
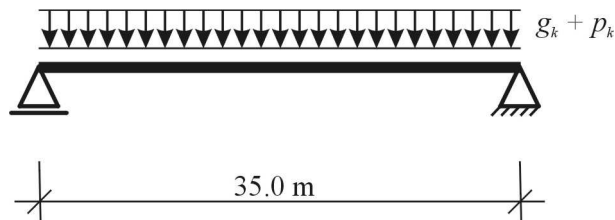


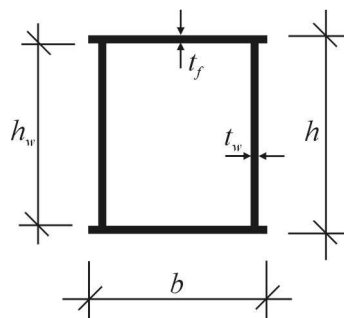
<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b>  	Dokument Ref:	SX036a-PL-EU	Strona	1 z 6
	Tytuł	Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru		
	Dot. Eurokodu	EN 1993-1-2		
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	luty 2005
	Sprawdził	J Chica, Labein	Data	listopad 2005

## Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru

Przykład pokazuje sposób projektowania dźwigara o przekroju skrzynkowym, wykonanego z blach stalowych gatunku S355. Rozpiętość dźwigara wynosi 35 m i jest on częścią konstrukcji dachu składającej się z podobnych elementów rozmieszczonych co 10,0 m na długości budynku. Na dźwigar działa obciążenie równomiernie rozłożone. Założono, że zwichrzenie nie występuje. Dźwigar powinien osiągnąć odporność ogniową R30 bez stosowania elementów osłaniających.



Rys. 1: Schemat statyczny




Rys. 2: Przekrój poprzeczny

### Dane podstawowe

#### Właściwości materiałowe:

Gatunek stali:	S 355
Granica plastyczności:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
Wysokość:	$h = 700 \text{ mm}$
Wysokość środka:	$h_w = 650 \text{ mm}$
Szerokość:	$b = 450 \text{ mm}$
Grubość pasa:	$t_f = 25 \text{ mm}$


<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b> 	Dokument Ref:	<i>SX036a-PL-EU</i>	Strona	<b>2 z 6</b>
	Tytuł	<b>Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzyńkowym w warunkach pożaru</b>		
	Dot. Eurokodu	<b>EN 1993-1-2</b>		
	Wykonał	<b>P Schaumann &amp; T Trautmann</b>	Data	<b>lutym 2005</b>
	Sprawdził	<b>J Chica, Labein</b>	Data	<b>listopad 2005</b>
<p>Grubość środnika: <math>t_w = 25 \text{ mm}</math></p> <p>Pole przekroju poprzecznego pasa: <math>A_f = 11250 \text{ mm}^2</math></p> <p>Pole przekroju poprzecznego środnika: <math>A_w = 16250 \text{ mm}^2</math></p> <p>Ciepło właściwe: <math>c_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}</math></p> <p>Gęstość: <math>\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3</math></p> <p>Emisyjność powierzchni dźwigara: <math>\varepsilon_m = 0,7</math></p> <p>Emisyjność pożaru: <math>\varepsilon_f = 1,0</math></p> <p>Współczynnik konfiguracji: <math>\Phi = 1,0</math></p> <p>Współczynnik przejmowania ciepła: <math>\alpha_c = 25,0 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p> <p>Stała Stefana Boltzmanna: <math>\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>				
<p><b>Obciążenia:</b></p> <p>Oddziaływania stałe:</p> <p>Ciężar dźwigara: <math>g_{a,k} = 4,32 \text{ kN/m}</math></p> <p>Ciężar dachu: <math>g_{r,k} = 5,0 \text{ kN/m}</math></p> <p>Oddziaływania zmienne (nie rozpatrywano działania wiatru):</p> <p>Śnieg: <math>p_{s,k} = 11,25 \text{ kN/m}</math></p>				
<p><b><u>Klasyfikacja przekroju</u></b></p> <p>Użyto zredukowanej wartości <math>\varepsilon</math>, aby uwzględnić wpływ przyrostu temperatury: <math>\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,691</math></p>				
<p><b>Wewnętrzna część ściskana górnego pasa:</b> rozkład naprężeń równomierny</p> <p><math>c = (b - 2 \cdot t_w) = (450 - 2 \times 25) = 400 \text{ mm}</math></p> <p><math>c/t_f = 400 / 25 = 16 \leq 33 \quad \varepsilon = 22,8 \quad \text{Klasa 1}</math></p>				
<p><b>Wewnętrzna część ściskana:</b> środnik przy czystym zginaniu</p> <p><math>c = h - 2 t_f = 700 - 2 \times 25 = 650 \text{ mm}</math></p> <p><math>c / t_w = 650 / 25 = 26 &lt; 72 \quad \varepsilon = 49,7 \quad \text{Klasa 1}</math></p>				
<p><b>Klasa przekroju jest najwyższą klasą (tj. najmniej korzystną) spośród klas pasa i środnika, czyli: Klasa 1</b></p>				

PN-EN  
1991-1-2  
[§3.2.1\(2\)](#)

PN-EN  
1993-1-2  
[§4.2.2](#)

PN-EN  
1993-1-1  
[Tablica 5.2](#)  
(arkusz 1 z 3)

PN-EN  
1993-1-1  
[Tablica 5.2](#)  
(arkusz 1 z 3)

	Dokument Ref:	SX036a-PL-EU	Strona	3 z 6
	Tytuł	Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru		
	Dot. Eurokodu	EN 1993-1-2		
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	luty 2005
	Sprawdził	J Chica, Labein	Data	listopad 2005

## Nośność w warunkach pożaru dźwigara o przekroju skrzynkowym

### Oddziaływania mechaniczne w warunkach oddziaływania pożaru

Oddziaływania mechaniczne wyznaczono jak dla wyjątkowej sytuacji obliczeniowej.

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

Współczynnik  $\psi_{2,1}$  w przypadku obciążenia śniegiem ma wartość  $\psi_{2,1} = 0,0$ . Zatem obliczeniowa wartość momentu zginającego w dźwigarze jest określona jako:

$$M_{fi,d} = [(4,32 + 5,0) + 0,0 \cdot 11 \cdot 25] \cdot \frac{35,0^2}{8} = 1427,1 \text{ kNm}$$

### Obliczenie przyrostu temperatury w stali

Przyrost temperatury w przekroju stalowym jest określony wzorem:

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

gdzie:

$k_{sh}$  jest współczynnikiem poprawkowym uwzględniającym efekt zacienienia ( $k_{sh} = 1,0$ )

$\Delta t$  jest przedziałem czasu ( $\Delta t = 5$  sekund)

$c_a$  jest ciepłem właściwym stali (J/kgK), zależnym od temperatury stali (PN-EN1993-1-2 §3.4.1.2)

$A_m/V$  jest wskaźnikiem ekspozycji przekroju elementu nieosłoniętego.

W przypadku spawanego przekroju skrzynkowego, gdy ( $t \ll b$ ) oraz gdy element jest narażony na działanie pożaru ze wszystkich stron wskaźnik ekspozycji przekroju jest określony jako:

$$A_m/V = 1/t = 1/0,025 = 40 \text{ m}^{-1}$$

Strumień ciepła netto jest obliczony według PN-EN 1991 część1-2.


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

[PN-EN 1991-1-2 §4.3](#)

[PN-EN 1993-1-2 §4.2.5.1](#)

[PN-EN1993-1-2 Tablica 4.2](#)

[PN-EN 1991-1-2 §3.1](#)

<b>ARKUSZ OBLICZENIOWY</b> 	Dokument Ref:	<i>SX036a-PL-EU</i>	Strona	<b>4</b> z <b>6</b>
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru</i>		
	Dot. Eurokodu	<b>EN 1993-1-2</b>		
	Wykonał	<i>P Schaumann &amp; T Trautmann</i>	Data	<i>luty 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica, Labein</i>	Data	<i>listopad 2005</i>

Krzywa standardowa temperatura-czas została użyta do wyznaczenia temperatury gazu.

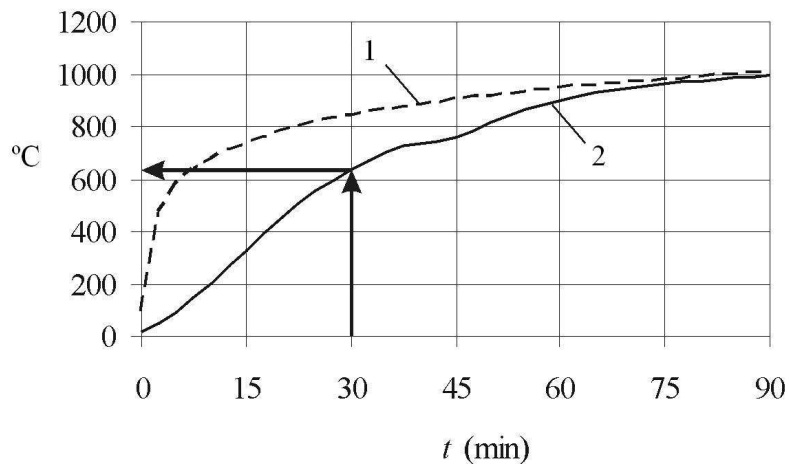
$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad t \text{ (w minutach),}$$

Wyznaczenie temperatury stali wykonano w sposób przyrostowy, biorąc pod uwagę odpowiedni strumień ciepła netto i ciepło właściwe odpowiednie dla każdego przyrostu czasu. Tablica poniżej podaje zestawienie wyników przy pierwszych kilku rozpatrywanych przyrostach temperatury.:

Tablica 1. Wyznaczenie temperatury stali (pierwsze pięć przyrostów temperatury)

$t$ (s)	$t$ (min)	$\theta_a$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$c_a$	$h_{net}$ (W/m <sup>2</sup> )	$\Delta\theta_a$
0	0,00	20,00	20,00	439,8	0,0	0,00
5	0,08	20,00	96,54	439,8	2361,68	0,00
10	0,17	20,14	146,95	439,9	4112,95	0,14
15	0,25	20,38	184,61	440,1	5553,87	0,24
20	0,33	20,70	214,67	440,3	6801,18	0,32

Krzywa temperatura-czas skrzynkowego dźwigara stalowego pokazana jest na Rys. 3:



Legenda:


- 1 – Temperatura gazu
- 2 – Temperatura stali

**Rys. 3:** Krzywa temperatura-czas dźwigara skrzynkowego

$$\Rightarrow \theta_{a,max,30} = 646 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Weryfikacja w dziedzinie temperatury

PN-EN  
1991-1-2  
[§3.2.1](#)

	Dokument Ref:	SX036a-PL-EU	Strona	5 z 6
	Tytuł	Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru		
	Dot. Eurokodu	EN 1993-1-2		
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	luty 2005
	Sprawdził	J Chica, Labein	Data	listopad 2005

Aby wyznaczyć wskaźnik wykorzystania nośności, jest potrzebna obliczeniowa nośność przy zginaniu podczas działania pożaru w czasie  $t = 0$ .

$$\begin{aligned}
 M_{fi,Rd,0} &= W_{pl} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta,max} / \gamma_{M,fi} \\
 &= 12875000 \cdot 355 \cdot \frac{1,0}{1,0} \cdot 10^{-6} \\
 &= 4570,6 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

gdzie:

$$\begin{aligned}
 k_{y,\theta,max} &= 1,0 && \text{dla } \theta = 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ w czasie } t = 0 \\
 \gamma_{M,fi} &= 1,0
 \end{aligned}$$

oraz:

$$\begin{aligned}
 W_{pl} &= 2 \cdot \left( \frac{2 \cdot A_w}{2} \cdot \frac{h_w}{4} + A_f \cdot \frac{h - t_w}{2} \right) \\
 &= 2 \cdot \left( 16250 \cdot \frac{650}{4} + 11250 \cdot \frac{700 - 25}{2} \right) = 12875000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Wskaźnik wykorzystania nośności jest wyznaczony jako:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} = M_{fi,d} / M_{fi,Rd,0} = 1427,1 / 4570,6 = 0,31$$

Temperatura krytyczna  $\theta_{a,cr}$  jest podana w Tabelicy 4.1 normy PN-EN 1993-1-2 jako:

$$\theta_{a,cr} = 659 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sprawdzenie nośności:

$$\frac{646}{659} = 0,98 < 1 \quad \checkmark$$

### Weryfikacja w dziedzinie nośności


Przekrój spełnia wymagania jak dla klasy 1, więc zastosowano odpowiednie dla tej klasy warunki nośności. Podane są one w PN-EN 1993-1-2 §4.2.3.3

W celu wyznaczenia nośności przy zginaniu należy wyznaczyć współczynnik redukcyjny  $k_{y,\theta}$  dla temperatury  $\theta_{a,max,30} = 646 \text{ }^\circ\text{C}$ . Współczynnik ten podany jest w Tabelicy 3.1 normy PN-EN 1993-1-2:

$$k_{y,\theta} = 0,360$$

PN-EN  
1993-1-2  
[§4.2.4](#)

PN-EN  
1993-1-2  
[§4.2.4](#)

	Dokument Ref:	SX036a-PL-EU	Strona	6 z 6
	Tytuł	Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru		
	Dot. Eurokodu	EN 1993-1-2		
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	luty 2005
	Sprawdził	J Chica, Labein	Data	listopad 2005

Dodatkowo wyznaczyć należy współczynniki przystosowania  $\kappa_1$  oraz  $\kappa_2$ .

Współczynnik przystosowania  $\kappa_1$  uwzględnia nierównomierny rozkład temperatury w przekroju.

**Tablica 2. Współczynnik przystosowania  $\kappa_1$**

	$\kappa_1$
Belka narażona na pożar z czterech stron	1,0
Belka nieosłonięta narażona na pożar z trzech stron i stykająca się z płytą stropową (żelbetową) po stronie czwartej	0,7
Belka osłonięta z trzech stron i stykająca się z płytą stropową (żelbetową) po stronie czwartej	0,85

Rozważany w przykładzie dźwigar jest belka nieosłonięta, narażona na pożar z czterech stron. Zatem  $\kappa_1$  ustalono jako:

$$\kappa_1 = 1,0$$

Współczynnik przystosowania  $\kappa_2$  uwzględnia nierównomierny rozkład temperatury na długości elementu.

**Tablica 3. Współczynnik przystosowania  $\kappa_2$**

	$\kappa_2$
Na podporach belek statycznie niewyznaczalnych	0,85
We wszystkich pozostałych przypadkach	1,0

Sprawdzenie nośności odbywa się dla przekroju przęsłowego dźwigara, który jest statycznie wyznaczalny. Więc współczynnik przystosowania  $\kappa_2$  ustalono jako:

$$\kappa_2 = 1,0$$

Zatem obliczeniową nośność przy zginaniu obliczona jest jako:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{pl,Rd,20^\circ C} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2}$$

$$= (12875000 \cdot 355 / 1,0) \cdot 0,36 \cdot \frac{1,0}{1,0} \cdot \frac{1}{1,0 \cdot 1,0} \cdot 10^{-6} = 1645,4 \text{ kNm}$$

Sprawdzenie nośności:

$$\frac{1427,1}{1645,4} = 0,87 < 1 \quad \checkmark$$

PN-EN  
1993-1-2  
[§4.2.3.3](#)

## Protokół jakości

<b>TYTUŁ ZASOBU</b>	Przykład: Nośność spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym 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	02/2005
<b>Zawartość techniczna sprawdzona przez</b>	J. A. Chica	LABEIN	24/11/2005
<b>Zawartość redakcyjna sprawdzona przez</b>	J. A. Chica	LABEIN	24/11/2005
<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 spawanego dźwigara o przekroju skrzynkowym w warunkach pożaru	
<b>Seria</b>		
<b>Opis*</b>	Przykład pokazuje sposób projektowania dźwigara o przekroju skrzynkowym, wykonanego z blach stalowych gatunku S355. Rozpiętość dźwigara wynosi 35 m i jest on częścią konstrukcji dachu składającej się z podobnych elementów rozmieszczonych co 10,0 m na długości budynku. Na dźwigar działa obciążenie równomiernie rozłożone. Założono, że zwirzenie nie występuje. Dźwigar powinien osiągnąć odporność ogniową R30 bez stosowania elementów osłaniających.	
<b>Poziom dostępu*</b>	Umiejętności specjalistyczne	Specjalista
<b>Identyfikator*</b>	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SX\31-40\SX036a-PL-EU.doc
<b>Format</b>	Microsoft Office Word; 9 stron; 312kb;	
<b>Kategoria*</b>	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
<b>Temat*</b>	Obszar stosowania	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe
<b>Daty</b>	Data utworzenia	15/05/2009
	Data ostatniej modyfikacji	24/11/2005
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
<b>Język(i)*</b>		
<b>Kontakt</b>	Autor	P Schaumann & T Trautmann, University of Hannover – Institute for Steel Construction
	Sprawdził	J. A. Chica, LBEIN
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
<b>Słowa kluczowe*</b>	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, odpowiedź cieplna, odpowiedź mechaniczna, nośność w warunkach pożaru, dźwigar, przekrój skrzynkowy	
<b>Zobacz też</b>	Odniesienie do Eurokodu	EN 1993-1-2
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
<b>Sprawozdanie</b>	Przydatność krajowa	Europa



Instrukcje szczególne	
--------------------------	--