
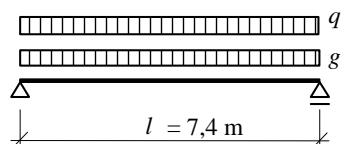


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	<i>1</i> z <i>8</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej według standardowej krzywej temperatura-czas</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej według standardowej krzywej temperatura-czas

Przykład ilustruje sposób projektowania stalowej belki swobodnie podpartej w warunkach pożaru. Przepływ ciepła do kształownika obliczono za pomocą procedury przyrostowej. Nośność obliczeniowa elementu w podwyższonej temperaturze jest wyznaczona za pomocą prostych modeli obliczeniowych podanych w PN-EN1993-1-2.

Belka wykonana z kształownika walcowanego na gorąco IPE jest częścią konstrukcji stropu w budynku biurowym. Belka jest obciążona w sposób równomierny i zabezpieczona przed zwichrzeniem płytą żelbetową. Wymagany wskaźnik odporności ogniowej belki to R15.



Rys. 1: Schemat statyczny

Dane podstawowe

Właściwości materiałowe

Gatunek stali: S 275
 Granica plastyczności: $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$
 Gęstość: $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Obciążenie

Oddziaływania stałe:

$$g_k = 4,8 \text{ kN/m}$$

Oddziaływania zmienne:

$$q_k = 7,8 \text{ kN/m}$$


Współczynniki częściowe

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,00$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	2 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej 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>

Oddziaływania mechaniczne w normalnej temperaturze

Wartość charakterystyczna obciążenia:

$$v_k = g_k + q_k = 4,8 + 7,8 = 12,60 \text{ kNm}^{-1}$$

Wartość obliczeniowa obciążenia:

$$v_d = g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q = 4,8 \cdot 1,35 + 7,8 \cdot 1,5 = 18,18 \text{ kNm}^{-1}$$

Moment zginający i siła poprzeczna:

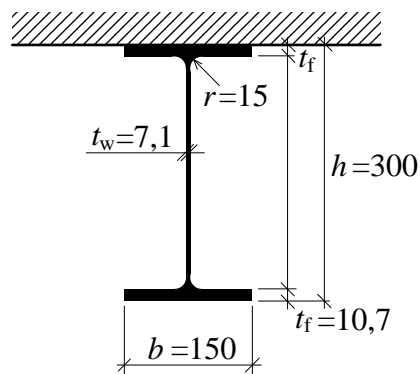
$$M_{Ed} = \frac{1}{8} v_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 18,18 \cdot 7,4^2 = 124,4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} v_d l = \frac{1}{2} \cdot 18,18 \cdot 7,4 = 67,3 \text{ kN}$$


Sprawdzenie nośności w normalnej temperaturze

Przyjęto kształtownik IPE 300. Spełnia on warunki przekroju klasy 1.

[PN-EN 1993-1-1 §5.5](#)



Rys. 2: Przekrój poprzeczny

	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	3 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej 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>

Założono, że żelbetowa płyta zapewnia stężenie boczne ściskanego pasa belki i zabezpiecza belkę przed zwichrzeniem.

Nośność przekroju przy zginaniu określona jest zależnością:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{628,4 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 172,8 \text{ kNm} > 124,4 \text{ kNm} = M_{Sd} \quad \text{OK}$$

[PN-EN 1993-1-1 §6.2.5](#)

Nośność przekroju przy ścinaniu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{V,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{2568 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 407,7 \text{ kN} > 67,3 \text{ kN} = V_{Sd} \quad \text{OK}$$

[PN-EN 1993-1-1 §6.2.6](#)

W stanie granicznym użyteczności sprawdzono ugięcie belki i porównano z wartością graniczną $L/250$:

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{v_k l^4}{E I_y} = \frac{5}{384} \frac{12,60 \cdot 7400^4}{210000 \cdot 83,56 \cdot 10^6} = 28,0 \text{ mm} < 29,6 \text{ mm} = \frac{l}{250} \quad \text{OK}$$

(Wartości graniczne ugięć są podane w Załączniku krajowym lub w innych dokumentach krajowych. Przyjęta do obliczeń wartość graniczna jest najbardziej typowa).

Obliczeniowe warunki nośności belki w normalnej temperaturze są spełnione.

Sprawdzenie nośności w warunkach pożaru

Oddziaływania mechaniczne w warunkach pożaru

Stosując zasady uproszczone według PN-EN 1991-2, oddziaływania w sytuacji pożarowej mogą być określone na podstawie oddziaływań w normalnej temperaturze.

[PN-EN1991-1-2 §4.3.2](#)


Użyto kombinacji wyjątkowej do określenia oddziaływań podczas pożaru.

Współczynnik ψ przyjęto o wartości $\psi_{2,1} = 0,3$, jak dla budynków biurowych. Współczynnik redukcyjny wyznaczony jest jako:

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi q_k}{g_k \gamma_G + q_k \gamma_Q} = \frac{4,8 + 0,3 \cdot 7,8}{4,8 \cdot 1,35 + 7,8 \cdot 1,5} = 0,393$$

[PN-EN1993-1-2 §2.4.2](#)

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

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	4 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej 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>

Obliczeniowa wartość momentu zginającego i siły poprzecznej w sytuacji pożarowej:

$$M_{fi,Ed} = \eta_{fi} M_{Ed} = 0,393 \cdot 124,4 = 48,9 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Ed} = \eta_{fi} V_{Ed} = 0,393 \cdot 67,3 = 26,4 \text{ kN}$$

Ocena temperatury gazu

Zastosowano krzywą standardową temperatura-czas.

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

[EN1991-1-2](#)
[§3.2.1](#)

Ocena temperatury belki

Przerywana linia na Rys. 3 zaznacza obwód, który przyjęto jako narażony na działanie pożaru. Wskaźnik ekspozycji przekroju wynosi:

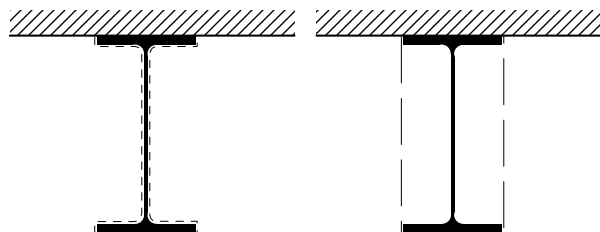
$$\begin{aligned} \frac{A_m}{V} &= \frac{3b + 2(h - t_w - 4r) + 2\pi r}{A} = \\ &= \frac{3 \cdot 150 + 2 \cdot (300 - 7,1 - 4 \cdot 15) + 2 \cdot \pi \cdot 15}{5381} = 0,188 \text{ mm}^{-1} = 188 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

Współczynnik korekcyjny uwzględniający efekt zacienienia w wypadku kształtownika IPE wynosi:


$$k_{sh} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\left(\frac{A_m}{V}\right)} = 0,9 \frac{\frac{b + 2h}{A}}{0,188} = 0,9 \frac{150 + 2 \cdot 300}{0,188 \cdot 5381} = 0,9 \cdot 0,741 = 0,667$$

[PN-EN](#)
[1993-1-2](#)
[§4.2.5.1](#)

gdzie $(A_m/V)_b$ jest obliczone jak dla umownego przekroju skrzynkowego, zaznaczonego linią przerywaną na Rys. 3.



Rys. 3: Ocena współczynnika korekcyjnego uwzględniającego efekt zacienienia k_{sh}

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	5 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej 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>

Przyrost temperatury kształtownika stalowego jest obliczony za pomocą procedury przyrostowej, za pomocą wyrażenia:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

Podczas obliczeń zastosowano przyrost czasu wynoszący $\Delta t = 5$ s.

Strumień ciepła netto:

$$\begin{aligned} \dot{h}_{net} &= \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \\ &= \alpha_c (\theta_g - \theta_m) + \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma \left((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right) = \\ &= 25 \cdot (\theta_g - \theta_m) + 3,969 \cdot 10^8 \cdot \left((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right) \end{aligned}$$

gdzie

ε_m jest emisyjnością stali węglowej ($\varepsilon_m = 0,7$ – PN-EN1993-1-2 §2.2)

ε_r jest emisyjnością ognia ($\varepsilon_r = 1,0$ – PN-EN1991-1-2 §3.1)

Φ jest współczynnikiem konfiguracji ($\Phi = 1,0$ – PN-EN1991-1-2 §3.1)

α_c jest współczynnikiem przejmowania ciepła przez konwekcję, do użycia w standardowej krzywej temperatura-czas (podana w PN-EN1991-1-2 §3.2.1 jako $\alpha_c = 25,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

σ jest stałą Stefana Boltzmanna ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

Krzywą temperatura-czas stali pokazano w Tablicy 1 i na Rys. 4.

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.5.1](#)

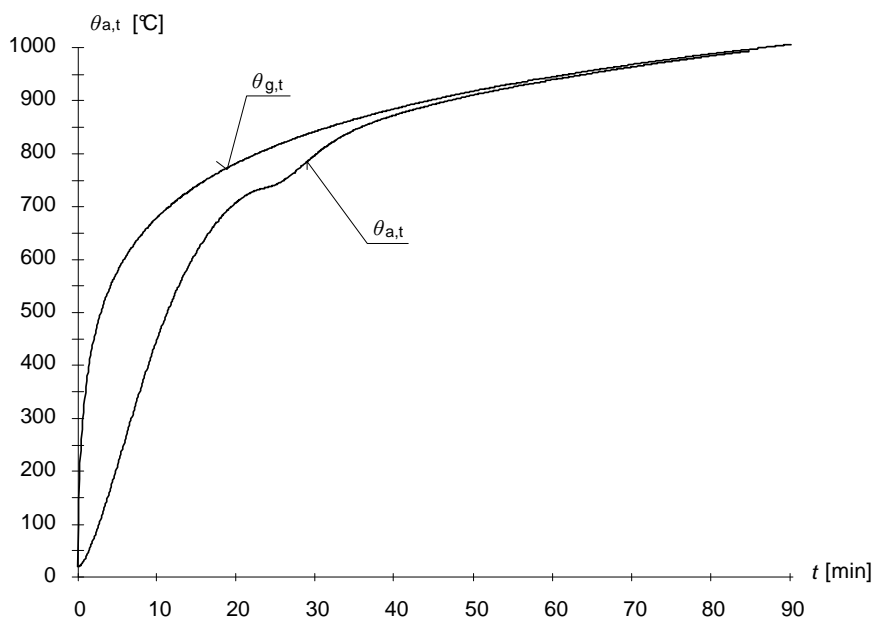
[PN-EN 1991-1-2 §3.1](#)

[PN-EN1991-1-2 §3.2.1](#)




Tablica 1: Obliczenie temperatury stali

min	sec	t min	θ_g °C	$h_{net,r}$ W/m ²	$h_{net,c}$ W/m ²	$h_{net,d}$ W/m ²	c_a J/kg°C	$\Delta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
	0	0	20,0	0	0	0	440	0,0	20,0
	5	0,0833	96,5	448	1913	2361	440	0,0	20,0
	10	0,1667	147,0	940	3163	4103	440	0,4	20,4
	15	0,2500	184,6	1443	4086	5529	440	0,7	21,2
	20	0,3333	214,7	1944	4813	6756	441	1,0	22,2
14	40	14,6667	735,2	17397	3249	20646	762	2,2	605,3
14	45	14,7500	736,1	17301	3216	20517	764	2,2	607,4
14	50	14,8333	736,9	17205	3184	20389	766	2,1	609,6
14	55	14,9167	737,7	17109	3151	20260	767	2,1	611,7
15	00	15,0000	738,6	17013	3119	20132	769	2,1	613,8
15	05	14,0833	739,4	16916	3088	20004	771	2,1	615,9



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

Temperatura stali po czasie $t = 15$ min wynosi $\theta_a = 614^\circ\text{C}$.

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	7 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej 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>

Uwaga:

Temperatura belki stalowej może zostać oceniana za pomocą opracowania SD004. W przypadku wskaźnika ekspozycji $A_m/V = 188 \text{ m}^{-1}$ i współczynnika korekcyjnego uwzględniającego efekt zacienienia $k_{sh} = 0,667$, wskaźnik A_m/V użyty w diagramie w SD004 jest równy:

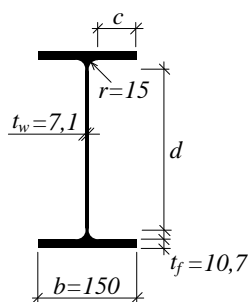
$$0,667 \cdot 188 = 125$$

a temperatura stali po czasie $t = 15 \text{ min.}$ wynosi:

$$\theta_a = 614^\circ\text{C}$$

Weryfikacja w dziedzinie nośności

Klasyfikacja przekroju w podwyższonej temperaturze



Rys. 5: Klasyfikacja przekroju

Smukłość pasa ściskanego wynosi:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{56,45}{10,7} = 5,3$$


Wartość graniczna smukłości dla klasy 1 wynosi 9ε . W przypadku sytuacji pożarowej uwzględnia się zredukowaną wartość współczynnika ε . Zatem smukłość graniczna wynosi:

$$9 \times 0,85 \times 0,924 = 7,07$$

Smukłość graniczna nie jest przekroczona. Pas jest klasy 1.

[SD004](#)

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.2](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX046a-PL-EU</i>	Strona	8 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej 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>

Smukłość środka zginanego wynosi:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{248,6}{7,1} = 35,0$$

Wartość graniczna smukłości dla klasy 1 wynosi 72ε . W przypadku sytuacji pożarowej uwzględnia się zredukowaną wartość współczynnika ε . Zatem smukłość graniczna wynosi:

$$72 \times 0,85 \times 0,924 = 56,6$$

Środek jest klasy 1. Zatem, kształtownik spełnia wymagania przekroju klasy 1 w podwyższonej temperaturze.

Nośności obliczeniowa przekroju podczas działania pożaru jest określona jako:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2} \frac{k_{y,\theta} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.3.3\(3\)](#)

Współczynnik redukcyjny $k_{y,\theta}$ dla stali w temperaturze $\theta_a = 614^\circ\text{C}$ wynosi:

$$k_{y,\theta} = 0,436$$

[PN-EN 1993-1-2 §3.2.1 SD003](#)

Współczynnik przystosowania $\kappa_1 = 0,7$

uwzględnia działanie pożaru na element nieosłonięty z trzech stron.

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.3.3\(7\)](#)

i współczynnik przystosowania $\kappa_2 = 1,0$

uwzględnia schemat statyczny (belka swobodnie podparta).

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.3.3\(8\)](#)

Nośność obliczeniowa przekroju w temperaturze $\theta_a = 614^\circ\text{C}$ wynosi:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{0,7 \cdot 1,0} \cdot \frac{0,436 \cdot 628,4 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 107,6 \text{ kNm} > 48,9 \text{ kNm OK}$$

Nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M,fi}} = 0,436 \cdot \frac{2568 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 177,8 \text{ kN} > 26,4 \text{ kN} = V_{fi,Sd} \text{ OK}$$

Warunki nośności w sytuacji pożarowej są spełnione.

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej według standardowej krzywej temperatura-czas		
Odniesienie	EN 1991-1-2:2003; EN 1993-1-1:2005; EN 1993-1-2:2005		
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	30/6/08
2. Francja	A Bureau	CTICM	30/6/08
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	30/6/08
4. Niemcy	C Müller	RWTH	30/6/08
5. Hiszpania	J Chica	Labein	30/6/08
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	M Haller	PARE	30/6/08
Stworzony przez	G W Owens	SCI	18/9/06

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Projektowanie pożarowe nieosłoniętej belki stalowej według standardowej krzywej temperatura-czas	
Seria	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe	
Opis*	Przykład ilustruje sposób projektowania stalowej belki swobodnie podpartej w warunkach pożaru. Przepływ ciepła do kształownika obliczono za pomocą procedury przyrostowej. Nośność obliczeniowa elementu w podwyższonej temperaturze jest wyznaczona za pomocą prostych modeli obliczeniowych podanych w PN-EN1993-1-2.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	
Identyfikator*	Nazwa pliku	E:\STEEL\T4717-DFE.doc
Format		Microsoft Office Word; 10 stron; 377kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	
Temat*	Obszar stosowania	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe
Daty	Data utworzenia	27/07/2006
	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, belki	
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		