
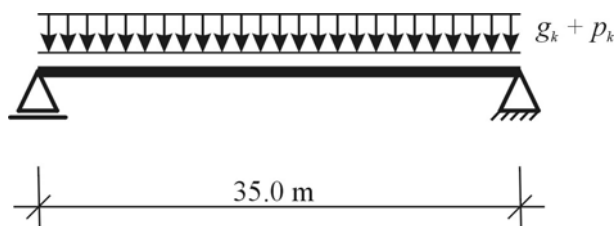


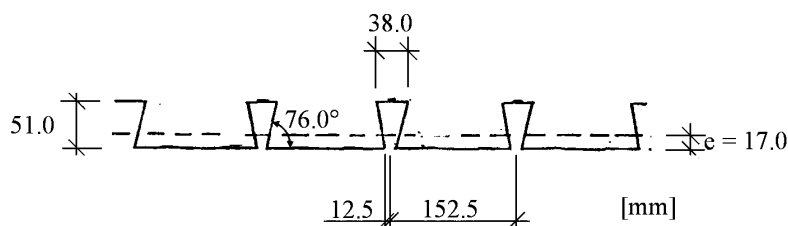
<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX037a-CZ-EU	Strana	1 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2

V řešeném příkladu je plechobetonová deska navržena na účinky požáru. Deska, která tvoří stropní konstrukci nákupního centra, je navržena jako řada prostých nosníků o rozpětí 4,8 m. Požaduje se požární odolnost desky R90. Počítá se podle normy EN1994-1-2, příloha D.



Obrázek 1: Statické schéma



Obrázek 2: Rozměry trapézového plechu

Vstupní údaje

Materiálové vlastnosti:

Trapézový plech:

Vliv trapézového plechu na momentovou únosnost je možno zanedbat (konzervativní řešení). V tomto příkladu je vliv plechu započítán do únosnosti.

Mez kluzu: $f_{yp} = 350 \text{ N/mm}^2$

Plocha průřezu: $A_p = 1562 \text{ mm}^2 / \text{m}$

Beton:


Třída betonu: C 25/30


Pevnost v tlaku: $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$

Tloušťka: $h_t = 140 \text{ mm}$

Průřezová plocha: $A_c = 131600 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

[EN 1994-1-2 §D.3\(1\)](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX037a-CZ-EU</i>	Strana	2 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006
<p>Zatížení:</p> <p>Stálé zatížení:</p> <p>Plech: $g_{p,k} = 0,13 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Beton: $g_{c,k} = 3,29 \text{ kN/mm}^2$</p> <p>Podlaha: $g_{f,k} = 1,2 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Nahodilé zatížení:</p> <p>Užitné zatížení: $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Ohybový moment při běžné teplotě</p> <p style="text-align: right;">$M_{s,d} = 39,56 \text{ kNm/m}$</p> <p>Zatížení:</p> <p>Stálé zatížení:</p> <p>Plech: $g_{p,k} = 0,13 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Beton: $g_{c,k} = 3,29 \text{ kN/mm}^2$</p> <p>Podlaha: $g_{f,k} = 1,2 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Nahodilé zatížení:</p> <p>Užitné zatížení: $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Ohybový moment při běžné teplotě</p> <p style="text-align: right;">$M_{s,d} = 39,56 \text{ kNm/m}$</p> <p>Zatížení při požáru</p> <p>Pro zatížení při požáru je použita mimořádná kombinace zatížení EN1991-1-2 §4.3</p> $E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$ <p>Podle normy EN 1994-1-2 se účinek zatížení při požáru odvodí z účinku při běžné teplotě E_d přenásobený součinitelem η_{fi}. Součinitel η_{fi} je definován jako: EN1994-1-2 §2.4.2</p> $\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} = \frac{(0,13 + 3,29 + 1,2) + 0,6 \times 5,0}{1,35 \times (0,13 + 3,29 + 1,2) + 1,5 \times 5,0} = 0,55$				

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX037a-CZ-EU</i>	Strana	3 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

S použitím součinitele η_{fi} se určí ohybový moment při požáru $M_{fi,d}$:

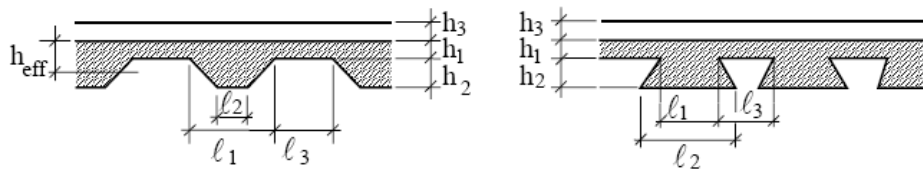
$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{sd} = 0,55 \times 39,56 = 21,94 \text{ kNm/m}$$

Požární odolnost plechobetonové desky

Pro plechobetonovou desku se posuzuje únosnost, celistvost a tepelná izolace. Celistvost desky nelze ověřit výpočtem, ale norma předpokládá, že železobetonová deska požadavkům na celistvost vyhoví. Pro ověření únosnosti desky se posoudí momentová únosnost, která se vypočte podle zásad v EN1994-1-2, odstavec 4.3. Teplota průřezu pro ohřívání podle normové teplotní křivky se určí podle pravidel v příloze D. Kriterium tepelné izolace se ověří podle zásad v příloze D.1.

Rozměry a rozsah platnosti modelu

Návrhový model v příloze D má omezený rozsah platnosti, proto se před zxpočítáním výpočtu přesvědčíme, že deska splňuje podmínky pro použití tohoto modelu.



Obrázek 3: Rozměry průřezu


$$\begin{aligned}
 h_1 &= 89 \text{ mm} & h_2 &= 51 \text{ mm} \\
 l_1 &= 115 \text{ mm} & l_2 &= 140 \text{ mm} & l_3 &= 38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabulka 1. Rozsah platnosti modelu a rozměry plechobetonové desky

Rozsah platnosti [mm]	Rozměry desky [mm]
$77,0 \leq l_1 \leq 135,0$	$l_1 = 115,0$
$110,0 \leq l_2 \leq 150,0$	$l_2 = 140,0$
$38,5 \leq l_3 \leq 97,5$	$l_3 = 38,0$
$50,0 \leq h_1 \leq 130,0$	$h_1 = 89,0$
$30,0 \leq h_2 \leq 60,0$	$h_2 = 51,0$

Rozměry desky splňují omezení přílohy D.

[EN 1994-1-2 příloha D.5](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX037a-CZ-EU	Strana	4 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Tepelná izolace

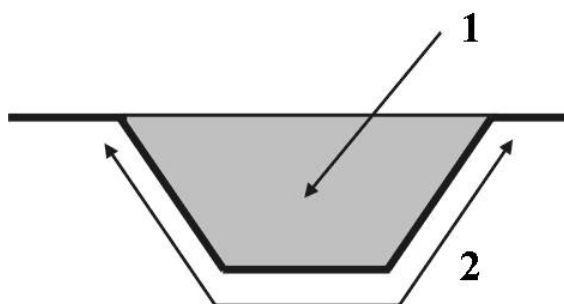
Kriterium tepelné izolace "I" předepisuje maximální teplotu na povrchu, který není vystaven účinkům požáru. Je požadováno, aby průměrná teplota na horním povrchu desky nepřekročila 140°C a maximální teplota nesmí překročit 180°C.

[EN 1994-1-2 §D.1](#)

Ověření se provede následujícím způsobem:

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


Součinitel tvaru žebra A/L_r odpovídá součiniteli průřezu A_p/V používaného pro ocelové průřezy. Součinitel zohledňuje hmotu průřezu a jeho výšku na ohřívání desky.



Legenda: 1. Plocha: A
2. Povrch vystavený požáru: O

Obrázek 4: Rozměry žebra desky

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

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX037a-CZ-EU</i>	Strana	5 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Polohový faktor ϕ zohledňuje účinek stínění žebra na horní horní část desky.

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

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

Součinitele a_i pro normální hutný beton jsou v tabulce 2.

Tabulka 2. Součinitele pro výpočet požární odolnosti s ohledem na kritérium tepelné izolace plechobetonové desky (EN 1994-1-2, příloha D, tabulka D.1)

	a_0 [min]	a_1 [min/mm]	a_2 [min]	a_3 [min/mm]	a_4 [mm-min]	a_5 [min]
Normální hutný beton	-28.8	1.55	-12.6	0.33	-735	48.0
Lehký beton	-79.2	2.18	-2.44	0.56	-542	52.3

S použitím těchto součinitelů se určí čas t_i , kdy dojde k překročení požadovaných teplot:

$$t_i = (-28,8) + 1,55 \times 89 + (-12,6) \times 0,119$$

$$+ 0,33 \times 27 + (-735) \times \frac{1}{38} + 48 \times 27 \times \frac{1}{38}$$

$$t_i = 131,48 \text{ min} > 90 \text{ min} \quad \checkmark$$

Průřez vyhovuje s velkou rezervou.


Teplota průřezu

Teplota jednotlivých částí průřezu (trapézový plech, výztuž, beton) při ohřívání podle normové teplotní křivky se určuje podle přílohy D.

Je třeba určit teplotu horní pásnice, stěny a spodní pásnice trapézového plechu a pro tyto části najít hodnoty redukčního součinitele účinné meze kluzu $k_{y,\theta}$. Teploty se určí podle vztahu:

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

[EN 1994-1-2 §D.2](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX037a-CZ-EU	Strana	6 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Součinitele b_i jsou v tabulce 3.

Tabulka 3. Součinitele pro výpočet teploty trapézového plechu plechobetonové desky (EN 1994-1-2, příloha D, tabulka D.2)

Beton	Požární odolnost [min]	Část trapézového plechu	b_0 [°C]	b_1 [°C·mm]	b_2 [°C/mm]	b_3 [°C]	b_4 [°C]
Normální hutný beton	60	Spodní pásnice	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Stěna	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Horní pásnice	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Spodní pásnice	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Stěna	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Horní pásnice	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
120	Spodní pásnice	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8	
	Stěna	925	-949	-1,82	344,2	-267,4	
	Horní pásnice	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0	

Teploty jednotlivých částí trapézového plechu jsou:

Spodní pásnice:

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

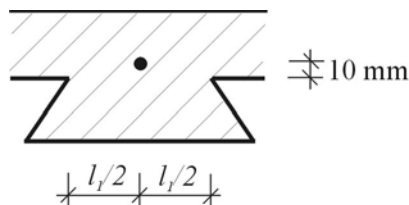
Stěna:

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

Horní pásnice:

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

Pro dosažení dostatečné momentové únosnosti při požáru je třeba započítat vliv betonářské výztuže, která se při posuzování únosnosti při běžné teplotě zpravidla zanedbává. V každém žeburu je umístěn jeden prut $\varnothing 10$ mm, jeho poloha je patrná z obrázku 5.



Obrázek 5: Poloha betonářské výztuže

Teplota betonářské výztuže se určí podle:

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

Dokument:	<i>SX037a-CZ-EU</i>	Strana	7 z 8
Název	<i>Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2</i>		
Eurokód			
Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

kde:

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

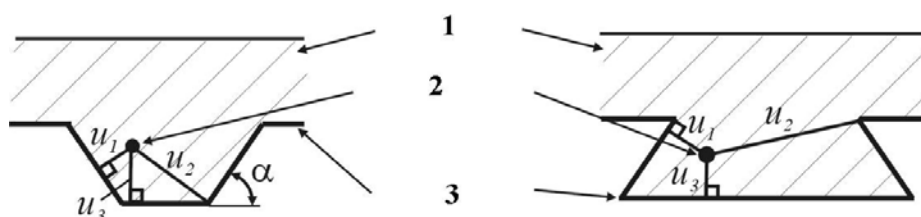
$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{l_2/2}} + \frac{1}{\sqrt{l_2/2}} + \frac{1}{\sqrt{h_2 + 10}} \quad (\text{přibližně})$$

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

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

a tedy:

$$z = 2,72$$




Legenda: 1. Beton
2. Prut betonářské výztuže
3. Trapézový plech

Obrázek 6: Vzdálenosti u_1 , u_2 , u_3 a úhlu α

Součinitele c_i pro normální hutný beton jsou v tabulce 4.

Tabulka 4. Součinitele pro výpočet teploty betonářské výztuže v plechobetonové desce (EN 1994-1-2, příloha D, tabulka D.3)

Beton	Požární odolnost [min]	c_0 [°C]	c_1 [°C]	c_2 [°C/mm ^{0.5}]	c_3 [°C/mm]	c_4 [°C/°]	c_5 [°C]
Normální hutný beton	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

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX037a-CZ-EU</i>	Strana	8 z 8
	Název	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
	Eurokód			
	Vypracovali	P Schaumann & T Trautmann	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	J Chica, Labein	Datum	Leden 2006

Teplota výztuže s použitím těchto součinitelů je:

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

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

Ověření momentové únosnosti

Plastický moment únosnosti průřezu se určí jako:

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

Redukční součinitele účinné meze kluzu trapézového plechu $k_{y,\theta,i}$ jsou v normě EN1993-1-2. Redukční součinitel pro mez kluzu výztuže je uveden v tabulce 3.4 normy EN1994-1-2 (výztuž je válcovaná za studena).

Únosnost každé části trapézového plechu a výztuže se určí samostatně:

Tabulka 5. Redukční součinitele a únosnosti průřezu

	Teplota θ_i [°C]	Redukční součinitel $k_{y,\theta,i}$ [-]	Plocha části průřezu A_i [mm ²]	$f_{y,i}$ [N/mm ²]	Z_i [kN]
Spodní pásnice	960	0,038	120,4	350	1,60
Stěna	782	0,081	90,4	350	2,56
Horní pásnice	581	0,344	32,7	350	3,94
Výztuž	364	0,930	79,0	500	36,72

Plastická neutrální osa se určí z podmínky rovnováhy sil ve vodorovném směru. Podmínka je napsána pro jedno žebro (část desky o šířce $b = l_1 + l_2$).

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


Plastický moment únosnosti jednoho žebra desky je:

[EN1994-1-2 §4.3.1](#)

[EN1993-1-2 tabulka E.1](#)

[EN1993-1-2 tabulka E.1](#)

[EN1994-1-2 tabulka 3.4](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX037a-CZ-EU</i>	Strana	9 z 8
	Název	<i>Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2</i>		
	Eurokód			
	Vypracovali	<i>P Schaumann & T Trautmann</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>J Chica, Labein</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Tabulka 6. Plastický moment únosnosti jednoho žebra

	Z_i [kN]	z_i [m]	M_i [kNm]
Spodní pásnice	1,60	0,140	0,22
Stěna	2,56	0,14 – 0,051 / 2 = 0,1145	0,29
Horní pásnice	3,94	0,14-0,051=0,089	0,35
Výztuž	36,72	0,14-0,051-0,010=0,079	2,90
Beton	-50,17	0,01379/2=0,0069	-0,35
			Σ 3,42

Při plastickém momentu únosnosti počítaném pro jedno žebro $M_{pl,rib} = 3,42$ kNm a šířce žebra $w_{rib} = 0,152$ m vychází plastický moment únosnosti desky:

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

Posouzení:

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

deska splňuje podmínku únosnosti (R) pro požární odolnost 90 minut.

Quality Record

RESOURCE TITLE	Řešený příklad: Požární odolnost plechobetonové desky podle EN 1994-1-2		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	P Schaumann & T Trautmann	University of Hannover – Institute for Steel Construction	
Technical content edited by	J Chica, Labein	LABEIN	
Editorial content edited by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
UK	G W Owens	SCI	9/6/06
France	A Bureau	CTICM	9/6/06
Sweden	B Uppfeldt	SBI	9/6/06
Germany	C Müller	RWTH	9/6/06
Spain	J Chica	Labein	9/6/06
Luxembourg	M Haller	PARE	9/6/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	12/9/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	Z. Sokol	CTU in Prague	29/6/07
Translated resource approved by	F. Wald	CTU in Prague	31/7/07
National technical contact	F. Wald		