

# Betonové a ocelové konstrukce

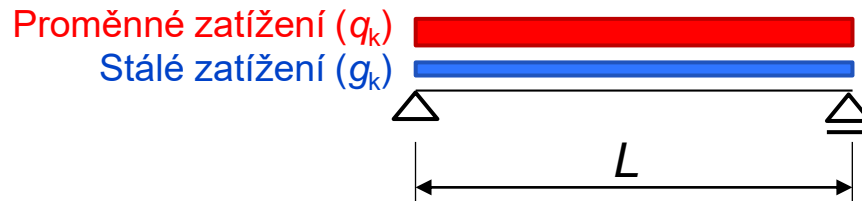
Ing. Josef Novák, Ph.D.  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.  
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

České vysoké učení technické v Praze



# Návrh a nosníku za pokojové teploty



- Zatížení je zadáno v charakteristických hodnotách !!!
- Výpočet vnitřních sil  $\rightarrow M_{Ed}, V_{Ed}$
- Návrh průřezu IPE
- Zatřídění průřezu (pomocí tabulek / ručně)
- Posudek MSÚ (ohyb, smyk)
- Posudek MSP (průhyb)
- Využití 75 – 95 %

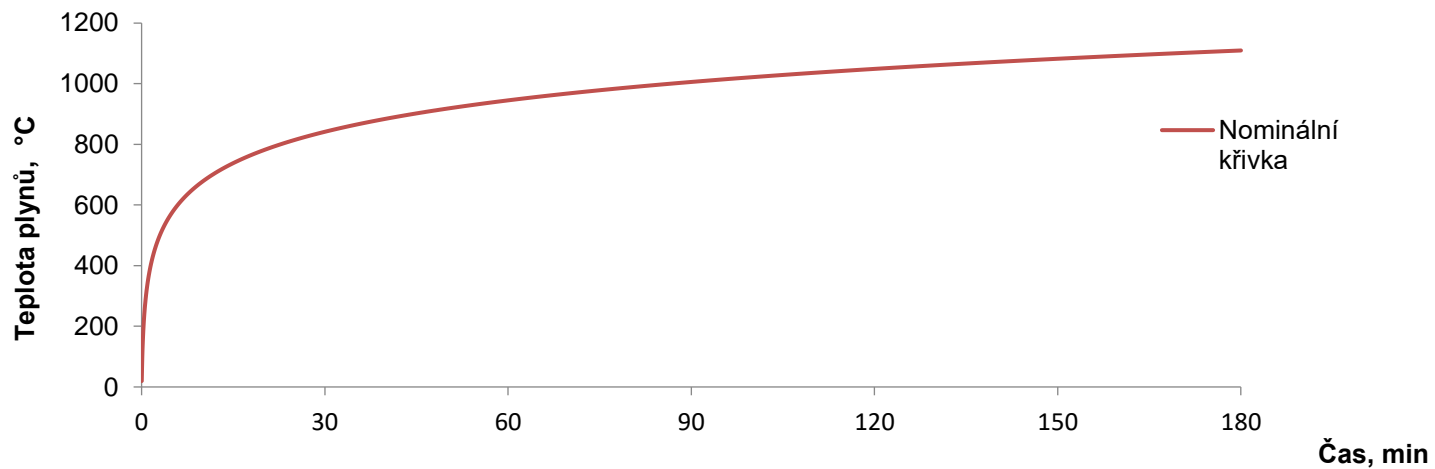
# Nominální parametrická křivka

- Pro celulózový typ požáru (dřevo, papír, textil, ...)

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

- Čas  $t$  zadávat v minutách
- Nejmenší časový interval  $\Delta t = 5$  s
  
- Excel

## Nominální křivka



# Hustota požárního zatížení

- Charakteristická hodnota – Výpočet

- Charakteristická hodnota požárního zatížení

$$Q_{fi,k} = \sum (M_{k,i} H_{ui} \psi_i) = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}]$$

Množství hořlavého materiálu [kg]

Čistá výhřevnost [MJ/kg]

Zmenšovací součinitel pro chráněné požární zatížení, zpravidla 1,0

- Charakteristická hodnota hustoty požárního zatížení

$$q_{f,k} = \frac{Q_{fi,k}}{A_f} \quad [\text{MJ}/\text{m}^2]$$

Plocha podlahy požárního úseku [m<sup>2</sup>]

- Charakteristická hodnota – Tabulka

- ČSN EN 1991-1-2

Hustota požárního zatížení  $q_{f,k}$  [MJ/m<sup>2</sup>]

Provoz	Průměr	80% kvantil
byty	780	948
nemocnice (pokoje)	230	280
hotely (pokoje)	310	377
knihovny	1500	1824
kanceláře	420	511
školní třídy	285	347
nákupní centrum	600	730
divadla (kina)	300	365
doprava (prostory pro veřejnost)	100	122

# Hustota požárního zatížení

## ■ Návrhová hodnota

$$q_{f,d} = q_{f,k} m \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n \quad [\text{MJ}/\text{m}^2]$$

Součinitel vlivu požárně bezpečnostních opatření  
 Součinitel hoření (0,8)  
 Riziko vzniku požáru vzhledem k velikosti požárního úseku (1,1 – 2,6)  
 Riziko vzniku požáru vzhledem k účelu stavby (0,78 – 1,66)

$$\delta_{q1} = 0,16881 \ln(A_f) + 0,5752$$

Podlahová plocha úseku $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	Nebezpečí vzniku požáru $\delta_{q1}$
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

$$\delta_n = \prod \delta_{n,i} = \delta_{n,1} \cdot \delta_{n,2} \cdot \dots \cdot \delta_{n,10}$$

Aktivní požárně bezpečnostní opatření			$\delta_{ni}$
Samočinné hasící zařízení	Samočinné vodní hasící zařízení		$\delta_{n1}$ 0,61
	Nezávislé vodní zdroje	žádný	$\delta_{n2}$ 1,00
		jeden	$\delta_{n2}$ 0,87
		dva	$\delta_{n2}$ 0,70
Samočinné požární hlásiče	Elektrická požární signalizace	tepelné	$\delta_{n3}$ 0,87 nebo 0,73
		kouřové	
	Zařízení dálkového přenosu k požární jednotce		$\delta_{n5}$ 0,87
Manuální hašení požáru	Závodní požární jednotka		$\delta_{n6}$ 0,61 nebo 0,78
	Externí (veřejná) požární jednotka		
	Bezpečné přístupové cesty		$\delta_{n8}$ 0,9 nebo 1,0 nebo 1,5
	Technické prostředky požární ochrany		$\delta_{n9}$ 1,0 nebo 1,5
	Zařízení pro odvod kouře		$\delta_{n10}$ 1,0 nebo 1,5

Nebezpečí vzniku požáru $\delta_{q2}$	Příklady provozu
0,78	umělecké galerie, muzea, bazény
1,00	kanceláře, byty, hotely, papírenský průmysl
1,22	výroba strojů a motorů
1,44	chemické laboratoře
1,66	výroba zábavné pyrotechniky nebo barev

# Parametrická teplotní křivka

- Charakteristiky požárního úseku
  - $A_f$  – Plocha podlahy
  - $A_t$  – Plocha ohraničujících konstrukcí úseku (stěny, strop, podlaha)
  - $A_v$  – Plocha svislých otvorů

- Koeficient otvorů ( $0,02 \leq O \leq 0,20$ )

$$O = \frac{\sum A_v \sqrt{h}}{A_t}$$

← Výška otvoru

- Tepelné vlastnosti materiálů ohraničujících požární úsek
  - Dílčí materiál

$$b_i = \sqrt{\rho c \lambda}$$

$\rho$  Objemová hmotnost konstrukcí ohraničujících požární úsek

$c$  Specifické (měrné) teplo konstrukcí ohraničujících požární úsek

$\lambda$  Tepelná vodivost konstrukcí ohraničujících požární úsek

# Parametrická teplotní křivka

- Tepelné vlastnosti materiálů ohraničujících požární úsek

- Dílčí materiál

$$b_i = \sqrt{\rho c \lambda}$$

$\rho$  Objemová hmotnost konstrukcí ohraničujících požární úsek

$c$  Specifické (měrné) teplo konstrukcí ohraničujících požární úsek

$\lambda$  Tepelná vodivost konstrukcí ohraničujících požární úsek

	Hustota $\rho$ [kg m <sup>-3</sup> ]	Specifické teplo $c$ [J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Koeficient povrchu $b_i$ [J m <sup>-2</sup> s <sup>-0,5</sup> K <sup>-1</sup> ]	Plocha povrchu $A_j$ [m <sup>2</sup> ]
Stěna tl. 450 mm; - cihelné zdivo - omítka obdobný $b$	1600	840	0,70	970	$2 \cdot 8 \cdot 4 + 2 \cdot 5 \cdot 4$ $- 8,0 = 96$
Strop a podlaha - lehký beton	1600	840	0,80	1037	$2 \cdot 40 = 80$

- Výsledná tepelná charakteristika povrchů ( $100 \leq b \leq 2200$ )

$$b = \frac{\sum(b_i \cdot A_j)}{A_t - A_v} \quad [\text{J m}^{-2} \text{s}^{-0,5} \text{K}^{-1}]$$

# Parametrická teplotní křivka

- Součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{o}{o_{\text{ref}}}\right)^2}{\left(\frac{b}{b_{\text{ref}}}\right)^2} = \frac{\left(\frac{o}{b}\right)^2}{\left(\frac{0,04}{1160}\right)^2}$$

- Čas dosažení nejvyšší teploty

$$t_{\text{max}} = \max\left(t_{\text{lim}}; \frac{0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d}}{o}\right) \quad [\text{h}]$$

Dosadit v hodinách

- Náhradní čas nejvyšší teploty

$$t^* = t \Gamma \quad [\text{h}]$$

Požáry řízené palivem:

- Pomalé ( $t_{\text{lim}} = 25 \text{ min}$ )
- **Průměrné ( $t_{\text{lim}} = 20 \text{ min}$ )**
- Krátké ( $t_{\text{lim}} = 15 \text{ min}$ )



# Parametrická teplotní křivka

- Fáze rozvoje

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

- Chladnutí

$$\vartheta_g = \vartheta_{\max} - 625(t^* - t_{\max}^*x) \quad \text{pro } t_{\max}^* \leq 0,5$$

$$\vartheta_g = \vartheta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*x)(t^* - t_{\max}^*x) \quad \text{pro } 0,5 < t_{\max}^* \leq 2$$

$$\vartheta_g = \vartheta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*x) \quad \text{pro } t_{\max}^* > 2$$

Jestliže  $t_{\max} > t_{\lim}$  pak  $x = 1,0$

Jestliže  $t_{\max} = t_{\lim}$  pak  $x = \frac{t_{\lim} \Gamma}{t_{\max}^*}$

# Parametrická teplotní křivka

## ■ Příklad v excelu

Rozměry požárního úseku	
a	9.9 m
b	12 m
h	3.5 m
$A_f$	118.8 m <sup>2</sup>
$A_t$	390.9 m <sup>2</sup>
Otvory	
$h_{op}$	2 m
$b_{op}$	2.75 m
Počet	3 ks
$A_v$	16.5 m <sup>2</sup>
Charakteristické zatížení požárem	
$q_{f,k}$	948 MJ/m <sup>2</sup>
Návrhové zatížení požárem	
m	0.8 -
$\delta_{q,1}$	1.38168 -
$\delta_{q,2}$	1 -
$\delta_{q,n}$	0.61 -
$q_{f,d}$	639.198 MJ/m <sup>2</sup>
Koefficient otvorů	
O	0.05969 m <sup>1/2</sup>

Koefficienty povrchu stropu a podlahy	
$\rho$	1600 kg m <sup>-3</sup>
c	840 J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$\lambda$	0.7 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
b	969.948 J m <sup>-2</sup> s <sup>-0.5</sup> K <sup>-1</sup>
$A_j$	237.6 m <sup>2</sup>
Koefficienty povrchu obvodových stěn	
$\rho$	1600 kg m <sup>-3</sup>
c	840 J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$\lambda$	0.8 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
b	1036.92 J m <sup>-2</sup> s <sup>-0.5</sup> K <sup>-1</sup>
$A_j$	153.3 m <sup>2</sup>
Výsledná tepelná charakteristik povrchů	
b	994.418 J m <sup>-2</sup> s <sup>-0.5</sup> K <sup>-1</sup>
Součinitel vlivu otvorů a povrchů	
$\Gamma$	3.03057 -
Hustota požárního zatížení na plochu	
$q_{t,d}$	194.261 MJ/m <sup>2</sup>

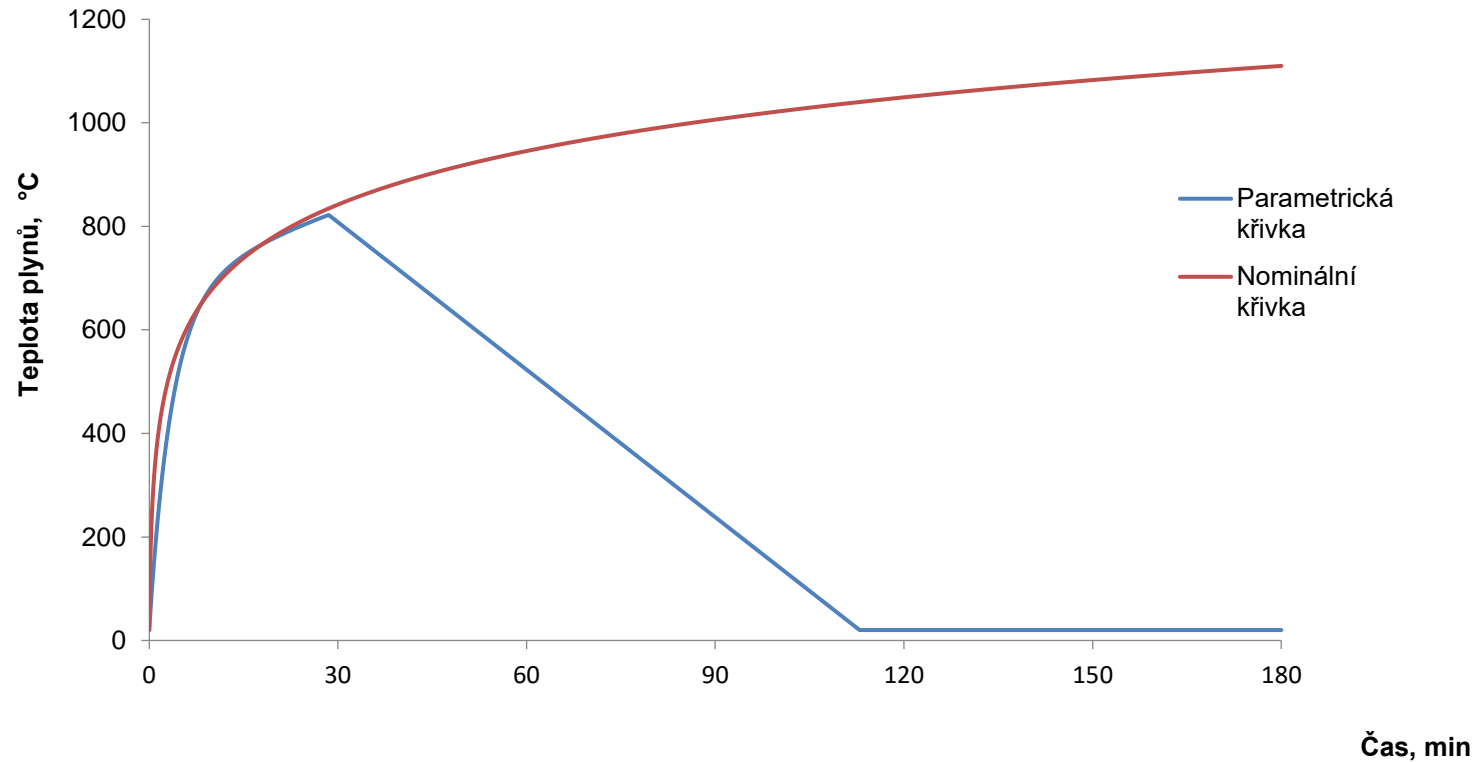
Čas nejvyšší teploty	
$t_{lim}$	20 min
$t_{max}$	0.651 h
Náhradní čas nejvyšší teploty	
$t^*_{max}$	1.972 h
Maximální teplota	
$\Theta_{g,max}$	1046.19 °C
Parametr x	
x	1 -
Čas pokojové teploty	
t	1.91198 h

=KDYŽ(M3<N3;M3;N3)

čas		náhradní čas				Rozvoj	Pokles	Výsledek	Param.	Nomin.
s	min	h	s	min	h	°C	°C	°C	°C	°C
0	0	0	0	0	0	20	1572.61	20	20	20
5	0.08333	0.00139	13.8506	0.23084	0.00385	66.1784	1571.46	66.1784	66.1784	96.5378
10	0.16667	0.00278	27.7012	0.46169	0.00769	109.237	1570.31	109.237	109.237	146.952
15	0.25	0.00417	41.5519	0.69253	0.01154	149.396	1569.16	149.396	149.396	184.607
20	0.33333	0.00556	55.4025	0.92337	0.01539	186.858	1568	186.858	186.858	214.674
25	0.41667	0.00694	69.2531	1.15422	0.01924	221.813	1566.85	221.813	221.813	239.704
30	0.5	0.00833	83.1037	1.38506	0.02308	254.436	1565.7	254.436	254.436	261.145
35	0.58333	0.00972	96.9543	1.61591	0.02693	284.892	1564.55	284.892	284.892	279.898
40	0.66667	0.01111	110.805	1.84675	0.03078	313.332	1563.4	313.332	313.332	296.563

# Křivky rozvoje teploty plynů

## Nominální a parametrická křivka



# Teplota průřezu

- Přírůstková metoda

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{c_a \rho_a V} h_{net,d} \Delta t$$

- Vliv stínění – součinitel  $k_{sh}$

$$k_{sh} = 1 \quad \text{pro uzavřené konvexní průřezy}$$


 $k_{sh} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}}$ 
 pro průřezy tvaru / a normovou teplotní křivku

$$k_{sh} = \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{\frac{A_m}{V}} \quad \text{pro ostatní průřezy}$$

- Pro / průřezy

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{c_a \rho_a V} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b \frac{A_m}{V}}{\frac{A_m}{V} c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$

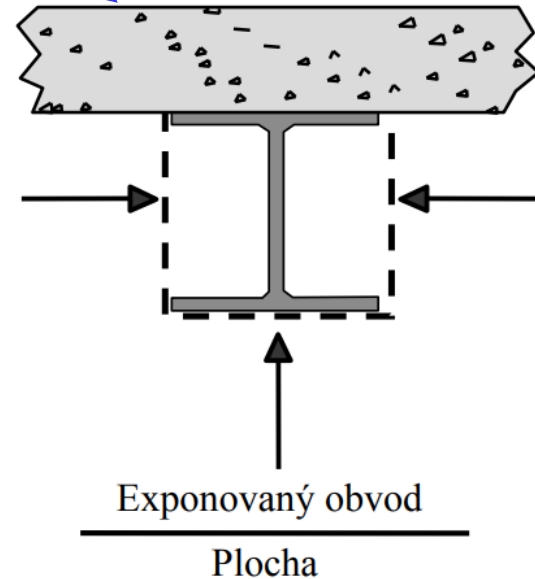
# Teplota průřezu

## ■ Přírůstková metoda

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b}{c_a \rho_a} h_{\text{net},d} \Delta t$$

← Součinitel průřezu

Objemová hmotnost oceli  $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$   
 Měrné teplo oceli  $C_a = 650 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$



# Teplota průřezu

## ■ Přírůstková metoda

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 \frac{\left(\frac{A_m}{V}\right)_b h_{\text{net,d}} \Delta t}{c_a \rho_a}$$

Tepelný tok

$$h_{\text{net,d}} = h_{\text{net,c}} + h_{\text{net,r}}$$

### ■ Složka přestupu tepla prouděním na jednotku plochy

$$h_{\text{net,c}} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m)$$

$\alpha_c$  je součinitel přestupu tepla prouděním

- $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$  při použití normové teplotní křivky
- $\alpha_c = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$  při použití parametrické teplotní křivky
- $\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$  při použití uhlovodíkové teplotní křivky
- $\alpha_c = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$  při použití zónových modelů, modelu lokálního požáru

$\theta_g$  je teplota plynů v okolí prvku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\theta_m$  povrchová teplota prvku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$$\theta_m = \frac{\theta_g + \theta_a}{2}$$

Teplota průřezu (přírůstková metoda)

$\theta_g$  – Normová a parametrická křivka

### ■ Složka přestupu tepla sáláním na jednotku plochy

$$h_{\text{net,r}} = \phi \varepsilon_{\text{res}} 5,67 \cdot 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4]$$

$\phi$  je polohový faktor, zpravidla  $\phi = 1,0$

$\varepsilon_{\text{res}}$  výsledná emisivita, viz další stránka

$\theta_r$  sálavá teplota okolí prvku [ $^{\circ}\text{C}$ ], lze ji považovat za rovnou teplotě plynů  $\theta_g$

$\theta_m$  povrchová teplota prvku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$5,67 \cdot 10^{-8}$  Stefan-Boltzmannova konstanta [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ]

$$\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_f \varepsilon_m$$

$\varepsilon_f$  je emisivita vztažená k požárnímu úseku, obvykle  $1,0$

$\varepsilon_m$  je emisivita vztažená k povrchu materiálu

- pro běžné ocelové prvky se počítá s hodnotou  $0,7$
- pro prvky z nerezové oceli  $0,4$
- pro prvky z hliníkových slitin  $0,3$  (bez nátěru)
- $0,7$  (s nátěrem)

# Teplota průřezu

■ Excel

$$\theta_r = \theta_g$$

$$\theta_{m,t} = \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,(t-1)}}{2}$$

$$\theta_{a,t} = \Delta\theta_{a,t} + \theta_{a,(t-1)}$$

Přírůstek  
teploty

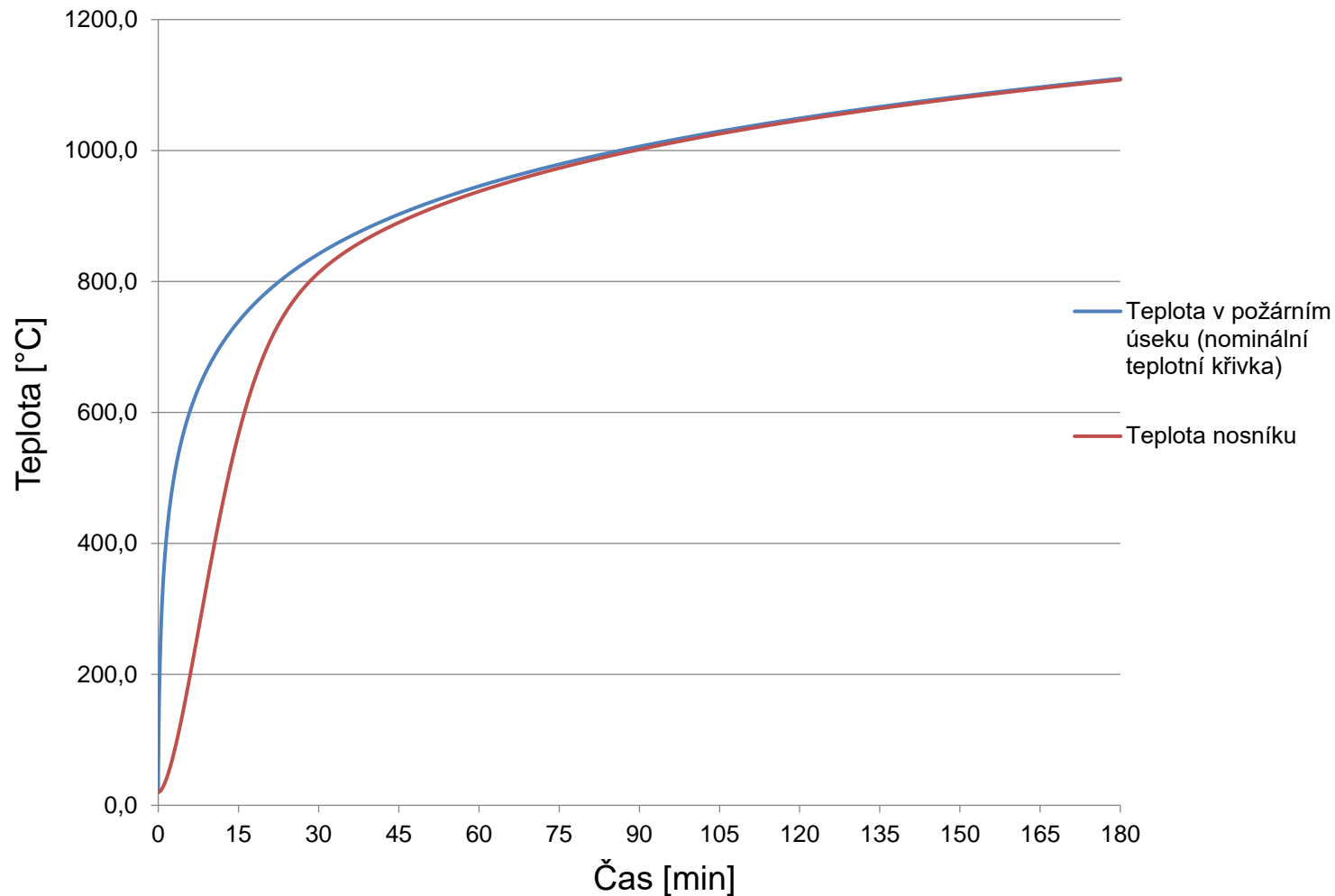
Teplota  
průřezu

Přírůstek  
teploty

Teplota  
průřezu

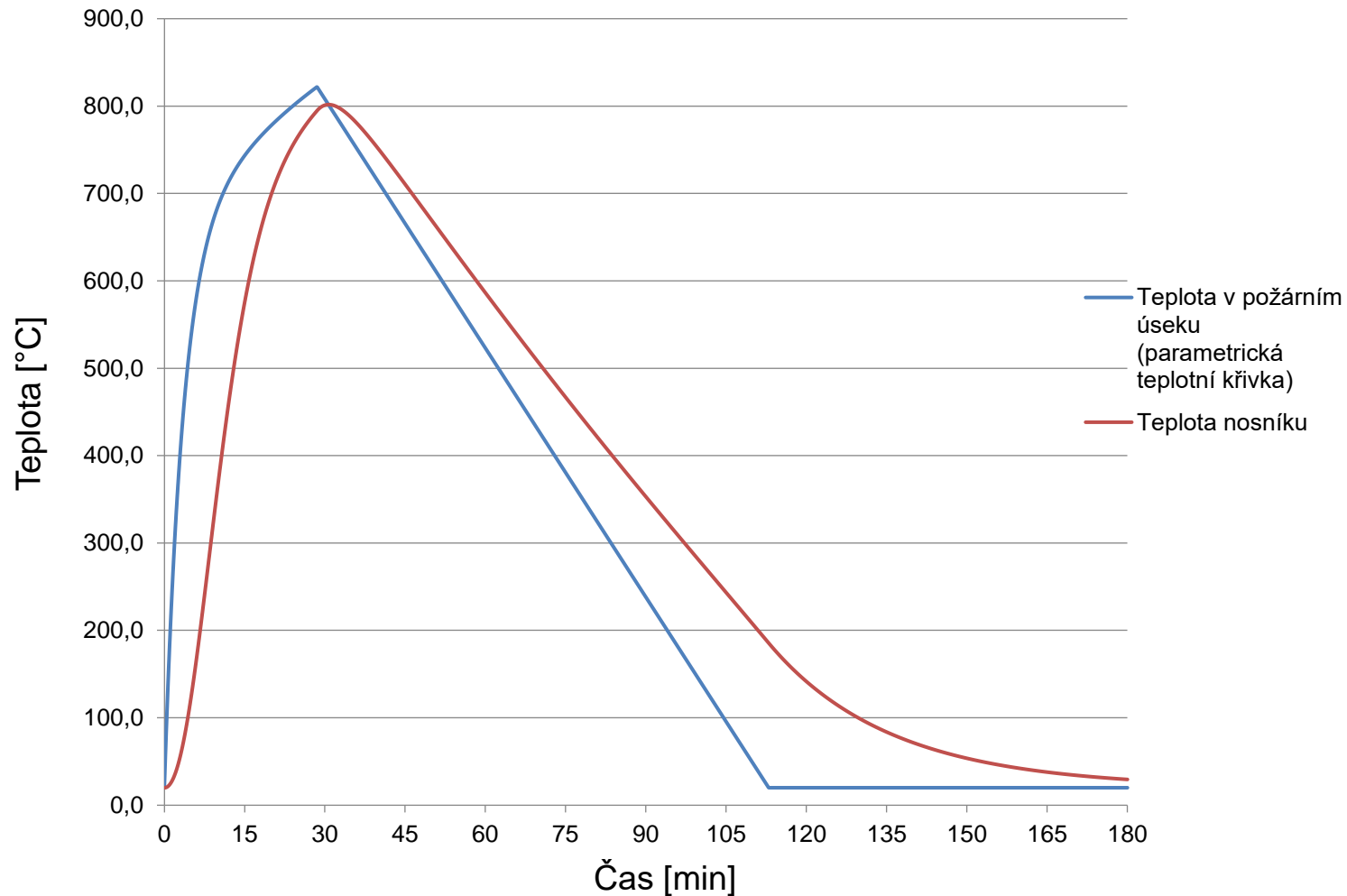
B	C	D	E	F	Nominální křivka										Parametrická křivka							
					čas			$\theta_g$	$\theta_m$	$h_{net,c}$	$h_{net,f}$	$h_{net,d}$	$\Delta\theta_{s,t}$	$\theta_{s,t}$	$\theta_g$	$\theta_m$	$h_{net,c}$	$h_{net,f}$	$h_{net,d}$	$\Delta\theta_{s,t}$	$\theta_{s,t}$	
					s	min	h	°C	°C	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	
Průřez	IPE 500				0	0	0	20	20	0	0	0	1218.89	0.11168	20.1117	66.1784	43.0892	577.23	129.079	706.309	0.06472	20.0647
h	500 mm				10	0.16667	0.00278	146.952	83.5318	1585.5	593.148	2178.65	0.19963	20.3113	109.237	64.651	1114.66	331.368	1446.03	0.1325	20.1972	
b	200 mm				15	0.25	0.00417	184.607	102.459	2053.69	951.672	3005.37	0.27538	20.5867	149.396	84.7966	1614.98	612.988	2227.97	0.20414	20.4014	
A	11550 mm <sup>2</sup>				20	0.33333	0.00556	214.674	117.63	2426.09	1320.75	3746.84	0.34332	20.93	186.858	103.63	2080.71	976.29	3057	0.28011	20.6815	
h'	0.5 m				25	0.41667	0.00694	239.704	130.317	2734.67	1692.31	4426.98	0.40564	21.3356	221.813	121.247	2514.14	1420.41	3934.55	0.36052	21.042	
b'	0.2 m				30	0.5	0.00833	261.145	141.24	2997.61	2062.18	5059.8	0.46362	21.7993	254.436	137.739	2917.43	1941.92	4859.34	0.44525	21.4872	
A'	0.01155 m <sup>2</sup>				35	0.58333	0.00972	279.898	150.849	3226.23	2428.11	5654.35	0.5181	22.3174	284.892	153.189	3292.56	2535.4	5827.96	0.53401	22.0212	
					40	0.66667	0.01111	296.563	159.44	3428.07	2788.86	6216.93	0.56965	22.887	313.332	167.677	3641.38	3194.1	6835.48	0.62632	22.6476	
Součinitel průřezu					45	0.75	0.0125	311.559	167.223	3608.4	3143.77	6752.17	0.61869	23.5057	339.898	181.273	3965.63	3910.35	7875.98	0.72166	23.3692	
(A <sub>m</sub> /V) <sub>b</sub>	103.896 m <sup>-1</sup>				50	0.83333	0.01389	325.189	174.347	3771.04	3492.51	7263.55	0.66555	24.1712	364.721	194.045	4266.9	4676.03	8942.93	0.81942	24.1886	
Objemová hmotnost oceli					55	0.91667	0.01528	337.682	180.927	3918.89	3834.95	7753.84	0.71047	24.8817	387.923	206.056	4546.68	5482.92	10029.6	0.91899	25.1076	
ρ	7850 kg/m <sup>3</sup>				60	1	0.01667	349.214	187.048	4054.15	4171.1	8225.25	0.75366	25.6354	409.619	217.363	4806.39	6322.9	11129.3	1.01976	26.1274	
Měrné teplo oceli					65	1.08333	0.01806	359.92	192.778	4178.56	4501.01	8679.57	0.79529	26.4307	429.912	228.02	5047.31	7188.22	12235.5	1.12112	27.2485	
C <sub>s</sub>	650 J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>				70	1.16667	0.01944	369.913	198.172	4293.53	4824.81	9118.33	0.8355	27.2662	448.902	238.075	5270.67	8071.57	13342.2	1.22252	28.471	
					75	1.25	0.02083	379.28	203.273	4400.18	5142.63	9542.81	0.87439	28.1405	466.68	247.576	5477.61	8966.25	14443.9	1.32346	29.7945	
Součinitel α <sub>c</sub>					80	1.33333	0.02222	388.097	208.119	4499.45	5454.63	9954.08	0.91207	29.0526	483.33	256.562	5669.2	9866.14	15535.3	1.42347	31.218	
					85	1.41667	0.02361	396.423	212.738	4592.13	5760.98	10353.1	0.94864	30.0013	498.932	265.075	5846.42	10765.8	16612.2	1.52215	32.7401	
Nominální křivka	25 W/m <sup>2</sup> K				90	1.5	0.025	404.31	217.156	4678.86	6061.84	10740.7	0.98415	30.9854	513.558	273.149	6010.22	11660.4	17670.6	1.61912	34.3592	
Parametrická křivka	35 W/m <sup>2</sup> K				95	1.58333	0.02639	411.804	221.395	4760.23	6357.37	11117.6	1.01868	32.0041	527.276	280.818	6161.46	12545.7	18707.2	1.7141	36.0733	
					100	1.66667	0.02778	418.94	225.472	4836.7	6647.74	11484.4	1.0523	33.0564	540.151	288.112	6300.96	13418.2	19719.2	1.80683	37.8802	
					105	1.75	0.02917	425.751	229.404	4908.69	6933.09	11841.8	1.08504	34.1414	552.24	295.06	6429.49	14274.8	20704.3	1.8971	39.7773	
Polohový faktor					110	1.83333	0.03056	432.267	233.204	4976.57	7213.57	12190.1	1.11696	35.2584	563.598	301.688	6547.76	15113.1	21660.9	1.98475	41.762	
φ	1 -				115	1.91667	0.03194	438.511	236.885	5040.66	7489.34	12530	1.1481	36.4065	574.277	308.019	6656.43	15931	22587.4	2.06964	43.8317	
					120	2	0.03333	444.505	240.456	5101.23	7760.52	12861.8	1.1785	37.585	584.323	314.077	6756.14	16726.9	23483	2.15171	45.9834	
Emisivita v požárním úseku					125	2.08333	0.03472	450.268	243.927	5158.54	8027.25	13185.8	1.20819	38.7932	593.781	319.882	6847.46	17499.6	24347	2.23087	48.2142	
ε <sub>f</sub>	1 -				130	2.16667	0.03611	455.818	247.06	5212.81	8289.65	13502.5	1.2372	40.0304	602.69	325.452	6930.95	18248.1	25179.1	2.30711	50.5214	
					135	2.25	0.0375	461.17	250.56	5264.25	8547.83	13812.1	1.26557	41.296	611.09	330.806	7007.11	18972	25979.1	2.38041	52.9018	
Emisivita povrchu materiálu					140	2.33333	0.03889	466.337	253.817	5313.01	8801.92	14114.9	1.29332	42.5893	619.016	335.959	7076.43	19670.8	26747.2	2.4508	55.3526	
ε <sub>m</sub>	0.7 -				145	2.41667	0.04028	471.332	256.961	5359.28	9052.02	14411.3	1.32048	43.9098	626.5	340.926	7139.34	20344.5	27483.9	2.5183	57.8709	
					150	2.5	0.04167	476.166	260.038	5403.2	9298.23	14701.4	1.34706	45.2568	633.573	345.722	7196.28	20993.2	28189.5	2.58295	60.4538	
Výsledná emisivita					155	2.58333	0.04306	480.848	263.053	5444.89	9540.64	14985.5	1.3731	46.6299	640.263	350.358	7247.61	21617	28864.6	2.64481	63.0986	
ε <sub>res</sub>	0.7 -				160	2.66667	0.04444	485.389	266.009	5484.49	9779.36	15263.8	1.3986	48.0285	646.596	354.848	7293.72	22216.4	29510.2	2.70396	65.8026	
					165	2.75	0.04583	489.796	268.912	5522.09	10014.5	15536.6	1.42359	49.4521	652.598	359.2	7334.94	22791.9	30126.8	2.76046	68.563	
S-B konstante					170	2.83333	0.04722	494.077	271.765	5557.81	10246	15803.9	1.44808	50.9002	658.29	363.427	7371.59	23343.9	30715.5	2.8144	71.3775	
K	5.7E-08 -				175	2.91667	0.04861	498.24	274.57	5591.74	10474.2	16065.9	1.47209	52.3723	663.695	367.536	7403.97	23873.2	31277.1	2.86587	74.2433	
					180	3	0.05	502.289	277.331	5623.96	10698.9	16322.9	1.49564	53.8679	668.831	371.537	7432.35	24380.4	31812.7	2.91494	77.1583	
Přírůstek					185	3.08333	0.05139	506.232	280.05	5654.56	10920.4	16575	1.51873	55.3866	673.717	375.438	7456.99	24866.2	32323.2	2.96171	80.12	
Δt	5 s				190	3.16667	0.05278	510.075	282.731	5683.6	11138.7	16822.2	1.54139	56.928	678.37	379.245	7478.13	25331.4	32809.5	3.00627	83.1262	

# Teplota průřezu – Nominální křivka





# Teplota průřezu – Parametrická křivka



# Vlastnosti oceli za zvýšené teploty

- ČSN EN 1993-1-2
  - Interpolovat

Teplota oceli $\theta_a$	Redukční součinitele při teplotě $\theta_a$ vztažené k hodnotě $f_y$ nebo $E_a$ při 20 °C		
	Redukční součinitel (vztažený k $f_y$ ) pro účinnou mez kluzu $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Redukční součinitel (vztažený k $f_y$ ) pro mez úměrnosti $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Redukční součinitel (vztažený k $E_a$ ) pro sklon lineární pružné části $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1 000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1 100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1 200 °C	0,000	0,0000	0,0000

POZNÁMKA Pro mezilehlé hodnoty teploty oceli lze lineárně interpolovat

# Zatížení při požáru

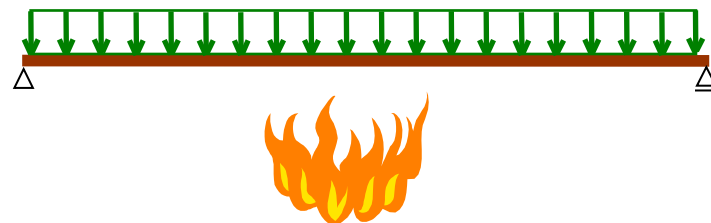
- Mimořádná návrhová situace (požár)

- Redukční součinitel zatížení  $\eta_{fi}$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

- Ohybový moment

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} M_{Ed}$$



Častá

Zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) <sup>*)</sup>			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\ 000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\ 000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty $\psi$ mohou být stanoveny v národní příloze. <sup>*)</sup> Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele $\psi$ stanoví podle místních podmínek.			

# Ohybová únosnost za zvýšené teploty

- Zatřídění průřezu

- Stejným způsobem jako za běžné teploty, pouze  $\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

- Rovnoměrné rozdělení teploty po průřezu (konstantní teplota)

$$M_{fi,t,Rd} = W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \geq M_{Ed,fi}$$

Podle třídy průřezu  $\rightarrow$   $W_{pl,y}$

Redukční součinitel  $\rightarrow$   $k_{y,\theta}$

- Napsat maximální požární odolnost pro nominální a parametrickou křivku

# Děkuji za pozornost

Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze

