ze smukłym środnikiem i usztywniony żebrzem podłużnym.

Panel górny:

$$\psi = \frac{117,9}{210,5} = 0,56,$$

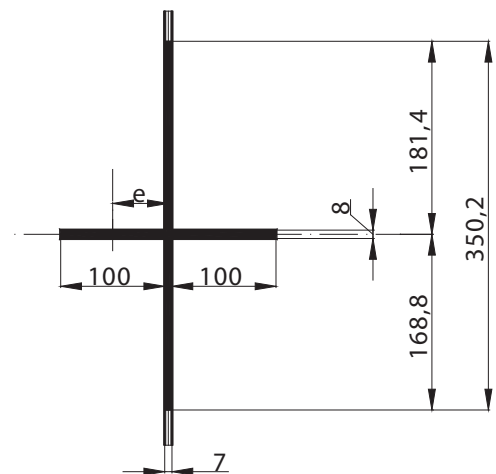


$$\sigma_{\max} = 215,0 \text{ MPa,}$$

$$\sigma_1 = \frac{75,0}{76,6} \cdot 215,0 = 210,5 \text{ MPa,}$$

$$\sigma'_1 = \frac{42,0}{75,0} \cdot 215,0 = 117,9 \text{ MPa,}$$

$$\sigma''_1 = \frac{41,2}{75,0} \cdot 215,0 = 115,6 \text{ MPa.}$$



Rys. 6. Przekrój poprzeczny z podłużnym żeblem

Rys. 7. Środek z żeblem dwustronnym, pole $A_{sl,1}$

$$\frac{c}{t} = \frac{33,0}{0,7} = 47,1,$$

$$\frac{c}{t} = \frac{42 \varepsilon}{0,67 + 0,33 \psi} = \frac{42 \cdot 1,0}{0,67 + 0,33 \cdot 0,56} = 49,1 > 47,1,$$

ścianka środka jest klasy 3.

$$k_{\sigma} = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,56} = 5,09,$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{47,1}{28,4 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{5,09}} = 0,73,$$

$$0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 0,56} = 0,733 > \bar{\lambda}_p.$$

Dla $\bar{\lambda}_p < 0,733$ współczynnik redukcyjny $\rho_{loc} = 1,0$.

Panel dolny:

$$\psi = \frac{-210,5}{115,6} = -1,82 > -3,0,$$

$$k_{\sigma} = 5,98(1 - \psi)^2 = 5,98(1 + 1,82)^2 = 47,55,$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{116,2/0,7}{28,4 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{47,55}} = 0,87,$$

$$0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot (-1,82)} = 0,93 > \bar{\lambda}_p = 0,87.$$

Dla $\bar{\lambda}_p < 0,93$ współczynnik redukcyjny $\rho_{loc} = 1,0$.

Niestateczność typu płytowego uźebrowanej ścianki (środnika) [6]/4.5.2

Wymiary przekroju dostosowane do rysunku 2 wynoszą: $b_c = 75,0$ cm, $b = 150,0$ cm, $b_{c,1} = 41,2$ cm, $b_1 = 33,0$ cm, $b_2 = 116,2$ cm, $a = 300,0$ cm, $d = 10,0$ cm, $t = 7,0$ mm, $t_1 = 8,0$ mm.

Wymiary według rysunku 2c i 7.

$$\frac{3 - \psi}{5 - \psi} b_1 = \frac{3 - 0,56}{5 - 0,56} \cdot 33,0 = 18,15 \text{ cm,}$$

$$0,4 \cdot b_c = 0,4 \cdot 41,2 = 16,48 \text{ cm,}$$

$$e = 0,5(10,0 + 0,7) = 5,35,$$

$$A_{sl,1} = 35,02 \cdot 0,7 + 2 \cdot 10,0 \cdot 0,8 = 24,51 + 16,0 = 40,51 \text{ cm}^2,$$

$$I_{sl,1} = \frac{(35,02 - 0,7) \cdot 0,7^3}{12} + \frac{0,8 \cdot 20,7^3}{12} = 592,3 \text{ cm}^4,$$

$$a_c = 4,33 \sqrt[4]{\frac{I_{sl,1} b_1^2 b_2^2}{t^3 b}} = 4,33 \sqrt[4]{\frac{592,3 \cdot 33,0^2 \cdot 116,2^2}{0,7^3 \cdot 150,0}} =$$

$$= 493,9 \text{ cm} = 4,939 \text{ m} > a = 3,00 \text{ m.}$$

Jeżeli $a > a_c$, obowiązuje wzór (6)

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2} + \frac{E t^3 b a^2}{4 \pi^2 (1 - \nu^2) A_{sl,1} b_1^2 b_2^2} =$$

$$= \frac{3,14^2 \cdot 21000 \cdot 592,3}{40,51 \cdot 300,0^2} + \frac{21000 \cdot 0,7^3 \cdot 150,0 \cdot 300,0^2}{4 \cdot 3,14^2 (1 - 0,3^2) 40,51 \cdot 33,0^2 \cdot 116,2^2} =$$

$$= 38,18 \text{ kN/cm}^2 = 381,8 \text{ MPa.}$$

Względna smukłość płytowa [6]/4.5.2

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,C} f_y}{\sigma_{cr,p}}} = \sqrt{\frac{\beta_{A,C} f_y}{\sigma_{cr,sl}}} = \sqrt{\frac{1,00 \cdot 23,5}{38,18}} = 0,785,$$

gdzie:

$$A_c = 0,7(75,0 - 0,5 \cdot 33,0) = 40,95 \text{ cm}^2,$$

(por. [6]/rys. 4.4)

$$A_{C,eff,loc} = 40,95 + 2 \cdot 10,0 \cdot 0,8 = 56,95 \text{ cm}^2,$$

$$\beta_{A,C} = \frac{A_{C,eff,loc}}{A_c} = \frac{56,95}{40,95} = 1,415.$$

Współczynniki redukcyjne lokalne dla panelu górnego $\rho_{loc} = 1,0$ i dla panelu dolnego $\rho_{loc} = 1,0$, z tego względu $A_{C,eff} = A_C$ (por. [6]/rys. 4.4).

Współczynnik redukcyjny dla płyty z żebrzem jako zastępczej płyty ortotropowej przy naprężeniach krawędziowej ścianki ściskanej.

$$\psi = \frac{0,0}{210,5} = 0,0,$$

$$0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 0,0} = 0,792 > 0,785,$$

$$\rho = \frac{0,785 - 0,055(3 - 0,0)}{0,785^2} = 1,00.$$

Niestateczność typu prętowego [6]/4.5.2(3)

W przypadku ścianek uźebrowanych naprężenie krytyczne wynosi:

$$\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2} = \frac{3,14^2 \cdot 21000 \cdot 592,3}{40,51 \cdot 300,0^2} = 33,64 \text{ kN/cm}^2 = 336,4 \text{ MPa},$$

Względna smukłość płytowa:

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,C} f_y}{\sigma_{cr,c}}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 23,5}{33,64}} = 0,834,$$

$$\beta_{A,C} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}} = \frac{40,51}{40,51} = 1,0.$$

Współczynnik redukcyjny ρ_c dla niestateczności typu prętowego wyznacza się według [6]/6.3.1.2.

Dla ścianki z żebrzem podłużnym przyjmuje się wartość parametru imperfekcji $\alpha = 0,21$ z tabl. 6.1 [5] powiększony według wzoru:

$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e} = 0,21 + \frac{0,09}{3,81/5,35} = 0,34,$$

przy czym:

$$i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}} = \sqrt{\frac{592,3}{40,51}} = 3,81 \text{ cm},$$

$$e = 0,5t + 0,5b_3 = 0,5 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 10,0 = 5,35 \text{ cm},$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha_e(\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2] = 0,5[1 + 0,34(0,834 - 0,2) + 0,834^2] = 0,956,$$

$$\chi_c = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}} = \frac{1}{0,956 + \sqrt{0,956^2 - 0,834^2}} = 0,703.$$

Interakcja niestateczności typu płytowego i prętowego [6]/4.5.4

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1,0 = \frac{38,18}{33,64} - 1,0 = 0,13,$$

$$\begin{aligned} \rho_c &= (\rho - \chi_c) \xi (2 - \xi) + \chi_c = \\ &= (1,0 - 0,703) 0,13 (2 - 0,13) + 0,703 = 0,775. \end{aligned}$$

Efektywne pole przekroju uźebrowanego podłużnie środnika [6]/4.5

$$\begin{aligned} A_{C,eff} &= \left[A_{sl,eff} + \sum_C \rho_{loc} b_{c,loc} t \right] \rho_c + \sum b_{edge,eff} t = \\ &= [2 \cdot 0,8 \cdot 10,0 + 1,0 \cdot (0,5 \cdot 33,0 + 42,0) \cdot 0,7] \cdot 0,775 + 33,0 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 55,7 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

Ściskane pole środnika:

$$A_C = 0,7 \cdot 75,0 = 52,5 \text{ cm}^2 < A_{C,eff} = 55,7 \text{ cm}^2.$$

5. Podsumowanie

W belkach blachownicowych wymiary smukłego środnika ogranicza się do grubości 6 mm i ogranicza się ze względu na nośność przy ścinaniu. Przy zginaniu przyjmuje się geometryczne cechy przekroju współpracującego zależne od współczynnika redukcyjnego. W przykładzie 4.1 przy smukłości środnika

$$h_w/t_w = 1500/7 = 214,3100 > 124 \varepsilon = 124$$

współczynnik redukcyjny $\rho = 0,601$, stąd obliczona wartość efektywnego momentu zginającego $M_{eff} = 0,895 M_R$.

Uwaga: W konstrukcjach obciążonych dynamicznie nie stosuje się stanu nadkrytycznego.

Przy obciążeniu dynamicznym, w smukłym środniku klasy 4 wykonuje się żebra podłużne. Po zastosowaniu żebra podłużnego o wymiarach $2 \times 0,8 \times 10,0 = 16,0 \text{ cm}^2$, w strefie ściskanej środnika, stateczność smukłego środnika jest zapewniona. Zredukowane pole przekroju nie-uzebrowanego środnika wynosi: $(1,0 - 0,601) 0,7 \cdot 150,0 = 41,90 \text{ cm}^2 > 16,0 \text{ cm}^2$.

Powyższe wyniki świadczą o korzyści wynikającej z zastosowanego żebra podłużnego.

Podłużne żebro wykorzystano do usztywnienia środnika, dlatego geometryczne charakterystyki pola przekroju, przy zginaniu oblicza się bez udziału żebra.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bogucki W., Budownictwo stalowe. Arkady, Warszawa 1976
- [2] Bródka J., Broniewicz M., Projektowanie konstrukcji stalowych zgodnie z Eurokodem 3-1-1 wraz z przykładami obliczeń. W.P.B., Białystok 2001
- [3] Budownictwo ogólne. Tom 5. Stalowe konstrukcje budynków. Arkady, 2010
- [4] Łubiński M., Filipowicz A., Żółtowski W., Konstrukcje stalowe. Podstawy projektowania. Część I, Arkady, Warszawa 2005
- [5] PN-EN 1993-1-1: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [6] PN-EN 1993-1-5: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5. Blachownice