
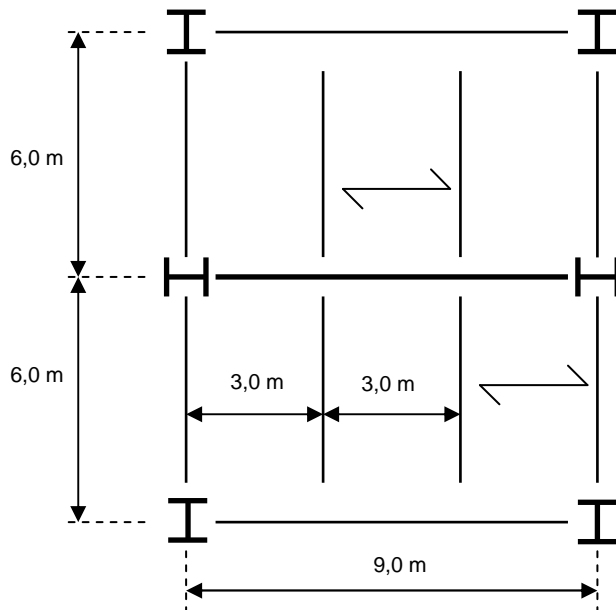


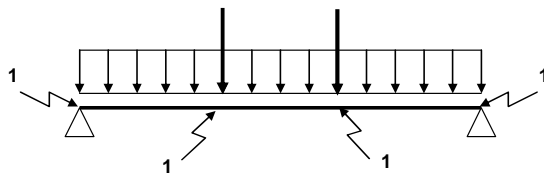
ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>1 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta


Ten przykład przedstawia obliczanie belki zespolonej swobodnie podpartej. Belka ta stanowi oparcie dla dwóch belek drugorzędnych.



Belki drugorzędne reprezentowane są przez dwie siły skupione :



1 : Montażowe podpory boczne

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>2 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Belka wykonana jest z dwuteownika walcowanego, jednokierunkowo zginana względem osi większej bezwładności. Przedstawiony przykład zawiera:

- wyznaczenie klasy przekroju poprzecznego belki,
- wyznaczenie szerokości efektywnej płyty żelbetowej,
- wyznaczenie nośności na ścinanie łączników ścinanych,
- wyznaczenie stopnia zespolenia,
- wyznaczenie nośności na zginanie,
- wyznaczenie nośności na ścinanie,
- wyznaczenie nośności na ścinanie pomiędzy belką i płytą żelbetową,
- wyznaczenie ugięcia w SGU.

W przykładzie nie zawarto sprawdzenia nośności na wyboczenie przy ścinaniu środka belki.

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa

- $\gamma_G = 1,35$ (obciążenia stałe)
- $\gamma_Q = 1,50$ (obciążenia zmienne)
- $\gamma_{M0} = 1,0$
- $\gamma_{M1} = 1,0$
- $\gamma_V = 1,25$

- $\gamma_c = 1,5$

EN 1990


EN 1993-1-1

§ [6.1](#) (1)

EN 1994-1-1

§ [6.6.3.1](#)

EN 1992-1-1

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>3 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

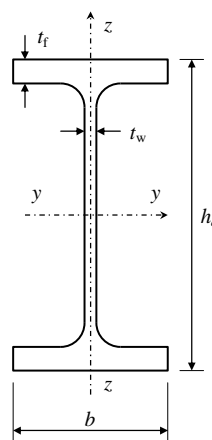
Dane

Zaprojektować belkę zespoloną w budynku wielokondygnacyjnym, na podstawie poniższych danych. Belki drugorzędne nie są dodatkowo podparte. Arkusz blachy fałdowej jest ułożony w taki sposób, że jego fałdy są równoległe do osi belki głównej.

- Rozpiętość przęsła: 9,00 m
- Rozstaw belek : 6,00 m
- Grubość płyty: 14 cm
- Ścianki działowe: 0,75 kN/m²
- Belki drugorzędne (IPE 270) : 0,354 kN/m
- Przyłożone obciążenie : 2,50 kN/m²
- Ciężar konstrukcji : 0,75 kN/m²
- Ciężar objętościowy betonu : 25 kN/m³


Przyjęto IPE 400 – Stal klasy S355

Wysokość	$h_a = 400 \text{ mm}$
Szerokość	$b = 180 \text{ mm}$
Grubość środnika	$t_w = 8,6 \text{ mm}$
Grubość pasa	$t_f = 13,5 \text{ mm}$
Promień zaokrąglenia	$r = 21 \text{ mm}$
Masa	66,3 kg/m



Pole powierzchni	$A_a = 84,46 \text{ cm}^2$
Moment bezwładności	$I_y = 23130 \text{ cm}^4$
Sprężysty wskaźnik wytrzymałości	$W_{el,y} = 1156 \text{ cm}^3$
Plastyczny wskaźnik wytrzymałości	$W_{pl,y} = 1307 \text{ cm}^3$
Promień bezwładności	$i_z = 3,95 \text{ cm}$
Moduł sprężystości podłużnej	$E_a = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

Euronorma
19-57

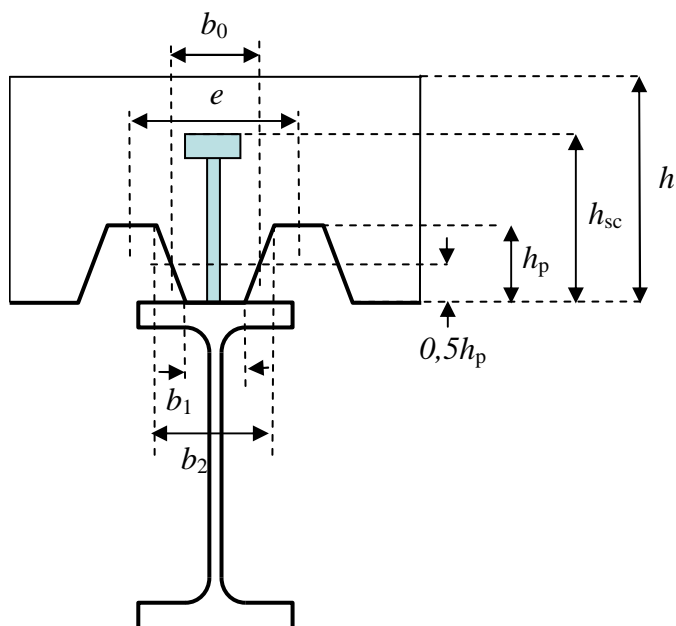
ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>4 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Blacha fałdowa

Grubość arkusza	$t = 0,75 \text{ mm}$
Wysokość całkowita płyty	$h = 140 \text{ mm}$
Wysokość arkusza blachy	$h_p = 58 \text{ mm}$
$b_1 = 62 \text{ mm}$ $b_2 = 101 \text{ mm}$	$e = 207 \text{ mm}$

Sworznie

Średnica	$d = 19 \text{ mm}$
Wysokość nominalna	$h_{sc} = 100 \text{ mm}$
Granica wytrzymałości	$f_u = 450 \text{ N/mm}^2$
Liczba łączników	$n = 74, 1 \text{ szereg}$
(Sworzeń w środku rozpiętości belki nie brany pod uwagę)	




Beton klasy : C 25/30

Wytrzymałość gwarantowana na ściskanie	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
Moduł sprężystości	$E_{cm} = 31\,000 \text{ N/mm}^2$

EN 1992-1-1

§ [3.1.3](#)

Tab. 3.1

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>5 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Obciążenie stałe:

W celu uwzględnienia obciążenia ciężarem własnym blachy fałdowej jego ciężar wyznaczono według wzoru:

$$25 \times 3,0 \times \left(0,14 - \frac{0,106 + 0,145}{2} \times \frac{0,058}{0,207} \right) = 7,86 \text{ kN/m}$$

Obciążenie skupione w stadium montażu :

$$F_G = (0,354 + 7,86) \times 6,0 = 49,28 \text{ kN}$$

Obciążenie stałe w stadium użytkowania konstrukcji :

Wartość siły skupionej działającej na belkę:

$$F_G = (0,354 + 7,86 + 0,75 \times 3,0) \times 6,0 = 62,78 \text{ kN}$$

Ciężar własny belki :

$$q_G = 9,81 \times 66,3 \times 10^{-3} = 0,65 \text{ kN/m}$$

Obciążenie zmienne :

Obciążenie skupione w stadium montażu :

$$F_Q = 0,75 \times 3,0 \times 6,0 = 13,5 \text{ kN}$$

Obciążenie skupione w stadium użytkowania:

$$F_Q = 2,5 \times 3,0 \times 6,0 = 45,0 \text{ kN}$$

Kombinacja obciążeń w SGN :

$$\gamma_G F_G + \gamma_Q F_Q = 1,35 \times 62,78 + 1,50 \times 45,0 = 152,25 \text{ kN}$$

$$\gamma_G q_G + \gamma_Q q_Q = 1,35 \times 0,65 = 0,877 \text{ kN/m}$$

Zastosowano wzór (6.10). W niektórych krajach Załącznik Krajowy może zalecać użycie wzorów (6.10a) i (6.10b).


Kombinacja obciążeń w SGN, stadium montażu:

$$\gamma_G F_G + \gamma_Q F_Q = 1,35 \times 49,28 + 1,50 \times 13,5 = 86,78 \text{ kN}$$

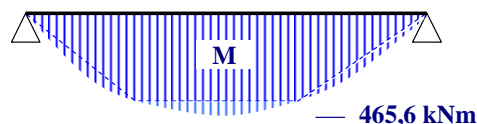
$$\gamma_G q_G + \gamma_Q q_Q = 1,35 \times 0,65 = 0,877 \text{ kN/m}$$

EN 1990

§ [6.4.3.2](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>6 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Wykres momentów zginających



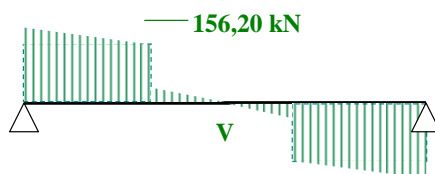
Maksymalny moment zginający w środku rozpiętości belki :

$$M_{y,Ed} = 3,0 \times 152,25 + 0,125 \times 0,877 \times 9,0^2 = 465,6 \text{ kNm}$$

Maksymalny moment zginający w środku rozpiętości belki (stadium montażu) :

$$M_{y,Ed} = 3,0 \times 86,78 + 0,125 \times 0,877 \times 9,0^2 = 269,2 \text{ kNm}$$

Wykres sił poprzecznych



Maksymalna siła ścinająca przy podporze :

$$V_{z,Ed} = 152,25 + 0,5 \times 0,877 \times 9,0 = 156,20 \text{ kN}$$

Maksymalna siła ścinająca przy podporze (stadium montażu) :

$$V_{z,Ed} = 86,78 + 0,5 \times 0,877 \times 9,0 = 90,73 \text{ kN}$$

Granica plastyczności


Stal klasy S355

Maksymalna grubość ścianki 13,5 mm < 40 mm, więc : $f_y = 355$
N/mm²

Uwaga : Załącznik Krajowy może zalecić inną wartość f_y niż w Tabelicy 3.1 lub wartość ta może zostać przyjęta na podstawie certyfikatu producenta stali.

EN 1993-1-1

[Tab. 3.1](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>7 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Klasa przekroju :

Parametr ε wyznacza się w zależności od granicy plastyczności stali :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}} = 0,81$$

Uwaga :

Klasę przekroju poprzecznego wyznaczono jak dla belki nie zespolonej. W przypadku belek zespolonych klasa przekroju jest korzystniejsza w stosunku do klasy przekroju belek nie zespolonych.

Pas : pas osiowo ściskany

$$c = (b - t_w - 2 r) / 2 = (180 - 8,6 - 2 \times 21) / 2 = 64,7 \text{ mm}$$

$$c / t_f = 64,7 / 13,5 = 4,79 \leq 9 \varepsilon = 7,29 \quad \text{Klasa 1}$$

Środek :

$$c = h_a - 2 t_f - 2 r = 400 - 2 \times 13,5 - 2 \times 21 = 331 \text{ mm}$$

$$c / t_w = 331 / 8,6 = 38,5 < 72 \varepsilon = 58,3 \quad \text{Klasa 1}$$

Jako klasę przekroju należy przyjąć wartość wyższą z klas pasa i środka. W rozpatrywanym przykładzie przyjęto: Klasę 1.

Ponieważ przekrój należy do klasy 1, sprawdzenie SGN należy przeprowadzić przyjmując nośność plastyczną przekroju poprzecznego belki.

Stadium montażu

Nośność na zginanie

Nośność obliczeniowa przekroju na zginanie:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_y / \chi_{M0} = (1307 \times 355 / 1,0) / 1000$$

$$M_{c,Rd} = 463,98 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 269,2 / 463,98 = 0,58 < 1 \quad \text{OK}$$

EN 1993-1-1

[Tab. 5.2](#)

(ark. 2 of 3)


EN 1993-1-1

[Tab. 5.2](#)

(ark. 1 of 3)

EN 1993-1-1

§ [6.2.5](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>8 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Współczynnik redukcyjny ze względu na zwichrzenie

To determine the design buckling resistance moment of a laterally unrestrained beam, the reduction factor for lateral torsional buckling must be determined. The restraint provided by the steel sheet is in this case quite small and it is neglected. The following calculation determines this factor by a simplified method for lateral torsional buckling. This method avoids calculating the elastic critical moment for lateral torsional buckling.

W celu określenia nośności obliczeniowej belki na zginanie z uwzględnieniem wybożenia skrętnego (nośności na zwichrzenie), należy wyznaczyć współczynnik redukcyjny (współczynnik zwichrzenia). Konstrukcyjne zabezpieczenie elementu przed zwichrzeniem na skutek połączenia z blachą fałdową jest w tym przypadku pomijane. Przedstawiony tok obliczeń pozwala na wyznaczenie współczynnika redukcyjnego przy zastosowaniu metody uproszczonej. Metoda ta pozwala na uniknięcie wyznaczania momentu krytycznego przy zwichrzeniu.

Smukłość elementu

Smukłość elementu wyznaczono stosując metodę uproszczoną; dla stali klasy S355:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_z}{89} = \frac{300/3,95}{89} = 0,853$$

Dla profili walcowanych, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

Uwaga : Wartość współczynnika $\bar{\lambda}_{LT,0}$ może być wyspecyfikowana w Załączniku Krajowym. Zaleca się przyjęcie wartości 0,4.

więc $\bar{\lambda}_{LT} = 0,853 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

Współczynnik redukcyjny

Dla profili walcowanych współczynnik redukcyjny (współczynnik zwichrzenia) wyznacza się według wzorów :


$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{but} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1.0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$


gdzie : $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$


Patrz NCCI
[SN002](#)

EN 1993-1-1
§ [6.3.2.3](#)(1)

EN 1993-1-1
§ [6.3.2.3](#) (1)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	9 z 16
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>
<p>α_{LT} jest współczynnikiem imperfekcji. Krzywą wybozeniową należy w przypadku profili walcowanych przyjmować z tab. 6.5 :</p> <p>Dla $h_a/b = 400 / 180 = 2,22 > 2 \rightarrow$ Krzywa c ($\alpha_{LT} = 0,49$)</p> <p>$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ i $\beta = 0,75$</p> <p>Uwaga: Wartość współczynników $\bar{\lambda}_{LT,0}$ i β może być podana w Załączniku Krajowym. Zaleca się przyjęcie odpowiednio 0,4 i 0,75.</p> <p>Wyznaczono : $\phi_{LT} = 0,5 [1 + 0,49(0,853 - 0,4) + 0,75 \times (0,853)^2] = 0,884$</p> <p>i : $\chi_{LT} = \frac{1}{0,884 + \sqrt{(0,884)^2 - 0,75 \times (0,853)^2}} = 0,730$</p> <p>Następnie sprawdzono : $\chi_{LT} = 0,730 < 1,0$</p> <p>ale : $\chi_{LT} = 0,730 < 1 / \bar{\lambda}_{LT}^2 = 1,374$</p> <p>więc : $\chi_{LT} = 0,730$</p> <p>Nośność obliczeniowa na zginanie</p> <p>$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}$</p> <p>$M_{b,Rd} = (0,730 \times 1307000 \times 355 / 1,0) \times 10^{-6} = 338,7 \text{ kNm}$</p> <p>$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 269,2 / 338,7 = 0,795 < 1$ OK</p> <p>Nośność na ścinanie</p> <p>Nośność plastyczna na ścinanie zależy od pola powierzchni czynnego przy ścinaniu, wyznaczonego według wzoru:</p> <p>$A_{v,z} = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$</p> <p>$A_{v,z} = 8446 - 2 \times 180 \times 13,5 + (8,6 + 2 \times 21) \times 13,5 = 4269 \text{ mm}^2$</p> <p>Nośność plastyczna na ścinanie</p> <p>$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4269 \times (355 / \sqrt{3}) \times 10^{-3}}{1,0} = 874,97 \text{ kN}$</p> <p>$V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd} = 90,73 / 874,97 = 0,104 < 1$ OK</p>				<p>EN 1993-1-1</p> <p>Tab. 6.5</p> <p>Tab. 6.3</p> <p>EN 1993-1-1</p> <p>§ 6.3.2.1</p> <p>EN 1993-1-1</p> <p>§ 6.2.6 (3)</p> <p>EN 1993-1-1</p> <p>§ 6.2.6 (2)</p>

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>10 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>
<p>Sprawdzenia nośności na ścinanie przy wyboczeniu nie przeprowadza się, gdy:</p> $h_w / t_w \leq 72 \varepsilon / \eta$ <p>Wartość η wynosi : $\eta = 1,2$</p> $h_w / t_w = (400 - 2 \times 13,5) / 8,6 = 43 < 72 \times 0,81 / 1,2 = 48,6$				
<p><u>Interakcji pomiędzy zginaniem i ścinaniem</u></p> <p>Jeżeli $V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} / 2$ to wpływ ścinanie może być pominięty.</p> $V_{z,Ed} = 90,73 \text{ kN} < V_{pl,Rd} / 2 = 874,97 / 2 = 437,50 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$				
<p><u>Stadium użytkowania</u></p>				
<p><u>Szerokość efektywna płyty żelbetowej</u></p> <p>Szerokość efektywna jest wartością stałą w przedziale $0,25 L$ i $0,75 L$, gdzie L jest rozpiętością przęsła belki. W odległości $L/4$ od podpory wartość szerokości efektywnej zmniejsza się liniowo. Siły skupione obciążające belkę znajdują się w odległości pomiędzy $0,25 L$ i $0,75 L$.</p> <p>Szerokość efektywną wyznaczono według wzoru:</p> $b_{\text{eff},1} = b_0 + \frac{1}{4} b_{ei} \leq b_0 + \sum b_{ei}$ <p>b_0 jest odległością pomiędzy środkami ścinanych sworzni, w tym przypadku $b_0 = 0$;</p> <p>b_{ei} jest szerokością efektywną półki żelbetowej po każdej stronie środka, przyjmowaną jako $b_{ei} = L_e / 8$ ale $\leq b_i = 6,0 \text{ m}$</p> <p>$b_{\text{eff},1} = 0 + 9,0 / 8 = 1,125 \text{ m}$, wtedy $b_{\text{eff}} = 2 \times 1,125 = 2,25 \text{ m} < 6,0 \text{ m}$</p>				
<p><u>Nośność obliczeniowa ze względu na ściecie sworznia</u></p> <p>Nośność na ścinanie określona jest wzorem :</p> $P_{Rd} = k_1 \times \text{Min} \left[\frac{0,8 f_u \pi d^2 / 4}{\gamma_v} ; \frac{0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} \right]$ <p>$h_{sc} / d = 100 / 19 = 5,26 > 4$, so $\alpha = 1$</p>				
<p>EN 1993-1-1 § 6.2.6 (6)</p> <p>EN 1993-1-5 § 5.1 (2)</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.2.8 (2)</p> <p>EN 1994-1-1 § 5.4.1.2</p> <p>(Rys. 5.1)</p> <p>EN 1994-1-1 § 6.6.3.1</p>				

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>11 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Współczynnik redukcyjny (k_1)

W przypadku blach fałdowych ułożonych w kierunku równoległym w stosunku do podpierających je belek, współczynnik redukcyjny przy wyznaczaniu nośności na ścinanie wyznacza się według wzoru:

$$k_1 = 0,6 \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \text{ ale } \leq 1$$

Gdzie : $n_r = 1$

$$h_p = 58 \text{ mm}$$

$$h_{sc} = 100 \text{ mm}$$

$$b_0 = 82 \text{ mm}$$

Więc, $k_1 = 0,6 \frac{82}{58} \left(\frac{100}{58} - 1 \right) = 0,614 \leq 1$ **OK**

$$P_{Rd} = 0,614 \times \text{Min} \left[\frac{0,8 \times 450 \times \pi \times 19^2 / 4}{1,25}; \frac{0,29 \times 1 \times 19^2 \sqrt{25 \times 31000}}{1,25} \right] \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,614 \times \text{Min}(81,66 \text{ kN} ; 73,73 \text{ kN})$$

$$P_{Rd} = 45,27 \text{ kN}$$

Stopień zespolenia połączenia


Stopień zespolenia połączenia definiuje się jako :

$$\eta = \frac{N_c}{N_{c,f}}$$

Gdzie : N_c jest wartością obliczeniową siły ściskającej w płycie betonowej
 $N_{c,f}$ jest obliczeniową wartością siły ściskającej w płycie betonowej występującej przy pełnym zespoleniu

EN 1994-1-1
 § [6.6.4.1](#)

EN 1994-1-1
 § [6.2.1.3](#) (3)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>12 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

W pobliżu przyłożonego obciążenia:

Siłą ściskającą w płycie żelbetowe.

A_c jest polem powierzchni przekroju poprzecznego płyty żelbetowej, więc w miejscu przyłożenia obciążenia:

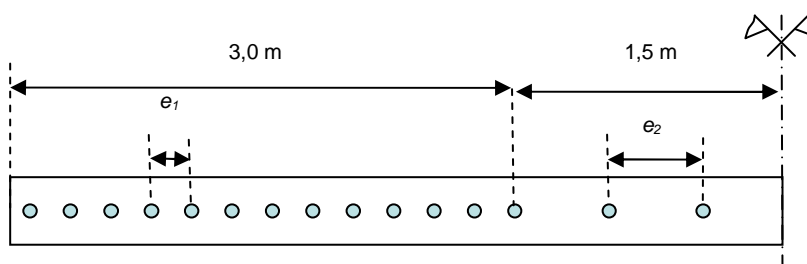
$$A_c = b_{\text{eff}} h_c$$

gdzie $h_c = h - h_p = 140 - 58 = 82 \text{ mm}$

$$A_c = 2250 \times 82 = 184500 \text{ mm}^2$$

więc, $N_{c,f} = 0,85 A_c f_{cd} = 0,85 A_c \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \times 184500 \times \frac{25}{1,5} 10^{-3} = 2614 \text{ kN}$

Ponieważ maksymalny moment występuje prawie w tym samym przekroju, sworznie powinny być rozmieszczone między podporą i siłą skupioną. Należy także rozmieścić sworznie pomiędzy siłami skupionymi.




31 sworzni w rozstawie $e_1 = 95 \text{ mm}$ i **6** sworzni w rozstawie $e_2 = 220 \text{ mm}$

Nośność sworzni ze względu na ścinanie ogranicza siłę osiową N_c do wartości wyznaczonej według wzoru:

$$N_c = n \times P_{Rd} = 31 \times 45,27 = 1403 \text{ KN}$$

więc, $\eta = \frac{N_c}{N_{c,f}} = \frac{1403}{2614} = 0,537$

Współczynnik η jest mniejszy niż 1,0 więc połączenie jest częściowo zespolona.

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>13 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Nośność połączenia ze względu na zginanie

Minimalny stopień zespolenia

Minimalny stopień zespolenia dla przekroju stalowego z równymi pasami wyznacza się według wzoru :

$$\eta_{\min} = 1 - \left(\frac{355}{f_y} \right) (0,75 - 0,03L_e) \quad L_e \leq 25$$

L_e jest odległością pomiędzy punktami zerowania się wykresów momentów zginających, wyrażoną w metrach, w prezentowanym przykładzie : $L_e = 9,0$ m

więc, $\eta_{\min} = 1 - (355 / 355) (0,75 - 0,03 \times 9,0) = 0,520$

wtedy, $\eta_{\min} = 0,520 < \eta = 0,537$ **OK**

Nośność plastyczna w miejscu sił skupionych

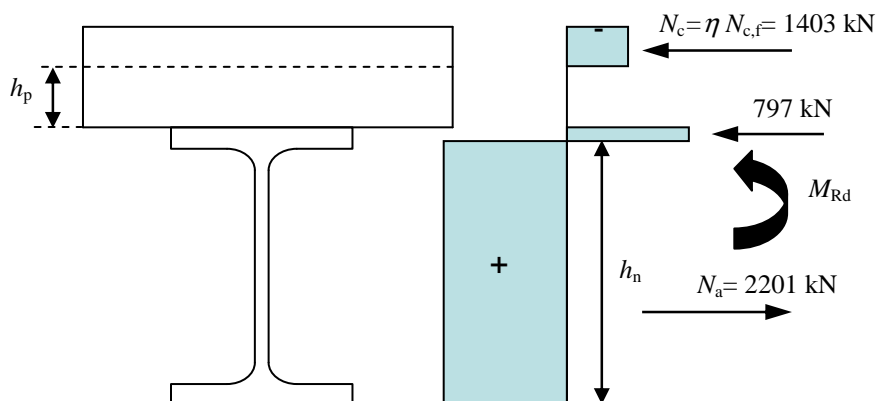
Nośność elementu stalowego wyznacza się według wzoru :

$$N_{pl,a} = A_a f_y / \gamma_{M0} = 8446 \times 355 \times 10^{-3} / 1,0 = 2998 \text{ kN}$$

$$\text{So, } N_{pl,a} > N_c = \eta \times N_{c,f} = 0,537 \times 2614 = 1403 \text{ kN}$$

W przypadku gdy sworznie mają odpowiednią ciągłość i przekrój belki należy do klasy 1, moment graniczny M_{Rd} w przekroju krytycznym belki, znajdującym się w miejscu przyłożenia obciążenia wyznaczany jest przy zastosowaniu sztywno-plastycznej teorii, poza czym zredukowana wartość siły ściskającej w płycie betonowej N_c jest przyjmowana w miejsce siły N_{cf} .

Rozkład naprężeń w stanie plastycznym przedstawiono poniżej:




EN 1994-1-1

§ [6.6.1.2](#)

EN 1994-1-1

§ [6.2.1.2](#) and

§ [6.2.1.3](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>14 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Położenie osi obojętnej : $h_n = 388 \text{ mm}$

Wartość obliczeniowa nośności na zginanie przekroju zespolonego :

$$M_{Rd} = 738 \text{ kNm}$$

więc, $M_{y,Ed} / M_{Rd} = 465,6 / 738 = 0,63 < 1$ **OK**

Nośność na ścinanie

Plastyczna nośność na ścinanie jest taka sama jak w przypadku belki stalowej (nie zespolonej).

więc, $V_{pl,z,Rd} = 874,97 \text{ kN}$

$$V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd} = 156,20 / 874,97 = 0,18 < 1$$
 OK

Interakcja pomiędzy momentem zginającym i siłą ścinającą

Jeżeli $V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} / 2$ wtedy siła ścinająca może być pominięta.

więc, $V_{z,Ed} = 156,20 \text{ kN} < V_{pl,Rd} / 2 = 874,97 / 2 = 437,50 \text{ kN}$ **OK**

Nośność ze względu na ścinanie pomiędzy płytą żelbetową i belką stalową

Wartość naprężeń ścinających pomiędzy płytą i belką wyznacza się według wzoru:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x}$$

gdzie $\Delta x = 9,0 / 2 = 4,5 \text{ m}$

Wartość Δx jest połową odległości pomiędzy przekrojem, w którym wartość momentu zginającego wynosi zero i przekrojem w którym moment zginający osiąga wartość maksymalną; w ten sposób otrzymano dwie powierzchnie do wyznaczenia nośności na ścinanie.

$$\Delta F_d = N_c / 2 = 1403 / 2 = 701,5 \text{ kN}$$

$$h_f = h - h_p = 140 - 58 = 82 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x} = \frac{701,5 \times 10^3}{82 \times 4500} = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

EN 1994-1-1

§ [6.2.2.2](#)


EN 1993-1-1

§ [6.2.8](#) (2)

EN 1992-1-1

§ [6.2.4](#)

(Rys. 6.7)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>15 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>

Aby zapobiec zgniataniu ściskanych krzyżulców w płycie żelbetowej, następujący warunek musi być spełniony :

$$v_{Ed} < v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f \text{ with } v = 0,6[1 - f_{ck} / 250] \text{ and } \theta_f = 45^\circ$$

$$v_{Ed} < 0,6 \times \left[1 - \frac{25}{250} \right] \times \frac{25}{1,5} \times 0,5 = 4,5 \text{ N/mm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

Następująca nierówność powinna być spełniona, dla poprzecznego zbrojenia :

$$A_{sf} f_{yd} / s_f \geq v_{Ed} h_f / \cot \theta_f \text{ where } f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

Przyjęto rozstaw prętów zbrojenia $s_f = 200 \text{ mm}$ przy braku współpracy blachy fałdowej

$$A_{sf} \geq \frac{1,9 \times 82 \times 200}{435 \times 1,0} = 71,6 \text{ mm}^2$$

Przyjęto pręty $\phi 10 \text{ mm}$ ($78,5 \text{ mm}^2$) co 200 mm .

Sprawdzenie SGU

Wzór na wyznaczenie ugięcia spowodowanego obciążeniem $G + Q$:

$$w_G = \frac{5 q_G L^4}{384 E I_y} + \frac{a \times (3L^2 - 4a^2)}{24 E I_y} F_G$$

$$w_Q = \frac{a \times (3L^2 - 4a^2)}{24 E I_y} F_Q$$

więc, $w = w_G + w_Q$

Stan montażu

Kombinacja obciążeń w stanie montażu :

$$F_G + F_Q = 49,28 + 13,5 = 62,78 \text{ kN}$$


$$q_G = 0,65 \text{ kN/m}$$


EN 1990

§ [6.5.3](#)

Ugięcie w stanie montażu :

I_y jest momentem bezwładności przekroju stalowego.

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>16 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>
$w_G = \frac{5 \times 0,65 \times 9000^4}{384 \times 210000 \times 23130 \times 10^4} + \frac{3000 \times (3 \times 9000^2 - 4 \times 3000^2)}{24 \times 210000 \times 23130 \times 10^4} \times 49280$ $w_G = 1,1 + 26,2 = 27,3 \text{ mm}$ $w_Q = \frac{3000 \times (3 \times 9000^2 - 4 \times 3000^2)}{24 \times 210000 \times 23130 \times 10^4} \times 13500 = 7,2 \text{ mm}$ <p>więc, $w = w_G + w_Q = 27,3 + 7,2 = 34,5 \text{ mm}$</p> <p>Ugięcie od obciążenia ($G+Q$) wynosi $L/261$</p> <p><u>Stadium użytkowania</u></p> <p>Kombinacja obciążeń</p> $F_G + F_Q = 62,78 + 45,0 = 107,78 \text{ kN}$ $q_G = 0,65 \text{ kN/m}$ <p>Ugięcie w stadium użytkowania :</p> <p>I_y zależy od stosunku modułów sprężystości (n) przyjmowanych w zależności od typu obciążenia. W uproszczony sposób można przyjąć:</p> $n_0 = E_a / E_{cm} = 210000 / 31000 = 6,77 \text{ dla oddziaływań krótkotrwałych (Q)}$ <p>więc $I_y = 82458 \text{ cm}^4$ w środku rozpiętości</p> <p>i $n = 3E_a / E_{cm} = 20,31$ dla obciążenia ciągłego (G)</p> <p>więc $I_y = 62919 \text{ cm}^4$</p> <p>Uwaga: Zarówno w przypadku oddziaływań krótko i długotrwałych można przyjąć iloraz modułów sprężystości (n) przyjmując efektywny moduł sprężystości betonu $E_{c,eff} = E_{cm} / 2$.</p>				
				EN 1990 § 6.5.3
				EN 1994-1-1 § 7.2.1
				EN 1994-1-1 § 5.4.2.2 (11)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX015a-PL-EU</i>	Str.	<i>17 z 16</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta</i>		
	Dot. Eurocodu	<i>EN 1993-1-1, EN 1994-1-1</i>		
	Wykonał	<i>Arnaud LEMAIRE</i>	Data	<i>August 2005</i>
	Sprawdził	<i>Alain BUREAU</i>	Data	<i>August 2005</i>
<p>$w_G = 27,3 \text{ mm}$</p> $w_{\text{partitions}} = \frac{3000 \times (3 \times 9000^2 - 4 \times 3000^2)}{24 \times 210000 \times 62919 \times 10^4} \times 13500 = 2,6 \text{ mm}$ $w_Q = \frac{3000 \times (3 \times 9000^2 - 4 \times 3000^2)}{24 \times 210000 \times 82458 \times 10^4} \times 45000 = 6,7 \text{ mm}$ <p>So, $w = w_G + w_{\text{partitions}} + w_Q = 27,3 + 2,6 + 6,7 = 36,6 \text{ mm}$</p> <p>Ugięcie od obciążenia ($G + Q$) is $L/246$</p> <p>Uwaga 1: Graniczna wartość ugięcia powinna być określona przez inwestora. W Załączniku Krajowym mogą być podane wartości graniczne ugięć. W prezentowanym przykładzie wartość maksymalnego ugięcia belki może być uznana za dopuszczalną.</p> <p>Uwaga 2: Biorąc pod uwagę drgania, Załącznik Krajowy może podawać dopuszczalne częstotliwości drgań własnych elementów. W rozpatrywanym przykładzie, wartość maksymalnego ugięcia belki jest na tyle mała, że nie rozpatrywano zagadnienia związanego z drganiami belki.</p>				
				EN 1993-1-1 § 7.2.3

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta		
Odniesienie(a)			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Arnaud LEMAIRE	CTICM	29/08/05
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Alain BUREAU	CTICM	29/08/05
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. UK	G W Owens	SCI	11/1/06
2. France	A Bureau	CTICM	11/1/06
3. Sweden	A Olsson	SBI	11/1/06
4. Germany	C Müller	RWTH	11/1/06
5. Spain	J Chica	Labein	11/1/06
Zasób zatwierdzony przez technicznego koordynatora	G W Owens	SCI	09/06/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
Tłumaczenie wykonane przez:		A. Wojnar, PRz	
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:		A. Kozłowski, PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Belka zespolona swobodnie podparta	
Seria		
Opis*	Ten przykład przedstawia obliczanie belki zespolonej swobodnie podpartej. Belka ta stanowi oparcie dla dwóch belek drugorzędnych.	
Poziom dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikator*	Nazwa pliku	C:\Documents and Settings\awojnar\Moje dokumenty\2009\Acces Steel\2009-02-19\SX015\SX015a-PL-EU.doc
Format	Microsoft Office Word; 18 Pages; 588kb;	
Kategoria*	Tytuł zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowania	Budynki wielokondygnacyjne
Daty	Data utworzenia	12/01/2006
	Data ostatniej modyfikacji	14/11/2005
	Data sprawdzenia	14/11/2005
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*	Polski	
Kontakt	Autor	Arnaud LEMAIRE, CTICM
	Sprawdzony przez	Alain Bureau CTICM
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Belka zespolona	
Zobacz też	Odniesienie do Eurocodu	EN 1993-1-1, EN 1994-1-1
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
Omówienie	Narodowa przydatność	Europe
Szczególne instrukcje		