
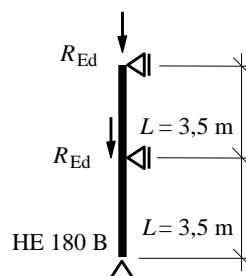


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX043a-PL-EU</i>	Strona	<i>1 z 5</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas

Przykład ilustruje sposób projektowania słupa ciągłego na wysokości dwu kondygnacji w warunkach pożaru. Temperatura stali słupa jest wyznaczona za pomocą danych projektowych zawartych w SD004. Nośność obliczeniowa elementu w podwyższonej temperaturze jest określona przy użyciu prostych modeli obliczeniowych podanych w PN-EN 1993-1-2.

Słup wykonany z walcowanego na gorąco kształtownika HEB podpira dwa stropy, jak pokazano na Rys. 1. Element zaprojektowano bez osłon przeciwpożarowych i jego nośność należy sprawdzić w wypadku działania pożaru opisywanego krzywą standardową temperatura-czas. Wymagana odporność ogniowa wynosi R15.



Rys. 1: Schemat statyczny

Dane podstawowe

Właściwości materiałowe

Gatunek stali: S 355
 Granica plastyczności: $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
 Gęstość: $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Obciążenia

Reakcja od każdego stropu od oddziaływań stałych:


$$R_{G,k} = 185 \text{ kN}$$

Reakcja od każdego stropu od oddziaływań zmiennych:

$$R_{Q,k} = 175 \text{ kN}$$

Współczynniki częściowe

$$\begin{aligned} \gamma_G &= 1,35 \\ \gamma_Q &= 1,50 \\ \gamma_{M1} &= 1,00 \end{aligned}$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX043a-PL-EU</i>	Strona	2 z 5
	Tytuł	Przykład: Projektowanie pożarowe nieostoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Oddziaływania mechaniczne w temperaturze normalnej

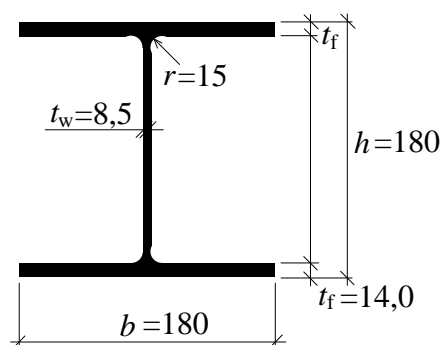
Obliczeniowa wartość siły podłużnej w dolnej części słupa wynosi:

$$N_{Ed} = 2 R_{Ed} = 2 (R_{G,k} \gamma_G + R_{Q,k} \gamma_Q) = 2 \cdot (185 \cdot 1,35 + 175 \cdot 1,5) = 1024,5 \text{ kN}$$

Sprawdzenie nośności w temperaturze normalnej

Przyjęto kształtownik HE 180 B.

Spełnia on wymagania klasy 1 przekroju.



Rys. 2: Przekrój poprzeczny

Długość wybocheniowa słupa wynosi:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,5 \text{ m}$$

Decydujące jest wybochenie względem osi z-z.

Sprężysta siła krytyczna wybożenia wynosi:


$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1363 \times 10^4}{3500^2} = 2306 \text{ kN}$$

Smukłość bezwymiarowa:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6530 \times 355}{2306 \times 10^3}} = 1,003$$

[PN-EN 1993-1-1 §5.5](#)

[PN-EN 1993-1-1 §6.3.1](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX043a-PL-EU</i>	Strona	3 z 5
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieostioniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Współczynnik wybooczenia w przypadku kształtownika walcowanego na gorąco, przy stosunku $h/b < 1,2$, jest wyznaczony za pomocą krzywej „c” (parametr imperfekcji $\alpha = 0,49$).

$$\Phi = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right) =$$

$$= 0,5 \cdot \left(1 + 0,49 \cdot (1,003 - 0,2) + 1,003^2 \right) = 1,200$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,200 + \sqrt{1,200^2 - 1,003^2}} = 0,538$$

Warunek nośności w SGN, w fazie normalnej eksploatacji:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = 0,538 \cdot \frac{6525 \cdot 355}{1,0} = 1246,2 \text{ kN} > 1024,5 \text{ kN} = N_{Ed}$$

W temperaturze normalnej warunek nośności jest spełniony.

Projektowanie w warunkach działania pożaru

Oddziaływania mechaniczne w warunkach działania pożaru

Stosując uproszczone zasady według PN-EN 1991-2, oddziaływania w warunkach działania pożaru mogą być wyznaczone na podstawie oddziaływań w temperaturze normalnej.

Użyto kombinacji wyjątkowej do określenia oddziaływań mechanicznych działających podczas pożaru, gdzie współczynnik ψ przyjęto o wartości $\psi_{2,1} = 0,3$ jak dla budynków biurowych. Współczynnik redukcyjny wyznaczony jest jako:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi Q_k}{G_k \gamma_G + Q_k \gamma_Q} = \frac{185 + 0,3 \cdot 175}{185 \cdot 1,35 + 175 \cdot 1,5} = 0,464$$

$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,464 \cdot 1024,5 = 475,0 \text{ kN}$$

NB: Współczynnik ψ ma wartość ustaloną według regulacji krajowych. W rozpatrywanym przykładzie przyjęto wartość zalecaną przez EN 1991-1-2.

Ocena temperatury gazu


Użyto krzywej standardowej temperatura-czas do ustalenia temperatury gazu.

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8 t + 1)$$

[PN-EN1991-1-2 §4.3.2](#)

[PN-EN1993-1-2 §2.4.2](#)

[PN-EN1991-1-2 §3.2.1](#)

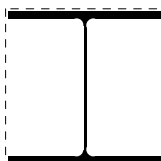
ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX043a-PL-EU</i>	Strona	4 z 5
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Ocena temperatury słupa

Wskaźnik przekroju może być obliczony lub zaczerpnięty z danych zawartych w SD004. Wskaźnik, jak dla umownego przekroju skrzynkowego słupa nieosłoniętego, narażonego na działanie ognia z czterech stron wynosi: [SD004](#)

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = 110 \text{ m}^{-1}.$$

Wpływ efektu zacienienia uwzględnia się przez modyfikację wskaźnika przekroju, jak następuje: $0,9 \cdot \left(\frac{A_m}{V}\right)_b = 0,9 \cdot 110 = 99 \text{ m}^{-1}$.

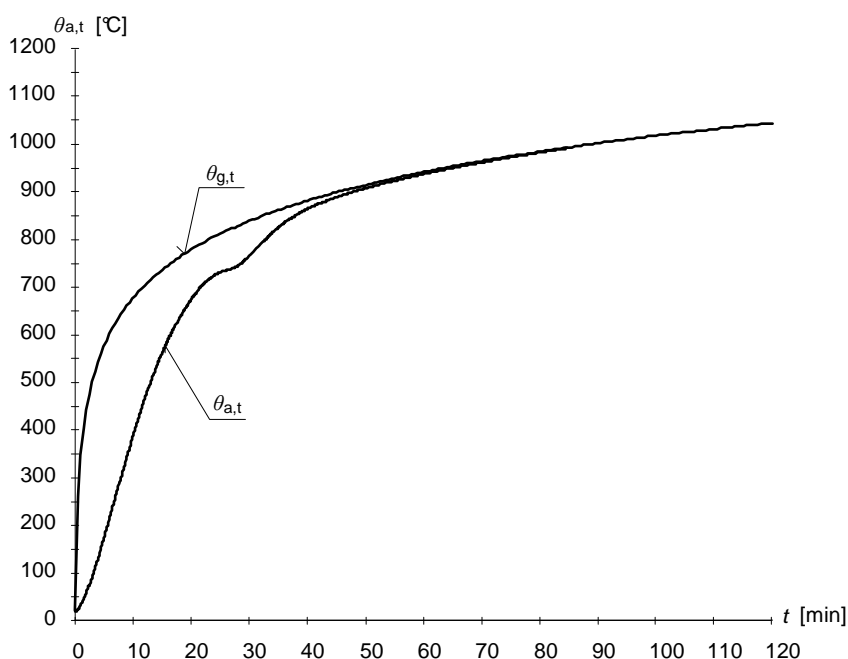


Rys. 3: Ocena A_m/V oraz $(A_m/V)_b$


Na podstawie zmodyfikowanego wskaźnika przekroju, $A_m/V = 99 \text{ m}^{-1}$, temperatura stali w czasie $t = 15 \text{ min}$ może być wyznaczona z danych zawartych w opracowaniu SD004. [SD004](#)

$$\theta_a = 565^\circ\text{C}.$$

Temperatury stali i gazu pokazano na Rys. 4.



Rys. 4: Krzywe temperatura-czas dla gazu i stali

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX043a-PL-EU</i>	Strona	5 z 5
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieostioniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Sprawdzenie nośności w dziedzinie wytrzymałości

Klasyfikacja przekroju w podwyższonej temperaturze

Klasyfikacja przekroju ściskanego osiowo może być dokonana za pomocą tablic zawartych w opracowaniu SD002. Kształtownik HE 180 B spełnia warunki przekroju klasy 1 w podwyższonej temperaturze.

[SD002](#)

Współczynniki redukcyjne krzywej naprężenie-odkształcenie przy temperaturze $\theta_{a,max} = 565^{\circ}\text{C}$ wynoszą $k_{y,\theta} = 0,578$ i $k_{E,\theta} = 0,411$.

[SD010](#)

Zakładając, że odporność ogniowa płyty żelbetowej rozdzielającej kondygnacje jest nie mniejsza od odporności słupa, długość wybocheniowa słupa jest zredukowana do wartości:

PN-EN
1993-1-2
[§4.2.3.2](#)

$$L_{cr,y,fi} = L_{cr,z,fi} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 3,5 = 2,45 \text{ m}$$

Siła krytyczna wyboczenia w normalnej temperaturze wynosi:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 210000 \times 1363 \times 10^4}{2450^2} = 4706 \text{ kN}$$

Smukłość względna w normalnej temperaturze wynosi:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6530 \cdot 355}{4706,3 \cdot 10^3}} = 0,702$$

Smukłość względna w temperaturze θ_a wynosi:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 0,702 \cdot [0,578 / 0,411]^{0,5} = 0,833$$

PN-EN1993-
1-2 [§4.2.3.2](#)

Stąd współczynnik wyboczenia jest równy: $\chi_{z,fi} = 0,577$

Obliczeniowa nośność w temperaturze $\theta_a = 565^{\circ}\text{C}$ jest wyliczona jako:

$$N_{b,fi,\theta,Rd} = \chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 0,578 \cdot 6525 \cdot 0,577 \cdot \frac{355}{1,0} = 772,5 \text{ kN}$$

Obliczeniowa wartość siły podłużnej w warunkach pożaru (patrz strona 3):

$$N_{fi,Ed} = 475,0 \text{ kN}$$

$$N_{b,fi,\theta,Rd} \geq N_{fi,Ed}$$

Zatem w sytuacji pożarowej warunki nośności są spełnione.

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas		
Odniesienie			
ORIGINAŁ DOKUMENTU			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Z. Sokol	CTU Prague	
Zawartość techniczna sprawdzona przez:	F. Wald	CTU Prague	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez:			
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	30/8/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	30/8/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	30/8/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	30/8/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	30/8/06
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	M Haller	PARE	30/8/06
Stworzony przez	G W Owens	SCI	12/9/06

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas	
Seria		
Opis*	Przykład ilustruje sposób projektowania słupa ciągłego na wysokości dwu kondygnacji w warunkach pożaru. Temperatura stali słupa jest wyznaczona za pomocą danych projektowych zawartych w SD004. Nośność obliczeniowa elementu w podwyższonej temperaturze jest określona przy użyciu prostych modeli obliczeniowych podanych w PN-EN 1993-1-2.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	
Identyfikator*	Nazwa pliku	E:\STEEL\T4714-DFE.doc
Format		Microsoft Office Word; 8 stron; 339kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	
Temat*	Obszar stosowania	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe
Daty	Data utworzenia	25/07/2006
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*		
Kontakt	Autor	Z. Sokol, CTU Prague
	Sprawdził	F. Wald, CTU Prague
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Nośność pożarowa elementów, Słupy	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	EN 1991, EN 1993-1-1, EN 1993-1-2
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
Sprawozdanie	Przydatność krajowa	Europa
Instrukcje szczególne		



*Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętego słupa stalowego według standardowej krzywej temperatura-czas
SX043a-PL-EU*