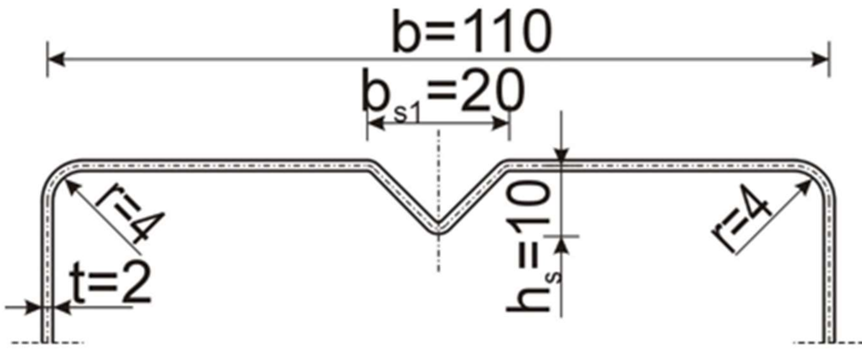

Rys. 3.11. Przekrój ścianki ściskanej z usztywnieniem pośrednim.

Wymiary ścianki

Szerokość ścianki w osiach:	b = 110 mm
Nominalna grubość blachy:	t = 2 mm
Wewnętrzny promień wyokrąglenia :	r = 4 mm
Szerokość usztywnienia:	b_{s1} = 20 mm
Wysokość usztywnienia:	h_s = 10 mm
Kąt zagięcia ścianek usztywniających:	ϕ = 90°

Wyokrąglenia przy usztywnieniu pośrednim można uznać za pomijalne.

Materiał

Stal S355 o .... f_{yb} = 355 N/mm², i

.... f_u = 510 N/mm²

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0{,}81$$

Sprawdzenie warunku smukłości ścianki

Przyjmując, że ścianka jest pasem kształtownika podpartym z jednej strony środnikiem a z drugiej usztywnieniem krawędziowym o odpowiedniej sztywności :

$$b/t = 110/2 = 55 < 60$$

Warunek smukłości ścianki jest spełniony

Umowne szerokości ścianek

$$g_r = \left(r + \frac{t}{2}\right) \cdot \left(tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - sin\left(\frac{\phi}{2}\right)\right)$$

$$= \left(4 + \frac{2}{2}\right) \cdot \left(tan\left(\frac{90^o}{2}\right) - sin\left(\frac{90^o}{2}\right)\right) = 1{,}46\ mm,$$

Umowna szerokość ścianki po lewej i prawej stronie usztywnienia.

$$b_{p1} = b_{p2} = (b - b_s - 2 \cdot g_r)/2 = (110 - 20 - 2 \cdot 1{,}46)/2 = 43{,}54 mm$$

Szerokość usztywnienia

$$b_s = 2 \cdot \sqrt{h_s^2 + \left(b_{s,1}/2\right)^2} = 2 \cdot \sqrt{10^2 + (20/2)^2} = 28{,}28\ mm$$

Wpływ zaokrąglenia naroży

$$r = 4\,mm < 5 \cdot t = 5 \cdot 2 = 10\,mm\ oraz,$$

$$r = 4\,mm < 0{,}10 \cdot b_p = 0{,}10 \cdot 43{,}45 = 4{,}3\,mm$$

Wpływ zaokrąglenia naroży można pominąć

Wyznaczenie przekroju efektywnego usztywnienia

Na podstawie szerokości współpracujących uzyskanych przy założeniu, że usztywnienie jest niepodatne, wyznacza się przekrój efektywny usztywnienia.

Ścianka ściskana równomiernie $\psi = 1,\ stąd\ k_\sigma = 4{,}0.$

Względna smukłość płytowa ścianki po prawej/lewej stronie usztywnienia przyjmując, że ścianki są dwustronnie podparte

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{f_y/\sigma_{cr}} = \frac{b_{p1}/t}{28{,}4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{43{,}54/2}{28{,}4 \cdot 0{,}81 \cdot \sqrt{4{,}0}} = 0{,}473$$

$$\bar{\lambda}_p = 0{,}473 < 0{,}673 \quad \rightarrow \rho = 1{,}0$$

szerokość efektywna ścianki

$$b_{p1,eff} = \rho \cdot b_{p1} = 1{,}0 \cdot 43{,}54 = 43{,}54\,mm$$

Szerokości efektywne przypisane do środnika usztywnienia pośredniego i usztywnienia krawędziowego

$$b_{1,e1} = b_{1,e2} = b_{2,e1} = b_{2,e2} = 0{,}5 \cdot b_{p1,eff} = 0{,}5 \cdot 43{,}54 = 21{,}77\,mm$$

Pole przekroju usztywnienia pośredniego

Efektywne pole przekroju usztywnienia pośredniego oblicza się ze wzoru:

$$A_s = t \cdot \left(b_{1,e2} + b_{2,e1} + b_s\right) = 2 \cdot (21{,}77 + 21{,}77 + 28{,}28) = 143{,}64\,mm^2$$

Moment bezwładności przekroju efektywnego:

Położenie osi obojętnej względem środka grubości ścianki,

$$a = h_s^2 \cdot t \cdot 2 \cdot \sqrt{2}/A_s = 10^2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \sqrt{2}/143{,}64 = 3{,}94\,mm$$

Efektywny moment bezwładności efektywnego przekroju usztywnienia względem własnej osi bezwładności a-a:

$$I_s = \frac{\left(b_{1,e2} + b_{2,e1}\right) \cdot t^3}{12} + \frac{2 \cdot t \cdot \sqrt{2} \cdot h_s^3}{12} + \left(b_{1,e2} + b_{2,e1}\right) \cdot t \cdot a^2 + 2 \cdot t \cdot \sqrt{2} \cdot h_s \cdot \left(\frac{h_s}{2} - a\right)^2 = \frac{(21{,}77 + 21{,}77) \cdot 2^3}{12} + \frac{2 \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^3}{12} + (21{,}77 + 21{,}77) \cdot 2 \cdot 3{,}94^2 + 2 \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 \cdot \left(\frac{10}{2} - 3{,}94\right)^2 = 1915{,}8\,mm^4$$

Sztywność translacyjna podparcia na jednostkę długości

W przypadku usztywnień pośrednich $C_{\theta1}$ i $C_{\theta2}$ można przyjąć równe 0.

Jednostkowa sztywność translacyjna

$$K = u/\delta$$

Ugięcie δ można wyznaczyć wg wzoru:

$$\delta = \frac{u \cdot b_1^2 \cdot b_2^2}{3 \cdot (b_1 + b_2)} \cdot \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E \cdot t^3}$$

gdzie:

$$b_1 = b_2 = (b - 2 \cdot g_r)/2 = (110 - 2 \cdot 1{,}46)/2 = 53{,}54 mm$$

stąd:

$$K = \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{b_1 + b_2}{b_1^2 \cdot b_2^2} = \frac{210000 \cdot 2^3}{4 \cdot (1 - 0{,}3^2)} \cdot \frac{53{,}54 + 53{,}54}{53{,}54^2 \cdot 53{,}54^2} = 6{,}01\ N/mm^2$$

Naprężenia krytyczne przy wyboczeniu sprężystym

Naprężenia krytyczne $\sigma_{cr,s}$ usztywnienia pośredniego oblicza się ze wzoru

$\sigma_{cr,s} = 2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s}/A_s = 2 \cdot \sqrt{6{,}01 \cdot 210000 \cdot 1915{,}8}/143{,}64 = 684{,}66\ N/mm^2$.

Smukłość względna ścianki

Smukłość względną ścianki oblicza się ze wzoru

$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{y,b}/\sigma_{cr,s}} = \sqrt{355/684{,}66} = 0{,}720$.

Współczynnik redukcyjny

Współczynnik redukcyjny χ_d ze względu na wyboczenie giętne usztywnienia oblicza się ze wzoru:

dla $0{,}65 < \bar{\lambda}_d = 0{,}720 < 1{,}38$.

$\chi_d = 1{,}47 - 0{,}723 \cdot \bar{\lambda}_d = 1{,}47 - 0{,}723 \cdot 0{,}720 = 0{,}949$.

Wyznaczenie przekroju efektywnego usztywnienia – 2 iteracja

Względna smukłość płytowa ścianki po prawej/lewej stronie usztywnienia przyjmując, że ścianki są dwustronnie podparte

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \cdot \sqrt{\chi_d} = 0{,}473 \cdot \sqrt{0{,}949} = 0{,}461$$

$$\bar{\lambda}_p = 0{,}461 < 0{,}673 \ \rightarrow \rho = 1{,}0$$

szerokość efektywna ścianki

$$b_{p1,eff} = \rho \cdot b_{p1} = 1{,}0 \cdot 43{,}54 = 43{,}54\ mm$$

Szerokości efektywne są takie same jak w iteracji 1, więc można zakończyć obliczenia

---

Efektywne pole przekroju usztywnienia pośredniego

Zredukowane przez uwzględnienie niestateczności dystorsyjnej efektywne pole przekroju usztywnienia można obliczyć jako:

$$A_{s,red} = \chi_d \cdot A_s \cdot \frac{f_{yb}/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} = 0{,}949 \cdot 143{,}64 \cdot \frac{355/1{,}0}{336{,}9} = 143{,}64\ mm^2$$

lecz $A_{s,red} = 143{,}64\ mm^2 \le 143{,}64\ mm^2 = A_s$

gdzie:

$$\sigma_{com,Ed} = \chi_d \cdot f_{yb}/\gamma_{M0} = 0{,}949 \cdot 355/1{,}0 = 336{,}9\ N/mm^2$$