


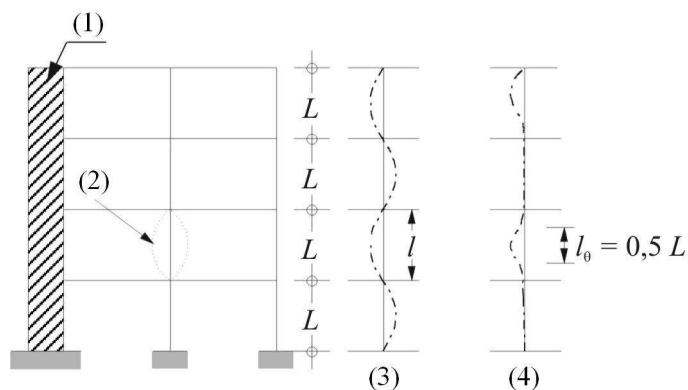
<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>1 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

## Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru

*W przykładzie zastosowano prosty model obliczeniowy oraz tablice projektowe do określenia nośności słupa zespolonego częściowo obetonowanego. Słup jest ciągły na wysokości budynku i jest częścią ramy stężonej, będącej konstrukcją nośną budynku biurowego. Wymagana odporność ogniowa słupa to R60.*

### Długość wyboczeniowa słupa


Wysokość słupa  $L$  mierzona pomiędzy poziomami stropów wynosi 4 m. Słup jest ciągły na wysokości budynku i jest częścią ramy stężonej, więc jego długość wyboczeniowa w warunkach pożaru może być zredukowana, jak pokazano na Rys. 1.1.

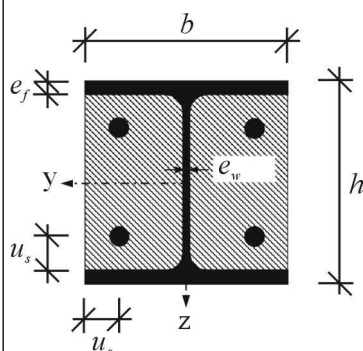


Legenda:

- (1) Tarcza ścienna lub tężnik pionowy
- (2) Słup narażony na pożar
- (3) Postać wyboczenia w temperaturze pokojowej
- (4) Postać wyboczenia w warunkach pożaru

**Rys. 1.1**      *Długości wyboczeniowe słupów w ramie stężonej*

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>2 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>




**Rys. 1.2**      *Przekrój poprzeczny słupa*


### **Dane podstawowe**

*Właściwości materiałowe:*

#### **Słup stalowy:**

Kształtownik:	HE 300 B
Gatunek stali:	S 235
Wysokość:	$h = 300 \text{ mm}$
Szerokość:	$b = 300 \text{ mm}$
Grubość środnika:	$e_w = 11 \text{ mm}$
Grubość stopki:	$e_f = 19 \text{ mm}$
Pole przekroju poprzecznego:	$A_a = 14900 \text{ mm}^2$
Granica plastyczności:	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Moduł sprężystości podłużnej:	$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$
Moment bezwładności przekroju:	$I_z = 8,560 \times 10^7 \text{ mm}^4$ (słaba oś)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>3 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
<p>Zbrojenie:</p> <p>Gatunek stali: B 500</p> <p>Średnica: 4 Ø 25</p> <p>Pole przekroju poprzecznego: <math>A_s = 1960 \text{ mm}^2</math></p> <p>Granica plastyczności: <math>f_s = 500 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Moduł sprężystości podłużnej: <math>E_s = 210000 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Moment bezwładności przekroju : <math>I_s = 4 \times 490 \times \left( \frac{300}{2} - 50 \right)^2 = 1,96 \times 10^7 \text{ mm}^4</math></p> <p>Rozstaw osiowy: <math>u_s = 50 \text{ mm}</math></p> <p>Beton:</p> <p>Klasa betonu: C 25/30</p> <p>Pole przekroju poprzecznego: <math>A_c = 300 \times 300 - 14900 - 1960 = 73140 \text{ mm}^2</math></p> <p>Wytrzymałość na ściskanie: <math>f_c = 25 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Moduł sprężystości podłużnej: <math>E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Moment bezwładności przekroju <math>I_c = 300 \times \frac{300^3}{12} - (8,56 \times 10^7) - (1,96 \times 10^7) = 5,698 \times 10^8 \text{ mm}^4</math></p> <p><b>Obciążenia:</b></p> <p>Oddziaływania stałe: <math>G_k = 960 \text{ kN}</math></p> <p>Oddziaływania zmienne: <math>P_k = 612,5 \text{ kN}</math></p>				

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>4 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

**Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru**

**Oddziaływania mechaniczne podczas działania pożaru**


W przypadku działania pożaru stosuję się kombinację obciążeń, jak dla wyjątkowej sytuacji obliczeniowej:

$$E_{dA} = E \left( \sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \right)$$

Obliczeniowa siła podłużna w słupie przy wartości współczynnika  $\psi_{2,1} = 0,3$  wynosi:

$$N_{fi,d} = 1,0 \times 960 + 0,3 \times 612,5 = 1143,8 \text{ kN}$$

[PN-EN 1991-1-2 §4.3](#)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>5 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

## Sprawdzenie nośności przy użyciu prostego modelu obliczeniowego

### Zakres stosowania

Uprozczone modele obliczeniowe są stosowane do obliczenia nośności słupa w podwyższonej temperaturze, stosownie do wymaganej odporności ogniowej. Warunek nośności ma postać:

$$N_{fi,d} / N_{fi,Rd} \leq 1$$

Obliczeniowa nośność przy wyboczeniu względem osi z-z (słabszej osi przekroju) jest obliczana korzystając z wyrażenia:

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z N_{fi,pl,Rd}$$


gdzie:

$\chi_z$  jest współczynnikiem wyboczenia giętnego, według krzywej wyboczenia „c”, zależnym od smukłości względnej

$N_{fi,pl,Rd}$  jest obliczeniową nośnością plastyczną przekroju przy ściskaniu w warunkach pożaru

Aby zastosować prosty model obliczeniowy, należy sprawdzić szereg warunków ograniczających jego stosowanie. Dodatkowo słup musi być częścią ramy stężonej.

[PN-EN 1994-1-2 §4.3.5.1](#)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	SX039a-PL-EU	Strona	6 z 12	
	Tytuł	<b>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</b>			
	Dot. Eurokodu	EN1994-1-2			
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	styczeń 2005	
	Sprawdził	J Chica & F Morente, Labein	Data	styczeń 2005	

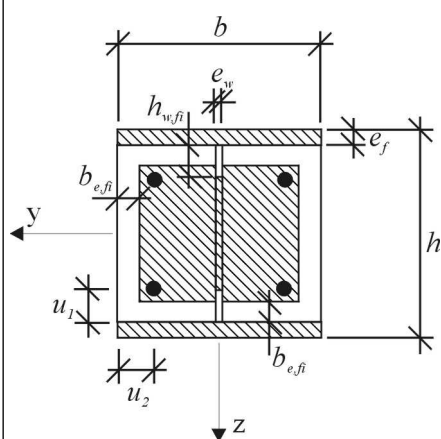
**Tablica 1.1 Zakres stosowania prostych modeli obliczeniowych**

Warunek	Wartość w rozpatrywanym przykładzie								
$l_{\theta, \max} = 13,5b = 13,5 \times 300 = 4050 \text{ mm}$	$l_{\theta} = 0,5 \times 4000 = 2000 \text{ mm}$	✓							
$230 \text{ mm} \leq h \leq 1100 \text{ mm}$	$h = 300 \text{ mm}$	✓							
$230 \text{ mm} \leq b \leq 1100 \text{ mm}$	$b = 300 \text{ mm}$	✓							
$1\% \leq A_s / (A_c + A_s) \leq 6\%$	$1960 / (73140 + 1960) = 0,03 = 3\%$	✓							
Najwyższa standardowa odporność ogniowa 120 min	R 60	✓							
Także, w przypadku R60									
$l_{\theta} < 10b$ jeżeli <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td><math>230 \leq b \leq 300</math></td> <td><math>b = 300 \text{ mm}</math></td> <td rowspan="3">✓</td> </tr> <tr> <td>lub</td> <td><math>h/b = 300/300 = 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>h/b &gt; 3</math></td> <td><math>l_{\theta} = 2000 \text{ mm} &lt; 10 \times 300 = 3000 \text{ mm}</math></td> </tr> </table>	$230 \leq b \leq 300$	$b = 300 \text{ mm}$	✓	lub	$h/b = 300/300 = 1$	$h/b > 3$	$l_{\theta} = 2000 \text{ mm} < 10 \times 300 = 3000 \text{ mm}$		
	$230 \leq b \leq 300$	$b = 300 \text{ mm}$		✓					
	lub	$h/b = 300/300 = 1$							
$h/b > 3$	$l_{\theta} = 2000 \text{ mm} < 10 \times 300 = 3000 \text{ mm}$								


PN-EN  
1994-1-2  
§G.6(5)

Obliczenie plastycznej nośności obliczeniowej przekroju i efektywnej sztywności giętnej

Załącznik G PN-EN 1994-1-2 nie stosuje współczynników redukcji wytrzymałości podanych PN-EN 1994-1-2 § 3. Redukcja nośności wywołana temperaturą uwzględniana jest przez zmniejszenie pola powierzchni przekroju poprzecznego lub przez współczynnik redukcyjny podany w Załączniku G.



**Rys. 1.3 Zredukowany przekrój poprzeczny w warunkach pożaru**

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>7 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

Półki kształtownika stalowego są zredukowane przez zastosowanie współczynnika redukcyjnego do granicy plastyczności i modułu sprężystości podłużnej. W tym celu należy wyznaczyć średnią temperaturę półek. Redukcja wysokości efektywnej średnicy jest przeprowadzona za pomocą zależności podanej niżej; redukcji podlegają oba końce średnicy.

$$\theta_{f,t} = \theta_{o,t} + k_t A_m / V$$

Temperatura  $\theta_{o,t}$  i współczynnik redukcyjny  $k_t$  są podane w Tablicy 1.2. Wskaźnik ekspozycji przekroju jest obliczony jak następuje:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(h+b)}{hb} = \frac{2 \times (0,3 + 0,3)}{0,3 \times 0,3} = 13,3 \text{ m}^{-1}$$

**Tablica 1.2 Parametry dla średniej temperatury półki**

Standardowa odporność ogniowa	$\theta_{o,t}$ [°C]	$k_t$ [m°C]
R 30	550	9,65
R 60	680	9,55
R 90	805	6,15
R 120	900	4,65

W przypadku odporności ogniowej R 60, średnia temperatura półki wzrasta do wartości:

$$\theta_{f,t} = 680 + 9,55 \times 13,3 = 807^\circ \text{C}$$

Korzystając z tej wartości, współczynnik redukcyjny  $k_{y,\theta}$  oraz  $k_{E,\theta}$  są określone w Tablicy 3.2, gdzie wartość pośrednią wyznacza się za pomocą interpolacji liniowej.

$$k_{y,\theta} = 0,06 + ((900 - 807)/(900 - 800)) \times (0,11 - 0,06) = 0,107$$


$$k_{E,\theta} = 0,0675 + ((900 - 807)/(900 - 800)) \times (0,09 - 0,0675) = 0,088$$

Obliczeniowa nośność plastyczna półek i średnicy oraz sztywność giętą są wyznaczone w następujący sposób:

[PN-EN 1994-1-2 §G.2](#)

[PN-EN 1994-1-2 Załącznik G, Tablica G.1](#)

[Tablica 3.2 PN-EN 1994-1-2](#)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<b>8</b> z <b>12</b>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

$$N_{fi,pl,Rd} = 2(b e_f k_{y,\theta} f_{ay,f}) / \gamma_{M,fi,a} = 2 \times (300 \times 19 \times 0,107 \times 235) / 1,0$$

$$N_{fi,pl,Rd} = 286700 \text{ N} = 286,7 \text{ kN}$$

$$(EI)_{fi,f,z} = k_{E,\theta} E_{a,f} (e_f b^3) / 6 = 0,088 \times 210000 \times (19 \times 300^3) / 6$$

$$(EI)_{fi,f,z} = 1,58 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 1,58 \times 10^9 \text{ kNmm}^2$$

Udział środnika jest zmniejszony przez redukcję jego efektywnej wysokości i przez zredukowanie granicy plastyczności. Redukcja wysokości jest wyliczona poniżej; redukcja taka dotyczy obu środnika.

$$h_{w,fi} = 0,5(h - 2e_f) \left(1 - \sqrt{1 - 0,16(H_t/h)}\right)$$

Parametr  $H_t$  jest podany w Tabelicy 1.3.

**Tabelica 1.3** Parametr dla redukcji wysokości środnika

Standardowa odporność ogniowa	$H_t$ [mm]
R 30	350
R 60	770
R 90	1100
R 120	1250

Zatem  $h_{w,fi}$  jest określone jako:

$$h_{w,fi} = 0,5(300 - 2 \times 19) \left(1 - \sqrt{1 - 0,16(770/300)}\right) = 30,4 \text{ mm}$$

Granica plastyczności jest zredukowana do wartości:

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} \sqrt{1 - 0,16(H_t/h)} = 0,235 \sqrt{1 - 0,16 \times (770/300)} = 0,1804 \text{ kN/mm}^2$$

Obliczeniowa siła podłużna i sztywność giętna środnika w warunkach pożaru wynosi:

$$N_{fi,pl,Rd,w} = [e_w (h - 2e_f - 2h_{w,fi}) \times f_{ay,w,t}] / \gamma_{M,fi,a}$$

$$= [11 \times (300 - 2 \times 19 - 2 \times 30,4) \times 0,1804] / 1,0 = 399,3 \text{ kN}$$


$$(EI)_{fi,w,z} = [E_{a,w} (h - 2e_f - 2h_{w,fi}) e_w^3] / 12$$

$$= [210 \times (300 - 2 \times 19 - 2 \times 30,4) \times 11^3] / 12 = 4,7 \times 10^6 \text{ kNmm}^2$$

[PN-EN 1994-1-2 §G.3](#)

[PN-EN 1994-1-2 Załącznik G Tablica G.2](#)



<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<b>9</b> z <b>12</b>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

Warstwa betonu na obwodzie o grubości  $b_{c,fi}$  jest pominięta w obliczeniu. Grubość tę podano w Tabelcy 1.4.

[PN-EN 1994-1-2 §G.4](#)

**Tabela 1.4 Redukcja grubości powierzchni betonowej**

Standardowa odporność ogniowa	$b_{c,fi}$ [mm]
R 30	4,0
R 60	15,0
R 90	$0,5 (A_m/V) + 22,5$
R 120	$2,0 (A_m/V) + 24,0$

[PN-EN 1994-1-2 Załącznik G Tablica G.3](#)

W rozpatrywanym przypadku  $b_{c,fi} = 15 \text{ mm}$

Pole powierzchni pozostałej części betonu podlega redukcji za pomocą współczynnika redukcyjnego  $k_{c,\theta}$ , który zależy od temperatury betonu. Średnia temperatura betonu podana jest w Tabelcy 1.5. Zależy ona od wskaźnika przekroju  $A_m/V$ .

**Tabela 1.5 Średnia temperatura betonu zależnie od wskaźnika przekroju**

R 30		R 60		R 90		R 120	
$A_m/V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]	$A_m/V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]	$A_m/V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]	$A_m/V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]
4	136	4	214	4	256	4	265
23	300	9	300	6	300	5	300
46	400	21	400	13	400	9	400
---	---	50	600	33	600	23	600
---	---	---	---	54	800	38	800
---	---	---	---	---	---	41	900
---	---	---	---	---	---	43	1000

[PN-EN 1994-1-2 Załącznik G Tablica G.4](#)

Stosując interpolację dla wartości  $A_m/V = 13,3 \text{ m}^{-1}$  przy R60:


$$\theta_{c,t} = 400 - ((21 - 13,3)/(21 - 9)) \times (400 - 300) = 336 \text{ °C}$$

Współczynnik redukcyjny  $k_{c,\theta}$  oraz odkształcenia  $\varepsilon_{cu,\theta}$  odpowiadające  $f_{c,\theta}$  są określone za pomocą zależności:

$$k_{c,\theta} = 0,75 + ((400 - 336)/(400 - 300)) \times (0,85 - 0,75) = 0,814$$

$$\varepsilon_{cu,\theta} = [10 - ((400 - 336)/(400 - 300)) \times (10 - 7)] \times 10^{-3} = 8,08 \times 10^{-3}$$

[Tablica 3.3](#)  
[PN-EN 1994-1-2](#)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>10</i> z <i>12</i>	
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>			
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>			
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>	
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>	

Moduł sieczny betonu może zostać obliczony z zależności:

$$E_{c,sec,\theta} = k_{c,\theta} f_c / \varepsilon_{cu,\theta} = 0,814 \times 0,025 / (8,08 \times 10^{-3}) = 2,519 \text{ kN/mm}^2$$

Obliczeniowa nośność przekroju i sztywność giętna może teraz zostać wyliczona korzystając z zależności:

$$N_{fi,pl,Rd,c} = 0,86 \left( \left( (h - 2e_f - 2b_{c,fi}) (b - e_w - 2b_{c,fi}) \right) - A_s \right) f_{c,\theta} / \gamma_{M,fi,c}$$

$$= 0,86 \times \left( \left( (30 - 2 \times 1,9 - 2 \times 1,5) (30 - 1,1 - 2 \times 1,5) \right) - 19,6 \right) \times \frac{(0,814 \times 2,5)}{1,0}$$

$$N_{fi,pl,Rd,c} = 1017,3 \text{ kN}$$

$$(EI)_{fi,c,z} = E_{c,sec,\theta} \left( \left( (h - 2e_f - 2b_{c,fi}) \left( (b - 2b_{c,fi})^3 - e_w^3 \right) / 12 \right) - I_{s,z} \right)$$

$$= 2,519 \times \left( \left( (300 - 2 \times 19 - 2 \times 15) \times \left( (300 - 2 \times 15)^3 - 19^3 \right) / 12 \right) - 1,96 \times 10^7 \right)$$

$$(EI)_{fi,c,z} = 9,09 \times 10^8 \text{ kNmm}^2$$

W przypadku prętów zbrojenia, współczynnik redukcyjny granicy plastyczności  $k_{y,t}$  jest podany w Tabelicy 1.6 zaś współczynnik redukcyjny modułu sprężystości  $k_{E,t}$  jest podany w Tabelicy 1.7. W obu przypadkach zależą one od klasy odporności ogniowej i średniej geometrycznej odległości osiowej  $u$  prętów zbrojenia od zewnętrznej powierzchni betonu.

$$u = \sqrt{u_1 u_2} = \sqrt{50 \times 50} = 50 \text{ mm}$$

gdzie:

$u_1$  jest odległością osiową zewnętrznego pręta zbrojeniowego do wewnętrznej krawędzi półki


$u_2$  jest odległością osiową zewnętrznego pręta zbrojeniowego do powierzchni betonu

**Tablica 1.6 Współczynnik redukcyjny  $k_{y,t}$  dla granicy plastyczności prętów zbrojeniowych  $f_{sy}$**

Standardowa odporność ogniowa	Współczynnik redukcyjny $k_{y,t}$ dla $u$ [mm]				
	40	45	50	55	60
R 30	1	1	1	1	1
R 60	0,789	0,883	0,976	1	1
R 90	0,314	0,434	0,572	0,696	0,822
R 120	0,170	0,223	0,288	0,367	0,436

[PN-EN 1994-1-2 §G.5](#)

PN-EN 1994-1-2  
[Załącznik G](#)  
Tablica G.5

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>11 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

**Tablica 1.6 Współczynnik redukcyjny  $k_{E,t}$  modułu sprężystości prętów zbrojeniowych  $E_s$**

Standardowa odporność ogniowa	Współczynnik redukcyjny $k_{E,t}$ dla $u$ [mm]				
	40	45	50	55	60
R 30	0,830	0,865	0,888	0,914	0,935
R 60	0,604	0,647	0,689	0,729	0,763
R 90	0,193	0,283	0,406	0,522	0,619
R 120	0,110	0,128	0,173	0,233	0,285

W rozpatrywanym przypadku:  $k_{y,t} = 0,976$  oraz  $k_{E,t} = 0,689$

Obliczeniowa nośność plastyczna przekroju i sztywność giętna prętów zbrojenia:

$$N_{fi,pl,Rd,s} = A_s k_{y,t} f_{sy} / \gamma_{M,fi,s} = 1960 \times 0,976 \times 500 / 1,0 = 956500 \text{ N} = 956,5 \text{ kN}$$

$$(EI)_{fi,s,z} = k_{E,t} E_s I_{s,z} = 0,689 \times 210 \times 1,96 \times 10^7 = 2,836 \times 10^9 \text{ kNmm}^2$$

Obliczeniowa nośność całego przekroju poprzecznego jest określona jako:

$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,f} + N_{fi,pl,Rd,w} + N_{fi,pl,Rd,c} + N_{fi,pl,Rd,s} \\ = 286,7 + 399,3 + 1017,3 + 956,5 = 2659,8 \text{ kN}$$

Aby obliczyć efektywną sztywność giętną przekroju, należy wyznaczyć współczynnik redukcyjny  $\varphi_{i,\theta}$ . Współczynniki redukcyjne podane są w Tablicy 1.8.


**Tablica 1.7 Współczynniki redukcyjne dla sztywności giętej**

Standardowa odporność ogniowa	$\varphi_{f,\theta}$	$\varphi_{w,\theta}$	$\varphi_{c,\theta}$	$\varphi_{s,\theta}$
R 30	1,0	1,0	0,8	1,0
R 60	0,9	1,0	0,8	0,9
R 90	0,8	1,0	0,8	0,8
R 120	1,0	1,0	0,8	1,0

$$(EI)_{fi,eff,z} = \varphi_{f,\theta} (EI)_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} (EI)_{fi,w,z} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{fi,c,z} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{fi,s,z} \\ = 0,9 \times 1,58 \times 10^9 + 1,0 \times 4,7 \times 10^6 + 0,8 \times 9,09 \times 10^8 + \\ + 0,9 \times 2,836 \times 10^9 = 4,7 \times 10^9 \text{ kNmm}^2$$

PN-EN  
1994-1-2  
[Załącznik G](#)  
Tablica G.6

PN-EN  
1994-1-2  
[Załącznik G](#)  
Tablica G.7

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>12 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

### Obliczenie siły krytycznej wyboczenia w podwyższonej temperaturze

Eulerowskie obciążenie krytyczne albo nośność krytyczna przy wyboczeniu sprężystym wynosi:

$$N_{fi,cr,z} = \pi^2 (EI)_{fi,eff,z} / l_0^2 = \pi^2 \times 4,7 \times 10^9 / (0,5 \times 4000)^2 = 11600 \text{ kN}$$

gdzie:

$l_0$  jest długością wyboczeniową słupa w warunkach pożaru

Smukłość względna  $\lambda_0$  jest wyznaczona z zależności:

$$\lambda_0 = \sqrt{N_{fi,pl,R} / N_{fi,cr,z}} = \sqrt{2659,8 / 11600} = 0,48$$

gdzie:

$N_{fi,pl,R}$  jest wartością  $N_{fi,pl,Rd}$  określoną ze współczynnikami częściowymi  $\gamma_{M,fi,a}$ ,  $\gamma_{M,fi,c}$  oraz  $\gamma_{M,fi,s}$  równymi 1,0.

Współczynnik wyboczenia  $\chi_z$  jest wyznaczony za pomocą krzywej wyboczeniowej "c" z Tablicy 5.5.2 PN-EN 1993-1-1 i smukłości względnej jak dla sytuacji w warunkach pożaru.

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_0^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,48^2}} = 0,86$$

gdzie:

$$\phi = 0,5 \left( 1 + \alpha \left( \bar{\lambda}_0^2 - 0,2 \right) + \bar{\lambda}_0^2 \right) = 0,5 \times \left( 1 + 0,49 \times (0,48 - 0,2) + 0,48^2 \right) = 0,68$$

Nośność przy wyboczeniu jest obliczona z zależności:

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z N_{fi,pl,Rd} = 0,86 \times 2659,8 = 2287,4 \text{ kN}$$

Warunek nośności:


$$N_{fi,d} / N_{fi,Rd,z} = 1143,8 / 2287,4 = 0,50 < 1 \quad \checkmark$$

[PN-EN 1994-1-2 §G.6](#)

[PN-EN 1993-1-1 Tablica 5.5.2](#)

§6.3.1.2

PN-EN1994-1-2

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>13 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

## Sprawdzenie nośności przy użyciu danych tabelarycznych

Weryfikacja taka odbywa się w dziedzinie nośności.

Gdy wyznacza się poziom obciążenia  $\eta_{fi,t}$ , stopień zbrojenia powinien mieścić się w granicach pomiędzy 1% a 6%. Wyższe lub niższe stopnie zbrojenia nie powinny być uwzględniane.

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} \begin{cases} \geq 1\% \\ \leq 6\% \end{cases}$$

$$\frac{1960}{73140 + 1960} = 0,03 = 3\% \begin{cases} > 1\% \\ < 6\% \end{cases}$$

Poziom obciążenia oblicza się następująco:

$$\eta_{fi,t} = E_{fi,d,t} / R_d = N_{fi,d} / N_{Rd} = 1143,8 / 5389,8 = 0,21$$

Gdzie  $N_{Rd}$  jest plastyczną nośnością obliczeniową przekroju przy ściskaniu, która jest obliczona jako suma plastycznych nośności elementów składowych:

$$N_{Rd} = A_a f_{yd} + 0,85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd} = 14900 \cdot \frac{235}{1,0} + 0,85 \cdot 73140 \cdot \frac{25}{1,5} + 1960 \cdot \frac{500}{1,15} = 5389800 \text{ N} = 5389,8 \text{ kN}$$

Najmniejsze wymiary przekroju poprzecznego są podane w PN-EN 1994-1-2:

$$b_{min} = h_{min} = 200 \text{ mm}$$

Tablica 1.9 podaje wymagania co do minimalnych wymiarów przekroju poprzecznego, aby przeprowadzić sprawdzenie nośności słupa częściowo obetonowanego.

**Tablica 1.9** Wymiary przekroju poprzecznego słupa częściowo obetonowanego


Wartość minimalna	Wartość w rozpatrywanym przykładzie	
$(e_w / e_f)_{min} = 0,5$	$e_w / e_f = 1,1 / 1,9 = 0,58$	✓
$b_{min} = h_{min} = 200 \text{ mm}$	$b = h = 300 \text{ mm}$	✓
$u_{s,min} = 50 \text{ mm}$	$u_s = 50 \text{ mm}$	✓
$(A_s / (A_c + A_s))_{min} = 4\%$	$A_s / (A_c + A_s) = 3\%$	✗


[PN-EN1994-1-2 § 4.2.3.3.](#)

[PN-EN1994-1-1 §6.7.3.2\(1\)](#)

PN-EN 1994-1-2  
[Tablica 4.2](#)

[PN-EN 1994-1-2 Tablica 4.2](#)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>14 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
<p>W rozpatrywanym przypadku stopień zbrojenia jest zbyt niski. Aby go zwiększyć należy zastosować większe średnice prętów lub zwiększyć liczbę prętów zbrojenia każdym narożu.</p>				

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	<i>SX039a-PL-EU</i>	Strona	<i>15 z 12</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>EN1994-1-2</i>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica &amp; F Morente, Labein</i>	Data	<i>styczeń 2005</i>

## Porównanie dwu metod sprawdzania nośności

Chociaż warunki nośności według danych tabelarycznych nie są spełnione, zastosowanie prostej metody obliczeniowej dowodzi, że spełnienia tych warunków. Jak widać metoda „danych tabelarycznych” prowadzi do bardziej konserwatywnych rezultatów.

## Protokół jakości

<b>TYTUŁ ZASOBU</b>	Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru		
<b>Odniesienie</b>			
<b>ORYGINAŁ DOKUMENTU</b>			
	<b>Imię i nazwisko</b>	<b>Instytucja</b>	<b>Data</b>
<b>Stworzony przez</b>	P Schaumann & T Trautmann	University of Hannover – Institute for Steel Construction	
<b>Zawartość techniczna sprawdzona przez</b>	J Chica & F Morente, Labein	Labein	
<b>Zawartość redakcyjna sprawdzona przez</b>			
<b>Zawartość techniczna zaaprobowana przez:</b>			
<b>1. Wielka Brytania</b>	G W Owens	SCI	9/6/06
<b>2. Francja</b>	A Bureau	CTICM	9/6/06
<b>3. Szwecja</b>	B Uppfeldt	SBI	9/6/06
<b>4. Niemcy</b>	C Müller	RWTH	9/6/06
<b>5. Hiszpania</b>	J Chica	Labein	9/6/06
<b>Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego</b>	M Haller	PARE	9/6/06
<b>Stworzony przez</b>	G W Owens	SCI	12/9/06



## Informacje ramowe

<b>Tytuł*</b>	Przykład: Nośność słupa zespolonego częściowo obetonowanego w warunkach pożaru	
<b>Seria</b>		
<b>Opis*</b>	W przykładzie zastosowano prosty model obliczeniowy oraz tablice projektowe do określenia nośności słupa zespolonego częściowo obetonowanego. Słup jest ciągły na wysokości budynku i jest częścią ramy stężonej, będącej konstrukcją nośną budynku biurowego. Wymagana odporność ogniowa słupa to R60.	
<b>Poziom dostępu*</b>	Umiejętności specjalistyczne	Specjalista
<b>Identyfikator*</b>	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SX\31-40\SX039a-PL-EU.doc
<b>Format</b>		Microsoft Office Word; 18 Pages; 632kb;
<b>Kategoria*</b>	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
<b>Temat*</b>	Obszar stosowania	Nośność w warunkach pożaru
<b>Daty</b>	Data utworzenia	20/05/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
<b>Język(i)*</b>		Polski
<b>Kontakt</b>	Autor	P Schaumann & T Trautmann, University of Hannover – Institute for Steel Construction
	Sprawdził	J Chica & F Morente, Labein
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
<b>Słowa kluczowe*</b>	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, odpowiedź mechaniczna, nośność pożarowa, słup zespolony, słup częściowo obetonowany, metoda danych tabelarycznych belka częściowo obetonowana	
<b>Zobacz też</b>	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
<b>Sprawozdanie</b>	Przydatność krajowa	EU
<b>Instrukcje szczególne</b>		