
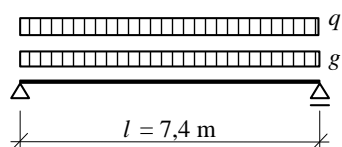


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX047a-PL-EU</i>	Strona	<i>1 z 9</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru

Przykład ilustruje projektowanie pożarowe swobodnie podpartej belki stalowej. Przepływ ciepła do kształtownika jest wyznaczony za pomocą równania dotyczącego elementów osłoniętych, rozwiązywanego metodą przyrostową. Nośność obliczeniowa jest wyznaczona za pomocą prostych modeli obliczeniowych podanych w PN-EN 1993-1-2.

Stalowa belka jest częścią konstrukcji stropu w budynku biurowym. Belka jest równomiernie obciążona i zabezpieczona przed zwichrzeniem przez połączenie z płytą stropową. Wymagana odporność ogniowa wynosi 60 minut. Belka jest osłonięta natryskiem zaprawy cementowej z wermikulitem. Oddziaływania termiczne są wyznaczone przy użyciu parametrycznej krzywej temperatura-czas.



Rys. 1: Schemat statyczny

Dane podstawowe

Właściwości materiałowe

Gatunek stali: S 275

Granica plastyczności: $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

Gęstość: $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Obciążenia

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

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


Współczynniki częściowe

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

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

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

	Dokument Ref:	<i>SX047a-PL-EU</i>	Strona	<i>2 z 9</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Dane do obliczeń pożarowych

Dane do krzywej pożarowej:

$$\Gamma = 5,794$$

$$t_{\max} = 22 \text{ minut}$$

$$x = 1$$

Właściwości materiału osłonowego

Natrysk zaprawy cementowej z wermikulitem:

$$\text{Grubość } d_p = 10 \text{ mm}$$

$$\text{gęstość } \rho_p = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ciepło właściwe } c_p = 1100 \text{ J/kgK}$$

$$\text{przewodność cieplna } \lambda_p = 0,12 \text{ W/mK}$$

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:

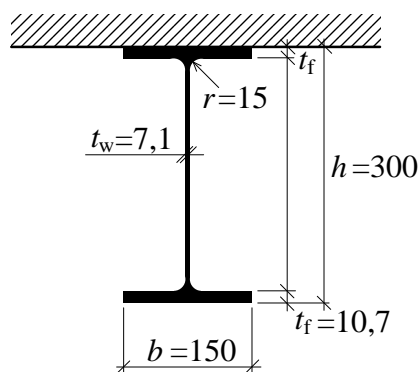
$$M_{\text{Ed}} = \frac{1}{8} v_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 18,18 \cdot 7,4^2 = 124,4 \text{ kNm}$$

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

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	SX047a-PL-EU	Strona	3 z 9
	Tytuł	Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	Z. Sokol	Data	styczeń 2006
	Sprawdził	F. Wald	Data	styczeń 2006

Sprawdzenie nośności w normalnej temperaturze

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



Rys. 2: Przekrój poprzeczny

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

Nośność przekroju przy zginaniu określona jest zależnością:

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

Nośność przekroju przy ścinaniu:

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

Ugięcie belki w SGU:

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

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-EN 1993-1-1 § 5.5](#)

[PN-EN 1993-1-1 § 6.2.5](#)

[PN-EN 1993-1-1 § 6.2.6](#)

[PN-EN 1991-1-2 § 4.3.2](#)

	Dokument Ref:	SX047a-PL-EU	Strona	4 z 9
	Tytuł	Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	Z. Sokol	Data	styczeń 2006
	Sprawdził	F. Wald	Data	styczeń 2006

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:

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

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

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

Pełne obliczenia parametrycznej krzywej są pokazane w przykładzie SX042. Krzywa stosowana w rozpatrywanym zadaniu jest wyznaczona w oparciu następujące parametry $\Gamma = 5,794$, $t_{max} = 22 \text{ min}$ (0,367 h) oraz $x = 1$. W parametrycznej krzywej stosowana jest zmodyfikowana wartość czasu t^* (w godzinach):

$$t^* = t \Gamma = 5,794 t.$$

Maksymalna temperatura gazu jest osiągnięta po czasie t^*_{max}

$$t^*_{max} = t_{max} \Gamma = 0,367 \cdot 5,794 = 2,125 \text{ h}.$$

Krzywa temperatura-czas w fazie nagrzewania jest określona jako:

$$\theta_{g,t} = 20 + 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2 t^*} - 0,204 e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*} \right)$$

Maksymalna temperatura gazu w strefie pożarowej wynosi:

$$\theta_{max} = 20 + 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2 \cdot 2,125} - 0,204 e^{-1,7 \cdot 2,125} - 0,472 e^{-19 \cdot 2,125} \right)$$


$$\theta_{max} = 1057^\circ\text{C}$$

Gdy $t^*_{max} > 2$, krzywa osiąga fazę chłodzenia, opisywaną zależnością:

$$\begin{aligned} \theta_{g,t} &= \theta_{max} - 250 \left(t^* - t^*_{max} \right)^x \\ &= 1057 - 250 \cdot \left(t^* - 2,126 \cdot 1 \right) \\ &= 1588,5 - 250 \cdot t^* \end{aligned}$$

[PN-EN1993-1-2 §2.4.2](#)

[PN-EN1991-1-2 Załącznik A SX042](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX047a-PL-EU</i>	Strona	<i>5 z 9</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

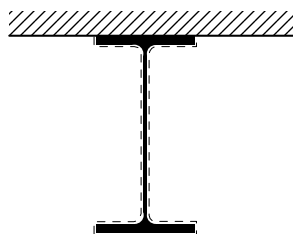
Ocena temperatury belki

Wskaźnik ekspozycji przekroju jest obliczony jak następuje (patrz Rys. 3, gdzie linią przerywaną zaznaczono obwód przekroju narażony na działanie pożaru):

$$\frac{A_p}{V} = \frac{3b + 2(h - t_w - 4r) + 2\pi r}{A} =$$

$$= \frac{3 \cdot 150 + 2 \cdot (300 - 7,1 - 4 \cdot 15) + 2 \cdot \pi \cdot 15}{5381} =$$

$$= 0,188 \text{ mm}^{-1} = 188 \text{ m}^{-1}$$



Rys. 3: Ocena wskaźnika ekspozycji A_p/V

Przyrost temperatury stali jest wyliczony procedurą przyrostową, przy zastosowaniu zależności:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a} \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{(1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad \text{lecz} \quad \Delta\theta_{a,t} \geq 0$$

gdzie


$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

W obliczeniach temperatury zastosowano przyrost czasu $\Delta t = 30 \text{ s}$.

[SD005](#)

[PN-EN1993-1-2](#)

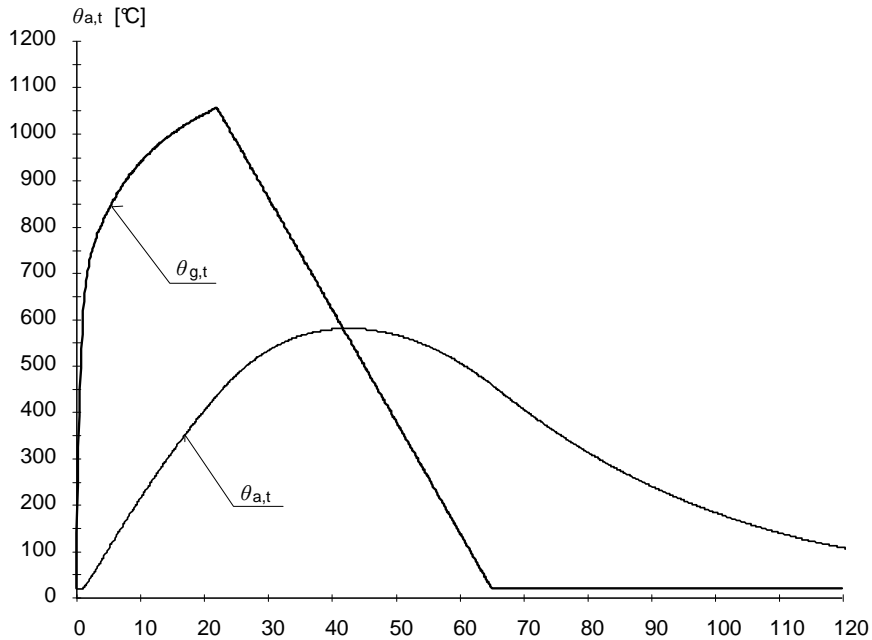
[§ 4.2.5.2](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX047a-PL-EU</i>	Strona	6 z 9
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Temperatura stali i gazu pokazana jest w Tablicy 1 i na Rys.4.

Tablica 1: Obliczenie temperatury stali

min	sec	t^* hour	θ_g °C	c_a J/kg°C	\varnothing	$\Delta\theta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
	0	0	20,0	440			20,0
	30	0,04828	420,9	440	0,329	0,0	20,0
1	00	0,09657	594,7	440	0,329	0,0	20,0
1	30	0,14485	676,8	440	0,329	4,3	24,3
2	00	0,19313	721,4	443	0,327	8,7	33,1
2	30	0,24142	750,3	449	0,323	10,5	43,5
3	00	0,28970	772,1	456	0,318	11,2	54,7
40	30	3,91095	610,4	738	0,196	0,7	581,1
41	00	3,95923	598,3	739	0,196	0,6	581,6
41	30	4,00752	586,2	740	0,196	0,4	582,1
42	00	4,05580	574,2	740	0,196	0,3	582,3
42	30	4,10408	562,1	740	0,196	0,1	582,5
43	00	4,15237	550,0	741	0,196	0,0	582,5
43	30	4,20065	538,0	741	0,196	-0,1	582,4
44	00	4,24893	525,9	741	0,196	-0,2	582,1
44	30	4,29722	513,8	740	0,196	-0,4	581,8
45	00	4,34550	501,7	740	0,196	-0,5	581,3
45	30	4,39378	489,7	739	0,196	-0,6	580,6
46	00	4,44207	477,6	739	0,196	-0,8	579,9
58	00	5,60087	187,9	690	0,210	-3,6	525,8
58	30	5,64915	175,8	687	0,211	-3,7	522,1
59	00	5,69743	163,8	684	0,212	-3,8	518,3
59	30	5,74572	151,7	681	0,213	-3,9	514,3
60	00	5,79400	139,6	678	0,214	-4,0	510,3
60	30	5,84228	127,6	674	0,215	-4,2	506,1

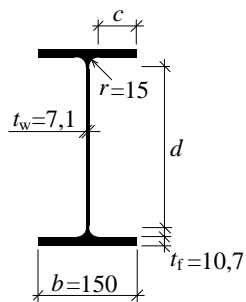


Rys. 4: Krzywe temperatura-czas stali i gazu


Maksymalna temperatura osiągnięta przy działaniu pożaru parametrycznego wynosi $\theta_{a,\max} = 582^{\circ}\text{C}$.

Weryfikacja w dziedzinie nośności

Klasyfikacja przekroju w podwyższonej temperaturze



Rys. 5: Klasyfikacja przekroju

	Dokument Ref:	SX047a-PL-EU	Strona	8 z 9
	Tytuł	Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	Z. Sokol	Data	styczeń 2006
	Sprawdził	F. Wald	Data	styczeń 2006

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.

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.

Współczynnik redukcyjny w temperaturze $\theta_a = 582^\circ\text{C}$ wynosi:

$$k_{y,\theta} = 0,525$$

Nośności obliczeniowa przekroju podczas działania pożaru jest określona jako:

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

Współczynnik przystosowania

$$\kappa_1 = 0,85$$

w przypadku belki osłoniętej z trzech stron.

i współczynnik przystosowania


$$\kappa_2 = 1,0$$

uwzględnia schemat statyczny (belka swobodnie podparta).

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.2](#)

[PN-EN 1993-1-2 §3.2.1](#)
[SD003](#)

[PN-EN1993-1-2 §4.2.3.3\(3\)](#)

	Dokument Ref:	<i>SX047a-PL-EU</i>	Strona	9 z 9
	Tytuł	<i>Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu			
	WYkonał	<i>Z. Sokol</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>
	Sprawdził	<i>F. Wald</i>	Data	<i>styczeń 2006</i>

Nośność obliczeniowa przekroju w temperaturze $\theta_a = 582^\circ\text{C}$ wynosi

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{1}{0,85 \cdot 1,0} \cdot \frac{0,525 \cdot 628,4 \cdot 10^3 \cdot 275}{1,0} = 106,7 \text{ kNm} > 48,9 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 0,525 \cdot \frac{2568 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 214,1 \text{ kN} > 26,4 \text{ kN} = V_{fi,Sd} \quad \text{OK}$$

Warunki nośności w sytuacji pożarowej są spełnione.

Porównanie z projektowaniem pożarowym na działanie standardowego pożaru

W przypadku 60 minutowego narażenia na działanie pożaru według standardowej krzywej, wymagana grubość osłony może zostać określona za pomocą materiałów do projektowania dostarczanych przez wytwórcę materiałów osłonowych. Tablice takie opublikowane są w książce „Fire protection for structural steel in buildings”. Zawarte tam tablice do projektowania sporządzone są przy założeniu, że temperatura krytyczna jest nie mniejsza niż 550°C .

Wskaźnik ekspozycji = 188 m^{-1}

Grubość warstwy osłony = 15 mm

[PN-EN1993-1-2](#)
[§ 4.2.3.3](#)

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Przykład: Projektowanie pożarowe osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru		
Odniesienie			
ORYGINAŁ 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:			
Wielka Brytania	G W Owens	SCI	30/6/08
Francja	A Bureau	CTICM	30/6/08
Szwecja	B Uppfeldt	SBI	30/6/08
Niemcy	C Müller	RWTH	30/6/08
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 osłoniętej belki stalowej według parametrycznej krzywej pożaru	
Seria		
Opis*	Przykład ilustruje projektowanie pożarowe swobodnie podpartej belki stalowej. Przepływ ciepła do kształownika jest wyznaczony za pomocą równania dotyczącego elementów osłoniętych, rozwiązywanego metoda przyrostową. Nośność obliczeniowa jest wyznaczona za pomocą prostych modeli obliczeniowych podanych w PN-EN 1993-1-2.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	
Identyfikator*	Nazwa pliku	E:\STEEL\T4718-DFE.doc
Format		Microsoft Office Word; 11 stron; 347kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	
Temat*	Obszar stosowania	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe
Daty	Data utworzenia	11/05/2006
	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		