
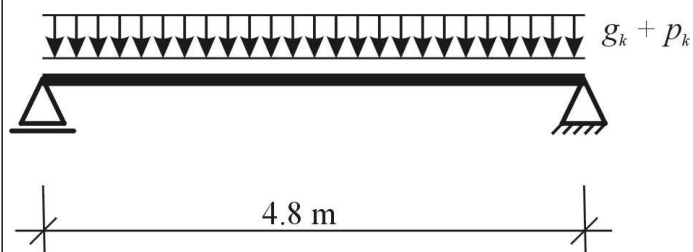


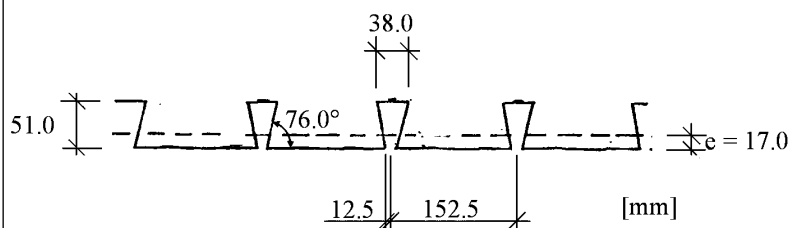
ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	SX037a-PL-EU	Strona	1 z 8
	Tytuł	Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	luty 2005
	Sprawdził	J Chica, LBEIN	Data	listopad 2005

Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2

Przykład pokazuje sprawdzenie nośności płyty zespolonej w warunkach pożaru. Płyta jest elementem konstrukcji w budynku handlowym i jej rozpiętość wynosi 4,8 m. Płytę zaprojektowano jako szereg płyt swobodnie podpartych. Wymagana nośność ogniowa płyty to R90. Przykład ilustruje zastosowanie metody podanej w Załączniku D PN-EN 1994-1-2.



Rys. 1.1 Schemat statyczny



Rys. 1.2 Blacha profilowana

Dane podstawowe

Właściwości materiałowe:

Blacha profilowana:

Konserwatywnym założeniem jest pominięcie udziału blachy profilowanej w nośności płyty zespolonej przy zginaniu. W rozpatrywanym przykładzie udział blachy profilowanej uwzględniono w obliczeniach.

PN-EN1994-1-2 §D.3(1)

Granica plastyczności: $f_{yp} = 350 \text{ N/mm}^2$

Pole przekroju poprzecznego: $A_p = 1562 \text{ mm}^2 / \text{m}$


Beton:

Klasa wytrzymałości: C 25/30

Wytrzymałość na ściskanie: $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$

Grubość płyty: $h_t = 140 \text{ mm}$

Pole przekroju poprzecznego: $A_c = 131600 \text{ mm}^2 / \text{m}$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX037a-PL-EU</i>	Strona	2 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Data	<i>luty 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica, LABEIN</i>	Data	<i>listopad 2005</i>

Obciążenia:

Oddziaływania stałe:

Ciężar blachy profilowanej: $g_{p,k} = 0,13 \text{ kN/m}^2$

Ciężar betonu: $g_{c,k} = 3,29 \text{ kN/mm}^2$

Ciężar warstw wykończenia: $g_{f,k} = 1,2 \text{ kN/m}^2$

Oddziaływania zmienne:

Obciążenie użytkowe: $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Obliczeniowa wartość momenty zginającego w przęśle, w temperaturze atmosferycznej: $M_{s,d} = 39,56 \text{ kNm/m}$

Oddziaływania mechaniczne podczas pożaru

Obciążenie wyznaczone jest za pomocą kombinacji obciążeń, jak dla [PN-EN1991-1-2 §4.3](#)

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

Według PN-EN 1994-1-2, oddziaływania E_d mogą zostać zredukowane za pomocą współczynnika redukcyjnego η_{fi} . Wyznacza się jako: [PN-EN1994-1-2 §2.4.2](#)


$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} = \frac{(0,13 + 3,29 + 1,2) + 0,6 \times 5,0}{1,35 \times (0,13 + 3,29 + 1,2) + 1,5 \times 5,0} = 0,55$$

Korzystając z η_{fi} obliczeniowa wartość momenty zginającego $M_{fi,d}$ może zostać obliczona jako:

$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{sd} = 0,55 \times 39,56 = 21,94 \text{ kNm/m}$$

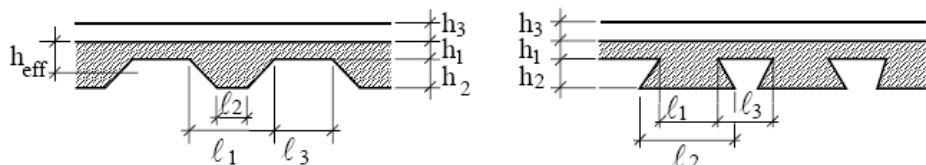
Nośność w warunkach pożaru płyty zespolonej

Zachowanie się płyty zespolonej w warunkach pożaru może zostać ocenione w kryteriach nośności, sposobu osłonięcia lub integralności. Kryteria integralności nie mogą zostać wyznaczone rachunkowo, lecz normy pozwalają na przyjęcie założenia, że konstrukcja zespolona będzie spełniać kryteria integralności. Kryteria nośności są sprawdzane na podstawie nośności obliczeniowej przy zginaniu, którą oblicza się stosując ogólne zasady podane w rozdziale 4.3 PN-EN1994-1-2. Skutek oddziaływań cieplnych w przypadku standardowych odporności ogniowych może być obliczany według Załącznika D. Odporność ogniowa z uwagi na izolacyjność termiczną może być także szacowana przy pomocy użyciu Załącznika D.1.

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX037a-PL-EU</i>	Strona	3 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Data	<i>luty 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica, LBEIN</i>	Data	<i>listopad 2005</i>

Parametry geometryczne i zakres stosowania

Procedura obliczeniowa podana w Załączniku D posiada ograniczony zakres stosowania. Przed wykonaniem obliczeń należy sprawdzić, czy stosowanie zapisów zawartych w Załączniku jest możliwe.



Rys. 1.3 *Kształt przekroju poprzecznego*

$$h_1 = 89 \text{ mm} \quad h_2 = 51 \text{ mm}$$

$$l_1 = 115 \text{ mm} \quad l_2 = 140 \text{ mm} \quad l_3 = 38 \text{ mm}$$

Tablica 1.1 *Zakres stosowania do zespolonych płyt zespolonych wykonanych z betonu zwykłego i niezabezpieczonych blach profilowanych*

Zakres stosowania dla szalunku ze stalowej blachy o wklęsłych narożach [mm]	Istniejące parametry geometryczne [mm]
$77,0 \leq l_1 \leq 135,0$	$l_1 = 115,0$
$110,0 \leq l_2 \leq 150,0$	$l_2 = 140,0$
$38,5 \leq l_3 \leq 97,5$	$l_3 = 38,0$
$50,0 \leq h_1 \leq 130,0$	$h_1 = 89,0$
$30,0 \leq h_2 \leq 60,0$	$h_2 = 51,0$

Zakres stosowania Załącznika D obejmuje rozpatrywany przypadek.

Izolacyjność termiczna


Kryterium „I” izolacyjności ogranicza dozwolony przyrost temperatury na powierzchni nie narażonej na pożar. Zgodnie z kryterium izolacyjności, przyrost temperatury na powierzchni płyty nie powinien przekroczyć średniej wartości 140 °C lub maksymalnej wartości 180 °C.

Weryfikację przeprowadza się w dziedzinie czasu, jak następuje:

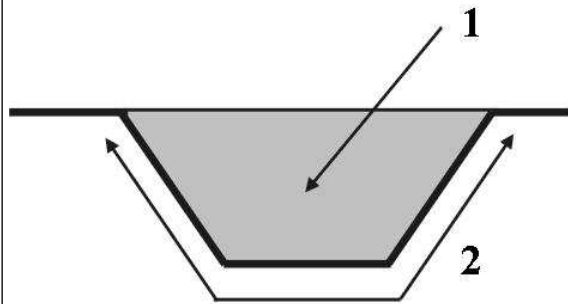
$$t_i = a_0 + a_1 h_1 + a_2 \phi + a_3 \frac{A}{L_r} + a_4 \frac{1}{l_3} + a_5 \frac{A}{L_r l_3}$$

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

[PN-EN 1994-1-2](#)
[§D.1](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX037a-PL-EU</i>	Strona	4 z 8	
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2</i>			
	Dot. Eurokodu				
	Wykonał	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Data	<i>luty 2005</i>	
	Sprawdził	<i>J Chica, LBEIN</i>	Data	<i>listopad 2005</i>	

Współczynnik geometrii żebra A/L_T jest równoważny do wskaźnika ekspozycji A_p/V w przypadku belek. Współczynnik uwzględnia korzystny wpływ masy i wysokości na nagrzewanie się płyty.



Legenda: 1. Pole powierzchni: A
2. Powierzchnia nagrzewana: O

Rys. 1.4 Definicja współczynnika geometrii żebra

$$\frac{A}{L_T} = \frac{h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right)}{l_2 + 2 \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2}} = \frac{52 \times \left(\frac{115 + 140}{2} \right)}{140 + 2 \sqrt{51^2 + \left(\frac{115 - 140}{2} \right)^2}} = 27 \text{ mm}$$

Współczynnik konfiguracyjny Φ uwzględnia efekt zacienienia na górnej półce od żebra.


$$\phi = \frac{\left[\sqrt{h_2^2 + \left(l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} \right]}{l_3}$$

$$= \frac{\left[\sqrt{51^2 + \left(38 + \frac{115 - 140}{2} \right)^2} - \sqrt{51^2 + \left(\frac{115 - 140}{2} \right)^2} \right]}{38} = 0,119$$

Współczynniki a_i w przypadku betonu zwykłego są podane w Tablicy 1.2:

Tablica 1.2 Współczynniki do wyznaczenia odporności ogniowej w odniesieniu do izolacyjności termicznej (por. PN-EN 1994-1-2, Załącznik D, Tablica D.1)

	a_0 [min]	a_1 [min/mm]	a_2 [min]	a_3 [min/mm]	a_4 [mm-min]	a_5 [min]
Beton zwykły	-28.8	1.55	-12.6	0.33	-735	48.0
Beton lekki	-79.2	2.18	-2.44	0.56	-542	52.3

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX037a-PL-EU</i>	Strona	5 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Data	<i>luty 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica, LBEIN</i>	Data	<i>listopad 2005</i>

Korzystając z tych współczynników, wartość t_i jest obliczona jako:

$$t_i = (-28,8) + 1,55 \times 89 + (-12,6) \times 0,119 + 0,33 \times 27 + (-735) \times \frac{1}{38} + 48 \times 27 \times \frac{1}{38}$$

$$t_i = 131,48 \text{ min} > 90 \text{ min} \quad \checkmark \text{ Warunek jest spełniony z zapasem}$$

Skutek oddziaływań od pożaru

W przypadku standardowych odporności ogniowych Załącznik D może być użyty w celu wyznaczenia temperatury poszczególnych części przekroju poprzecznego, takich jak stalowe deskowanie, pręty zbrojenia i płyta betonowa.

Aby otrzymać współczynniki redukcyjne $k_{y,0}$ dla półki górnej, środknika i półki dolnej, należy wyznaczyć ich temperaturę. Można określić ją z zależności:

$$\theta_a = b_0 + b_1 \frac{1}{l_3} + b_2 \frac{A}{L_r} + b_3 \phi + b_4 \phi^2$$

Współczynniki b_i wyznacza się korzystając z Tablicy 1-3:

Tablica 1-3 Współczynniki do wyznaczania temperatury części stalowego szalunku (por. PN-EN 1994-1-2, Załącznik D, Tablica D.2)


Beton	Odporność ogniowa [min]	Część blachy stalowej	b_0 [°C]	b_1 [°C·mm]	b_2 [°C/mm]	b_3 [°C]	b_4 [°C]
Beton zwykły	60	Dolna półka	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Środek	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Górna półka	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Dolna półka	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Środek	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Górna półka	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
120	Dolna półka	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8	
	Środek	925	-949	-1,82	344,2	-267,4	
	Górna półka	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0	

Temperatury poszczególnych części blachy są następujące:

Dolna półka:

$$\theta_{a,1} = 1018 - 839 \frac{1}{38} - 1,55 \times 27 + 65,1 \times 0,119 - 108,1 \times 0,119^2 = 960,29 \text{ °C}$$

[PN-EN 1994-1-2 §D.2](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX037a-PL-EU</i>	Strona	6 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Data	<i>luty 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica, LBEIN</i>	Data	<i>listopad 2005</i>

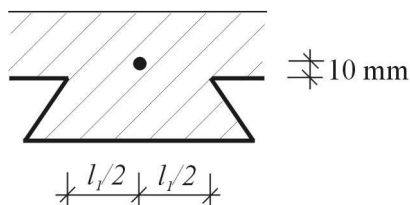
Środek:

$$\theta_{a,w} = 816 - 959 \frac{1}{38} - 2,21 \times 27 + 464,9 \times 0,119 - 340,2 \times 0,119^2 = 781,60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Górna półka:

$$\theta_{a,1} = 618 - 2786 \frac{1}{38} - 1,79 \times 27 + 767,9 \times 0,119 - 472,0 \times 0,119^2 = 580,87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aby uzyskać żadaną nośność w warunkach pożaru, należy umieścić pręty zbrojenia, których wpływu na nośność w temperaturze otoczenia nie uwzględnia się. Przyjęto jeden pręt $\varnothing 10$ mm w każdym żebrze płyty. Usytuowanie pręta pokazano na Rys. 1.5.



Rys. 1.5 Usytuowanie pręta zbrojenia

Temperaturę prętów zbrojenia można określić z zależności:

$$\theta_5 = c_0 + c_1 \frac{u_3}{h_2} + c_2 z + c_3 \frac{A}{L_r} + c_4 \alpha + c_5 \frac{1}{l_3}$$

gdzie:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}}$$


$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{l_2/2}} + \frac{1}{\sqrt{l_2/2}} + \frac{1}{\sqrt{h_2 + 10}} \text{ (w przybliżeniu)}$$

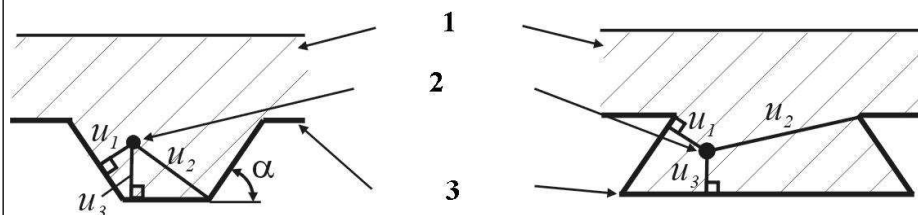
$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{70}} + \frac{1}{\sqrt{70}} + \frac{1}{\sqrt{61}}$$

$$\frac{1}{z} = 0,367$$

Zatem:

$$z = 2,72$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	SX037a-PL-EU	Strona	7 z 8
	Tytuł	Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	P Schaumann & T Trautmann	Data	luty 2005
	Sprawdził	J Chica, LABEIN	Data	listopad 2005



Legenda: 1. Beton
2. Pręt zbrojenia
3. Blacha stalowa

Rys. 1.6 Definicja odległości u_1 , u_2 , u_3 oraz kąta α

Współczynniki c_i dla przypadku betonu zwykłego są podane w Tabelicy 1.4:

Tablica 1.4 Współczynniki do wyznaczania temperatury prętów zbrojeniowych w żebrze (por. PN-EN 1994-1-2, Załącznik D, Tablica D.3)

Beton	Odporność ogniowa [min]	c_0 [°C]	c_1 [°C]	c_2 [°C/mm ^{0.5}]	c_3 [°C/mm]	c_4 [°C/°]	c_5 [°C]
Beton zwykły	60	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925
	90	1342	-256	-235	-5,30	1,39	-1267
	120	1387	-238	-227	-4,79	1,68	-1326

Korzystając z tych współczynników, temperatura pręta zbrojeniowego wynosi:

$$\theta_5 = 1342 + (-256) \frac{61}{51} + (-235) \times 2,72 + (-5,30) \times 27 + 1,39 \times 104 + (1267) \frac{1}{38}$$

$$\theta_5 = 364,19^\circ\text{C}$$

Weryfikacja nośności

Nośność plastyczna przy zginaniu może zostać wyznaczona korzystając z zależności:


$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i z_i k_{y,\theta,i} \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi}} \right) + \alpha_{slab} \sum A_j z_j k_{c,\theta,j} \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,fi,c}} \right)$$

Dla przypadku blachy stalowej, współczynniki redukcyjne $k_{y,\theta,i}$ są podane w PN-EN1993-1-2. Dla prętów zbrojenia współczynniki redukcyjne są podane w PN-EN1994-1-2 Tablica 3.4, ponieważ pręty zbrojenia są obrabiane na zimno.

Teraz może zostać obliczona nośność każdej z części blachy stalowej i prętów zbrojenia.

[PN-EN1994-1-2 §4.3.1](#)

[PN-EN1993-1-2 Tablica E.1](#)

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument Ref:	<i>SX037a-PL-EU</i>	Strona	8 z 8
	Tytuł	<i>Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2</i>		
	Dot. Eurokodu			
	Wykonał	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Data	<i>lutym 2005</i>
	Sprawdził	<i>J Chica, LABEIN</i>	Data	<i>listopad 2005</i>

Tablica 1.5 *Współczynniki redukcyjne i nośności (3)*

	Temperatura θ_i [°C]	Współczynnik redukcyjny $k_{y,\theta i}$ [-]	Przekrój części A_i [mm ²]	$f_{y,i}$ [N/mm ²]	Z_i [kN]
Dolna półka	960	0,038	120,4	350	1,60
Środek	782	0,081	90,4	350	2,56
Górna półka	581	0,344	32,7	350	3,94
Zbrojenie	364	0,930	79,0	500	36,72

Plastyczna oś obojętna jest wyznaczona korzystając z warunków równowagi sił poziomych. Warunek rozpatrzono dla pojedynczego żebra ($b = l_1 + l_2$).

$$z_{pl} = \frac{\sum Z_i}{\alpha_{slab}(l_1 + l_2)f_c} = \frac{1,60 + 2,56 + 3,94 + 36,72}{0,85 \times (115 + 38) \times 25 \times 10^{-3}} = 13,79 \text{ mm}$$

Plastyczną nośność przy zginaniu wyznaczono jako:

Tablica 1.6 *Obliczenie plastycznej nośności przy zginaniu jednego żebra*

	Z_i [kN]	z_i [m]	M_i [kNm]
Dolna półka	1,60	0,140	0,22
Środek	2,56	$0,14 - 0,051 / 2 = 0,1145$	0,29
Górna półka	3,94	$0,14 - 0,051 = 0,089$	0,35
Zbrojenie	36,72	$0,14 - 0,051 - 0,010 = 0,079$	2,90
Beton	-50,17	$0,01379 / 2 = 0,0069$	-0,35
			$\Sigma 3,42$

Biorąc nośność plastyczną jednego żebra $M_{pl,rib} = 3,42$ kNm oraz jego szerokość $w_{rib} = 0,152$ m, nośność plastyczna płyty zespolonej przy zginaniu wynosi:

$$M_{fi,Rd} = 3,42 / 0,152 = 22,51 \text{ kNm/m}$$

Sprawdzenie nośności:

$$\frac{21,94}{22,51} = 0,97 < 1 \quad \checkmark$$

Warunki nośności dla odporności ogniowej (R), wynoszącej 90 minut są spełnione.

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

[Tablica E.1](#)

[PN-EN1994-1-2](#)

[Tablica 3.4](#)

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2		
Odniesienie			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	P Schaumann & T Trautmann	University of Hannover – Institute for Steel Construction	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	J Chica, LBEIN		
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	9/6/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	9/6/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	9/6/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	9/6/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	9/6/06
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	M Haller	PARE	9/6/06
Stworzony przez	G W Owens	SCI	12/9/06
TŁUMACZENIE DOKUMENTU			
Tłumaczenie wykonał i sprawdził:	L. Ślęczka, PRz		
Tłumaczenie zatwierdzone przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Nośność płyty zespolonej w warunkach pożaru według PN-EN 1994-1-2	
Seria		
Opis*	Przykład pokazuje sprawdzenie nośności płyty zespolonej w warunkach pożaru. Płyta jest elementem konstrukcji w budynku handlowym i jej rozpiętość wynosi 4,8 m. Płyte zaprojektowano jako szereg płyt swobodnie podpartych. Wymagana nośność ogniowa płyty to R90. Przykład ilustruje zastosowanie metody podanej w Załączniku D PN-EN 1994-1-2.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	Specjalista
Identyfikator*	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SX\31-40\SX037a-PL-EU.doc
Format	Microsoft Office Word; 11 stron; 483kb;	
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
Temat*	Obszar stosowania	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe
Daty	Data utworzenia	16/05/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*	Polski	
Kontakt	Autor	P Schaumann & T Trautmann, University of Hannover – Institute for Steel Construction
	Sprawdził	J Chica, LBEIN, University of Hannover – Institute for Steel Construction
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Projektowanie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, odpowiedź termiczna, odpowiedź mechaniczna, nośność pożarowa, płyta zespolona	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
Sprawozdanie	Przydatność krajowa	Europa
Instrukcje szczególne		