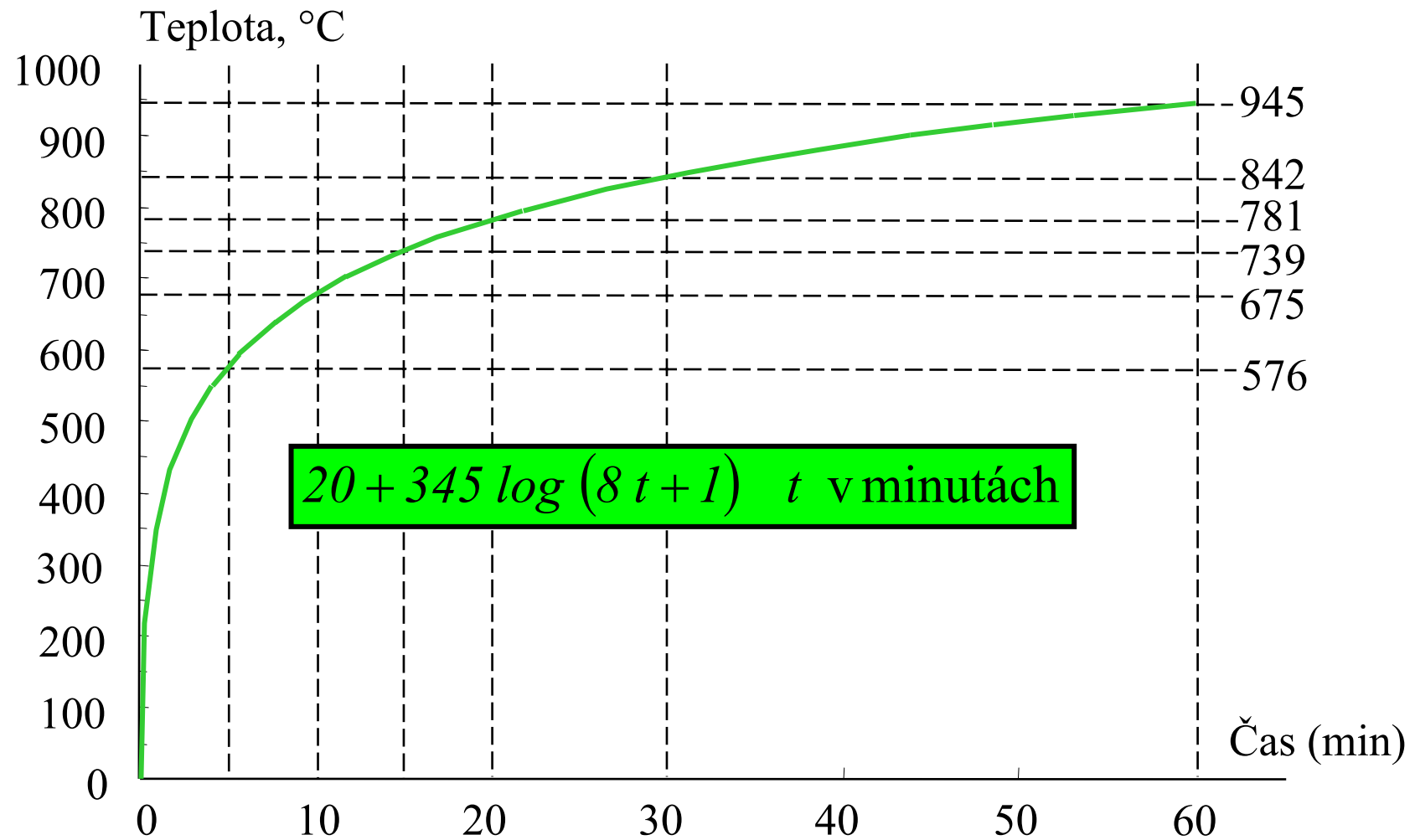


Podklady pro posouzení požární odolnosti průvlaku

Zdeněk Sokol

Normová křivka

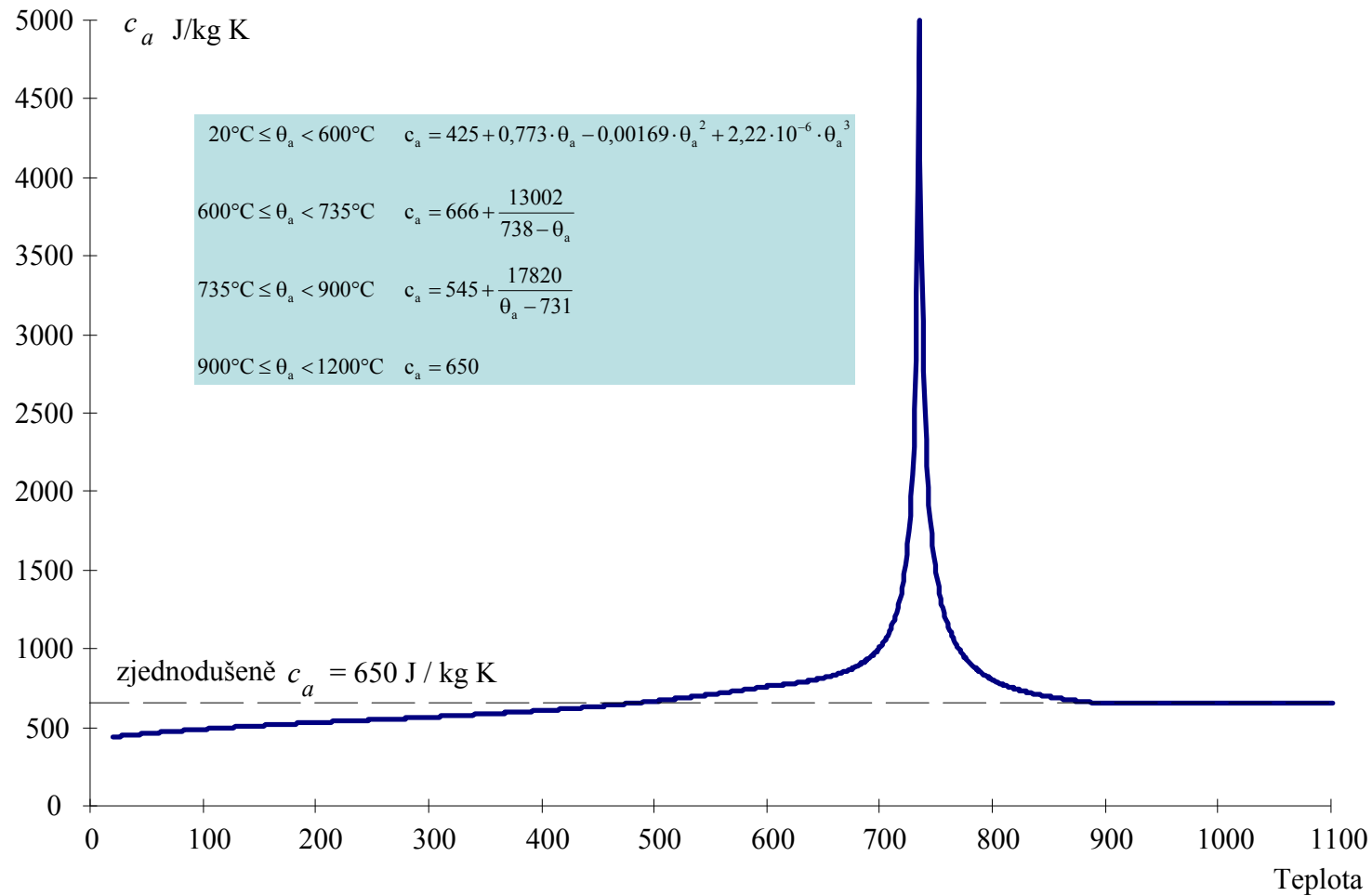


Přírůstek teploty nechráněného průřezu

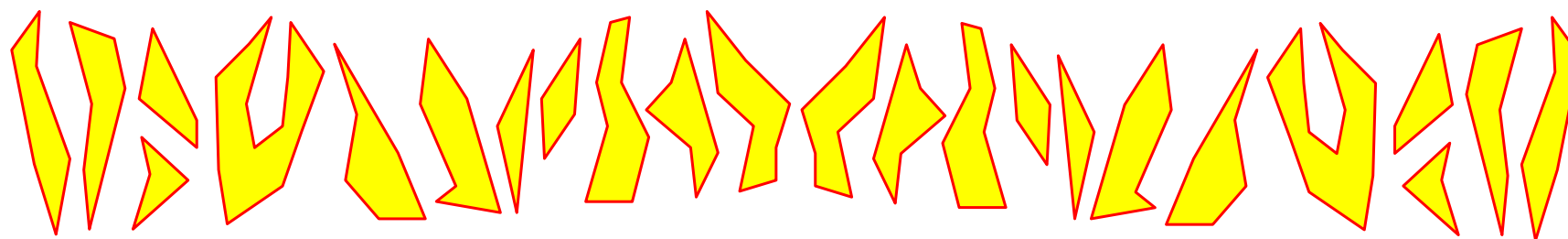
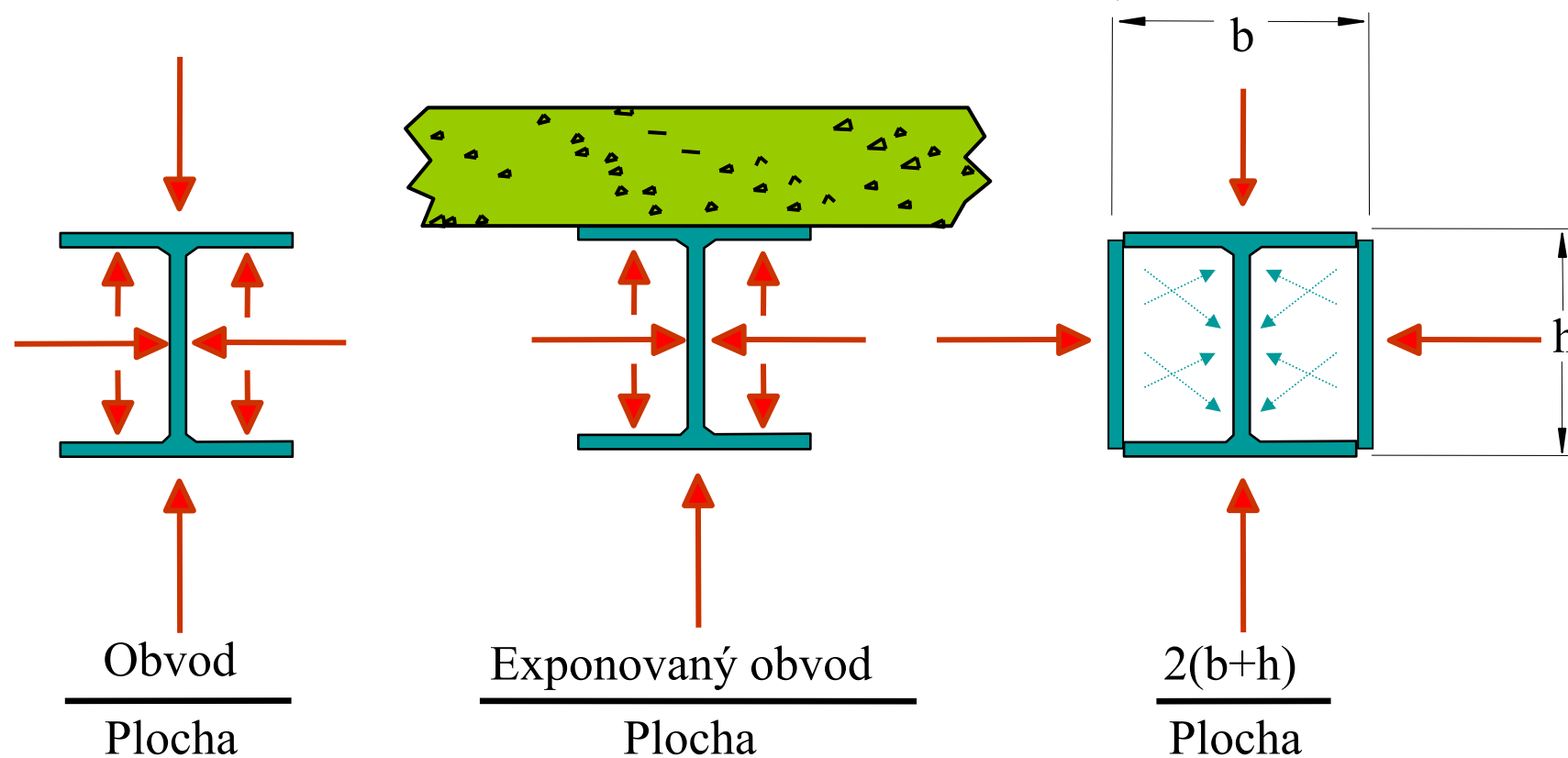
přírůstek teploty v časovém intervalu Δt (nemá se brát větší než 5 s)

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

Měrné teplo oceli c_a



Součinitel průřezu A_m/V



Vliv stínění

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

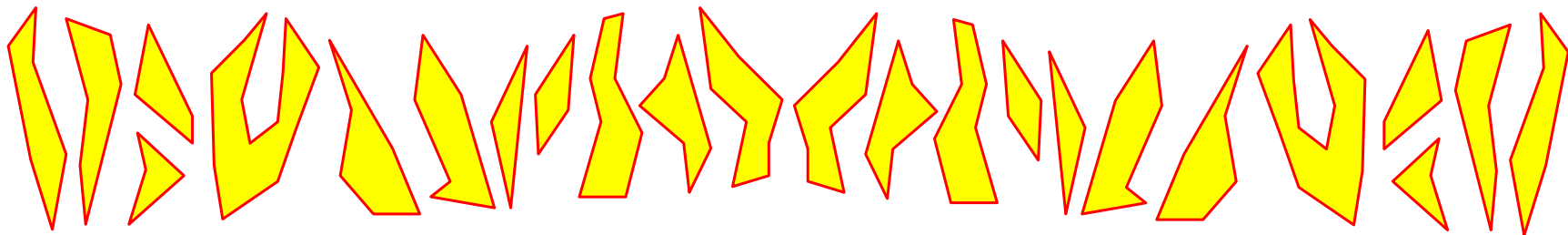
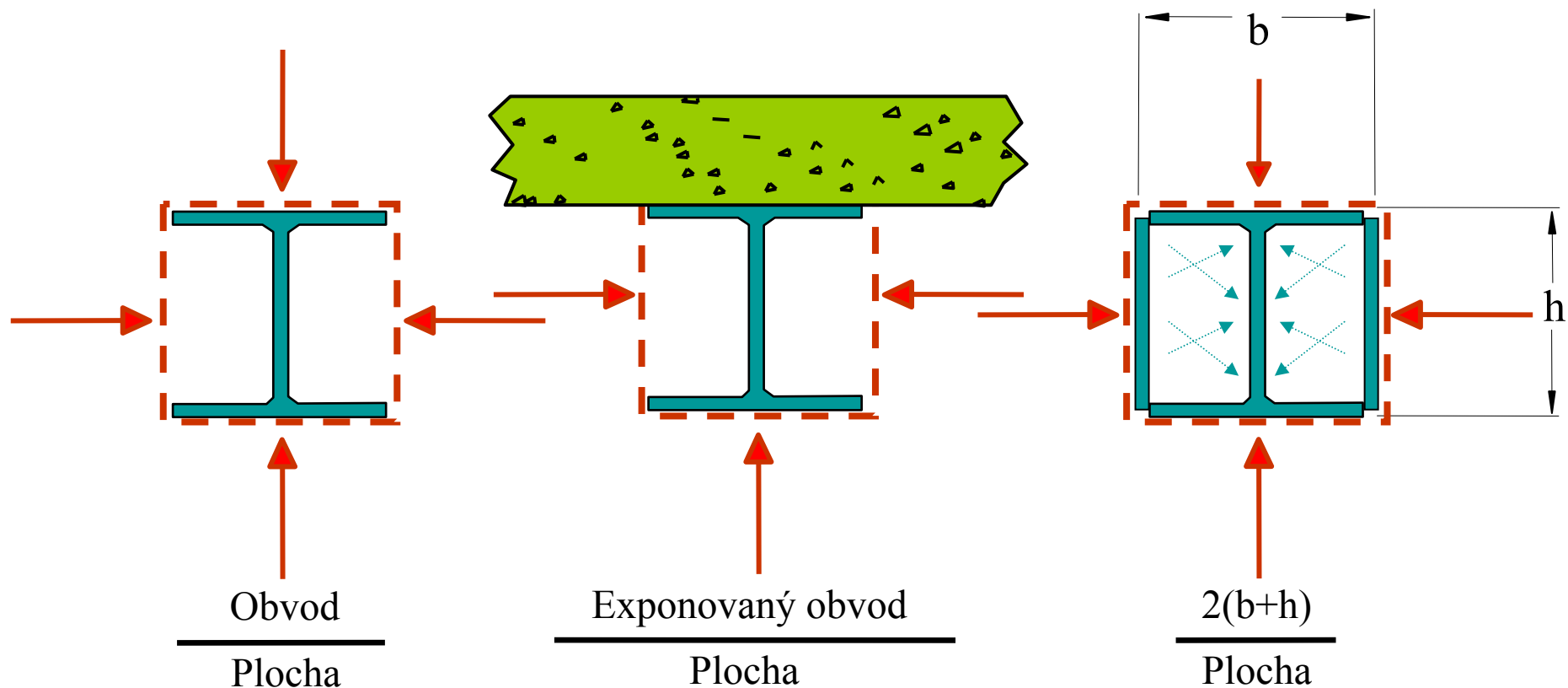
zjednodušeně se uplatňuje pro celkový tepelný tok

- $k_{sh} = 1$ pro uzavřené konvexní průřezy
- $k_{sh} = 0,9 (A_m/V)_b / (A_m/V)$ pro průřezy tvaru I a normovou teplotní křivku
- $k_{sh} = (A_m/V)_b / (A_m/V)$ pro ostatní průřezy

Prakticky pro I průřezy:

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

Součinitel průřezu $(A_m/V)_b$



Tepelný tok

Tepelný tok h_{net} se stanoví jako součet účinků proudění a sálání v okolí prvku a jeho návrhová hodnota se určí ze vztahu

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

kde

$h_{net,c}$ složka přestupu tepla prouděním na jednotku plochy [W/m^2]

$h_{net,r}$ složka přestupu tepla sáláním na jednotku plochy [W/m^2]

Přestup tepla prouděním

Složka tepelného toku prouděním na jednotku plochy [W/m^2] se stanoví ze vztahu

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

kde

α_c je součinitel přestupu tepla prouděním

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

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

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

Přestup tepla sáláním

Sálavá složka tepelného toku na jednotku plochy [W/m^2] se stanoví ze vztahu

kde
$$h_{net,r} = \phi \varepsilon 5,67 \cdot 10^{-8} \left[(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

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

ε 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)

θ_r je sálavá teplota okolí prvku [$^{\circ}C$], lze ji považovat za rovnou teplotě plynů θ_g

θ_m je povrchová teplota prvku [$^{\circ}C$]

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

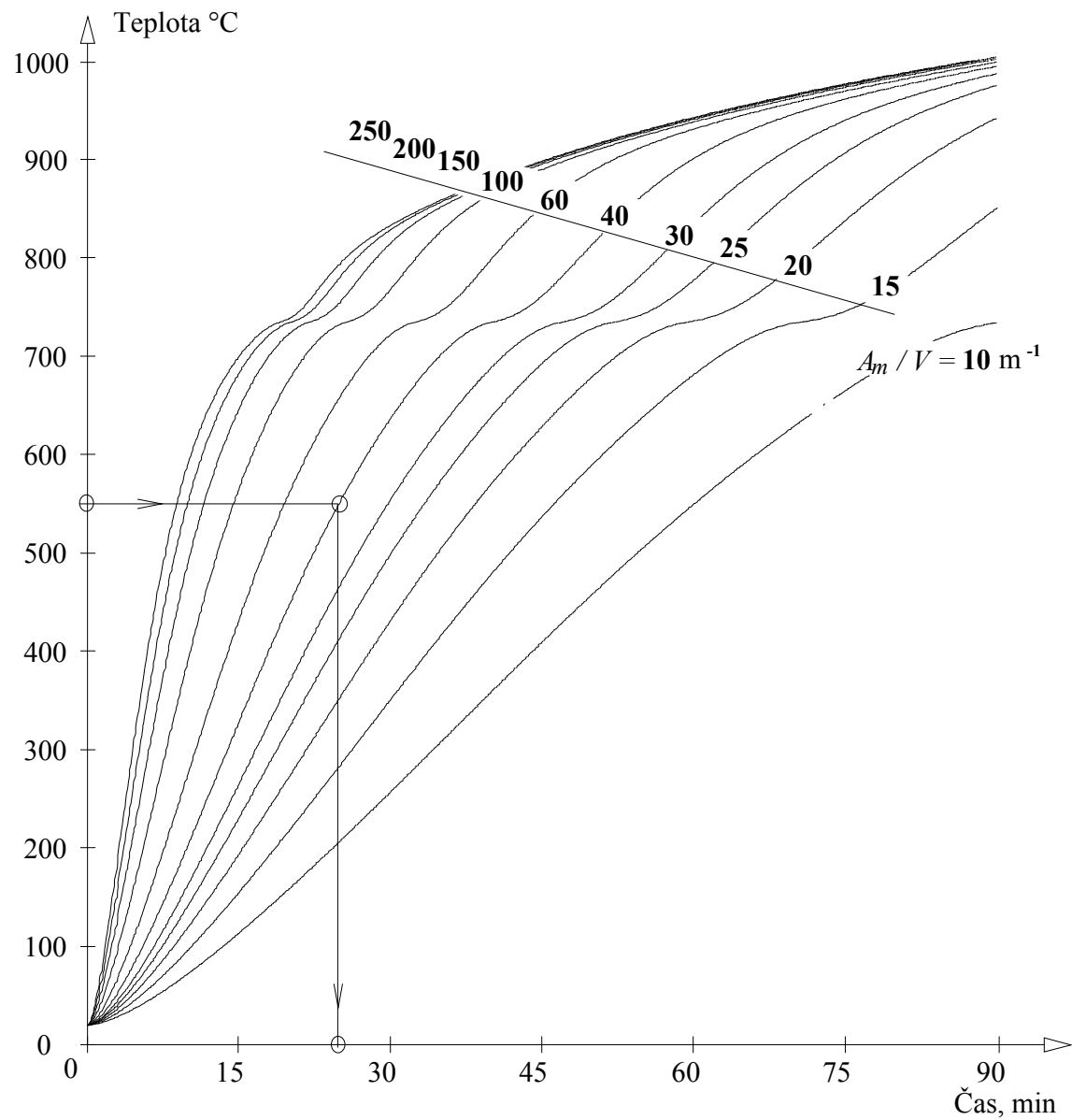
Přírůstková metoda

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

výpočet v tabulce (excel)

t		t	θ _g	h _{net,r}	h _{net,c}	h _{net,d}	c _a	Δθ _{a,t}	θ _{a,t}
min	sec	min	20.0				J/kg K		20.0
0	0	0	20.0	0	0	0	440	0.00	20.0
0	5	0.083	96.5	448	2679	3126	440	1.18	21.2
0	10	0.167	147.0	937	4402	5339	441	2.00	23.2
0	15	0.250	184.6	1435	5650	7085	442	2.65	25.8
0	20	0.333	214.7	1928	6610	8538	444	3.18	29.0
0	25	0.417	239.7	2412	7374	9787	446	3.63	32.6
0	30	0.500	261.1	2885	7998	10882	449		

Teplota ocelového nechráněného průřezu, normová křivka



Přírůstek teploty chráněného průřezu

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

kde $\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$ $\Delta\theta_{a,t} \geq 0$

λ_p tepelná vodivost požárně ochranného materiálu [$W / m K$]

A_p / V součinitel průřezu pro chráněné prvky [m^{-1}]

d_p tloušťka požárně ochranného materiálu [m]

ρ_p objemová hmotnost požárně ochranného materiálu [kg/m^3]

ρ_a objemová hmotnost oceli [$\rho_a = 7850 kg/m^3$]

c_p měrné teplo požárně ochranného materiálu [$J / kg K$]

c_a měrné teplo oceli

$\Delta\theta_{g,t}$ pro přírůstek okolní teploty během časového intervalu

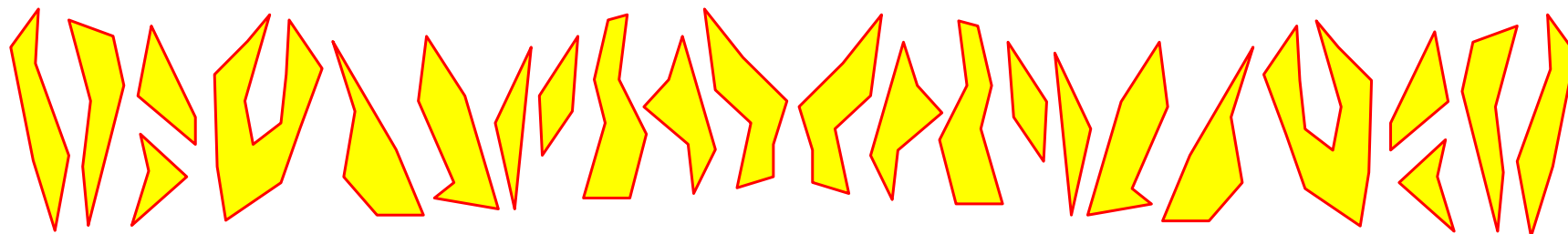
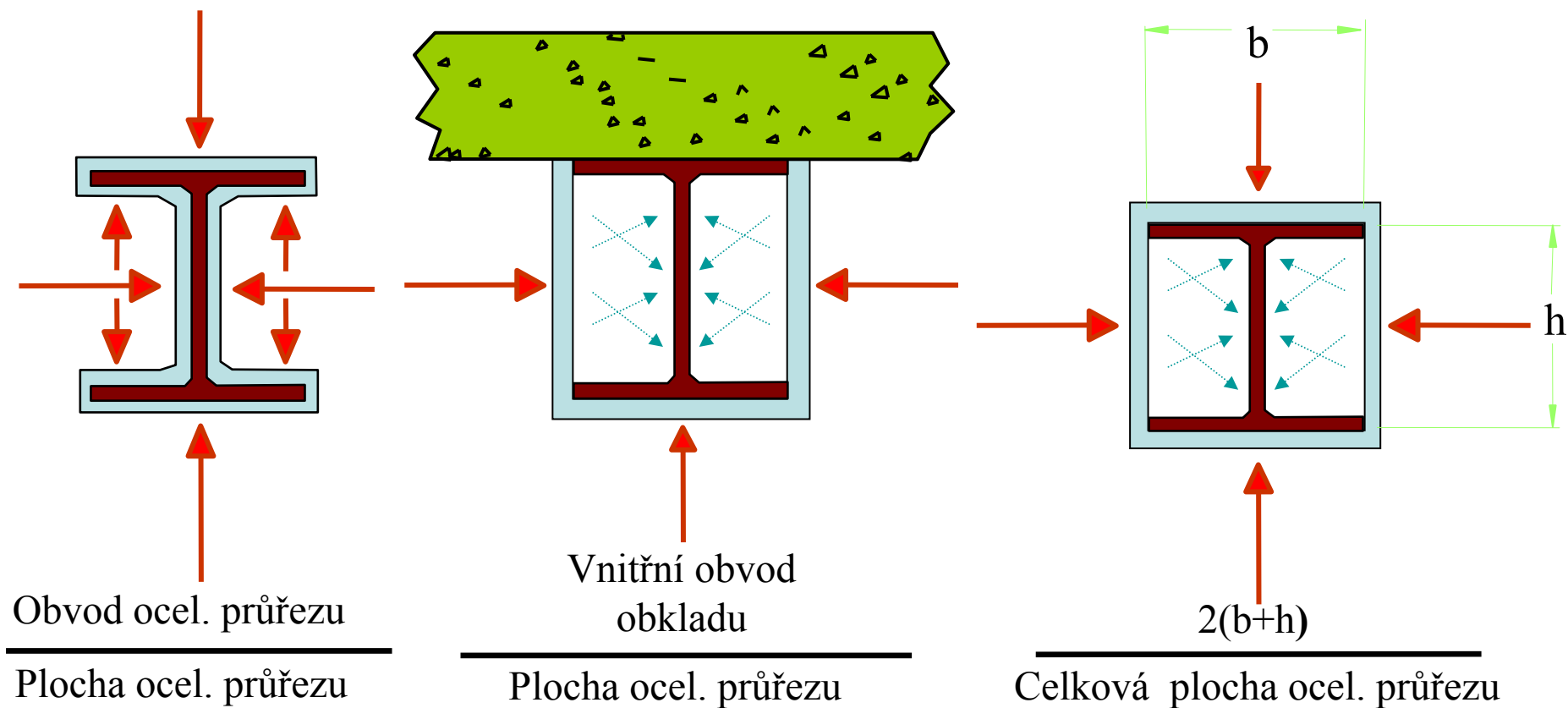
Δt v sekundách, který se nemá brát větší než 30 sekund

Orientační hodnoty vlastností tepelně izolačních materiálů

Tepelně izolační materiál	Objemová hmotnost ρ_p [kg m ⁻³]	Obsah vlhkosti %	Tepelná vodivost λ_p [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Měrné teplo c_p [J kg ⁻¹ K ⁻¹]
Nástříky minerální vlákna	300	1	0,12	1200
vermiculit	350	15	0,12	1200
perlit	350	15	0,12	1200
Hutné nástříky vermiculit (perlit) a cement	550	15	0,12	1100
vermiculit (perlit) a sádra	650	15	0,12	1100
Desky vermiculit (perlit) a cement	800	15	0,20	1200
silikátová (vápenosilikátová) vlákna	600	3	0,15	1200
silikátová (vápenosilikátová) vlákna a cement	800	5	0,15	1200
sádrové desky	800	20	0,20	1700
slisované vláknité ze silikátových vláken, minerální vlny, čedičové vlny	150	2	0,20	1200
Zpěnitelné (intumescenční) nátěry	100	0	0,10	1200
Beton běžný	2300	4	1,60	1000
lehčený	1600	5	0,80	840
Zdivo z dutých cihel	1000	8	0,40	1200
z plných cihel	2000	8	1,20	1200
z betonových bloků	2200	8	1,00	1200

Nepoužívat vlastnosti materiálů určených „za studena“!

Součinitel průřezu A_p/V – chráněný průřez



Přírůstková metoda

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

teplota plynů (podle zvolené teplotní křivky - modelu)

přírůstek teploty

měrné teplo oceli

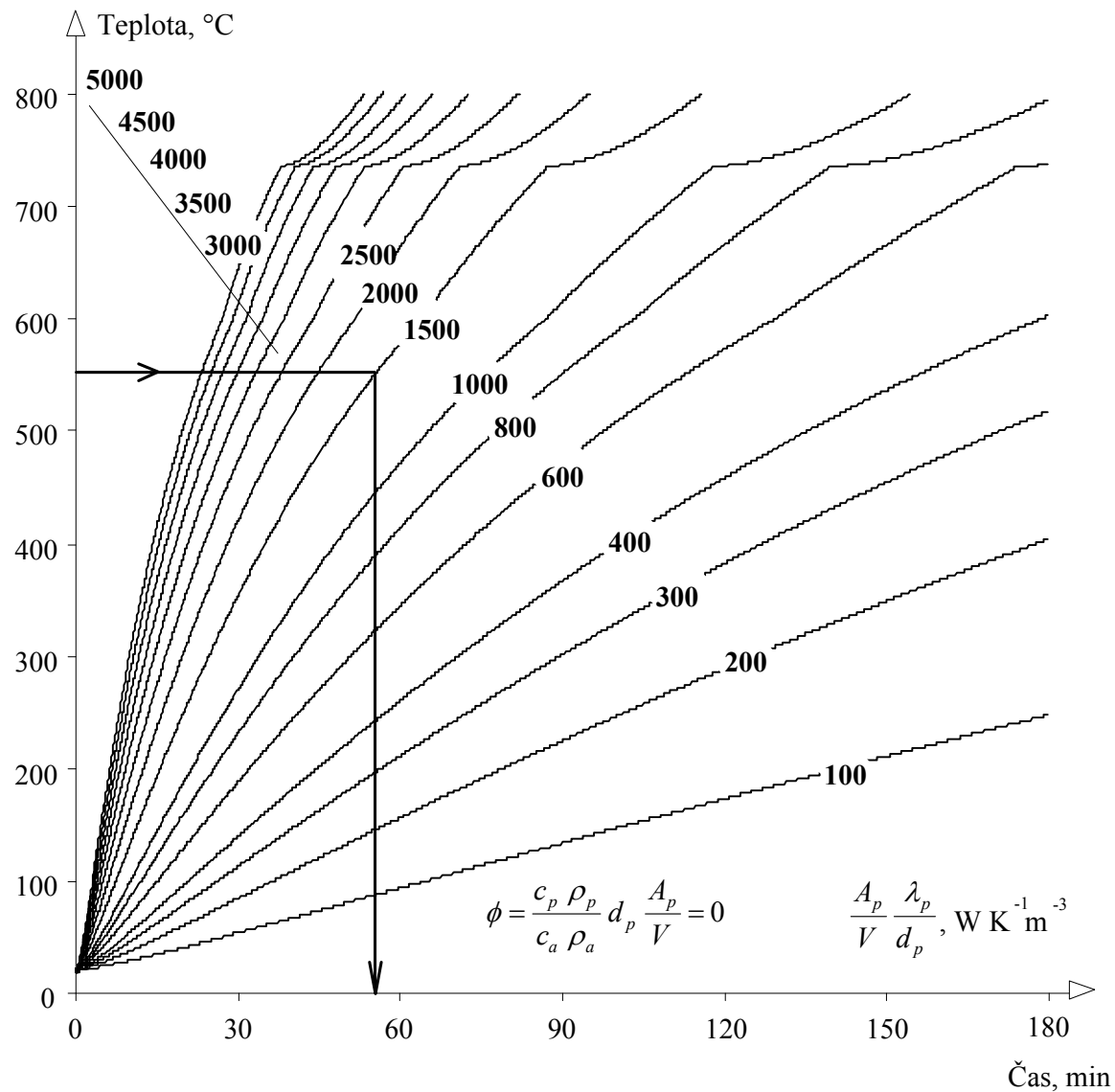
vlastnosti ochranného materiálu

teplota průřezu v čase t

výpočet v tabulce (excel)

t		t	θ_g	c_a	c_p	λ_p	ϕ	$\Delta\theta_{a,t}$	$\theta_{a,t}$
<i>min</i>	<i>sec</i>	<i>min</i>	20.0	J/kg K	J/kg K		2.044		20.0
0	0	0	20.0	440	1700	0.2	2.045		20.0
0	30	0.500	96.5	440	1700	0.2	2.045	0.0	20.0
1	0	1.000	147.0	440	1700	0.2	2.045	0.0	20.0
1	30	1.500	184.6	440	1700	0.2	2.045	0.0	20.0
2	0	2.000	214.7	440	1700	0.2	2.045	0.0	20.0
2	30	2.500	239.7	440	1700	0.2	2.045	0.0	20.0
3	0	3.000	261.1	440	1700	0.2	2.045	0.0	20.0
3	30	3.500	262.1	440	1700	0.2	2.045	0.5	20.5
4	0	4.000	263.1	440	1700	0.2	2.043	1.7	22.3
4	30	4.500	264.1	441	1700	0.2	2.038	2.6	24.9
5	0	5.000	265.1	443	1700	0.2	2.030	3.3	28.2
5	30	5.500	266.1	445	1700	0.2	2.019	3.9	32.0
6	0	6.000	267.1	448	1700	0.2	2.007	4.3	36.3
6	30	6.500	268.1	451	1700	0.2	1.995	4.7	41.0
7	0	7.000	269.1	454	1700	0.2	1.981	5.0	46.0
7	30	7.500	270.1	457	1700	0.2	1.968	5.2	51.2
8	0	8.000	271.1	460	1700	0.2	1.954	5.4	

Teplota ocelového chráněného průřezu, normová křivka



Redukční součinitel zatížení

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

kde

- G_k je součet stálých zatížení,
- $Q_{k,1}$ dominantní nahodilé zatížení,
- $\gamma_{GA} = 1,0$ dílčí součinitel stálého zatížení pro mimořádnou návrhovou situaci;
- $\psi_{1,1}$, součinitel kombinace (častá hodnota zatížení, $\psi_{1,1} = 0,5$ nebo kvazistálá hodnota zatížení $\psi_{2,1} = 0,3$);
- $\gamma_G = 1,35$ dílčí součinitel stálého zatížení a
- $\gamma_{Q,1} = 1,5$ dílčí součinitel nahodilého zatížení.

pro obytné a kancelářské budovy

Jednoduchý model

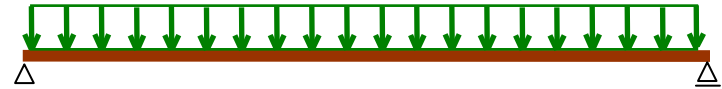
Běžná návrhová situace, jedno nahodilé zatížení.

- zatížení

$$f_d = \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

- ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} f_d L^2$$



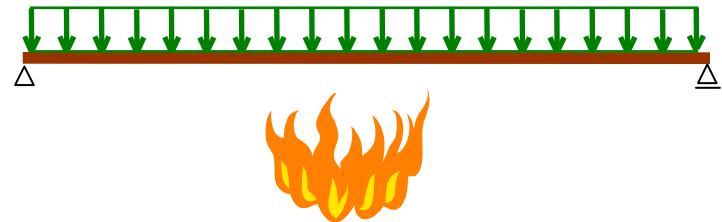
Mimořádná návrhová situace (požár)

- redukční součinitel zatížení η_{fi}

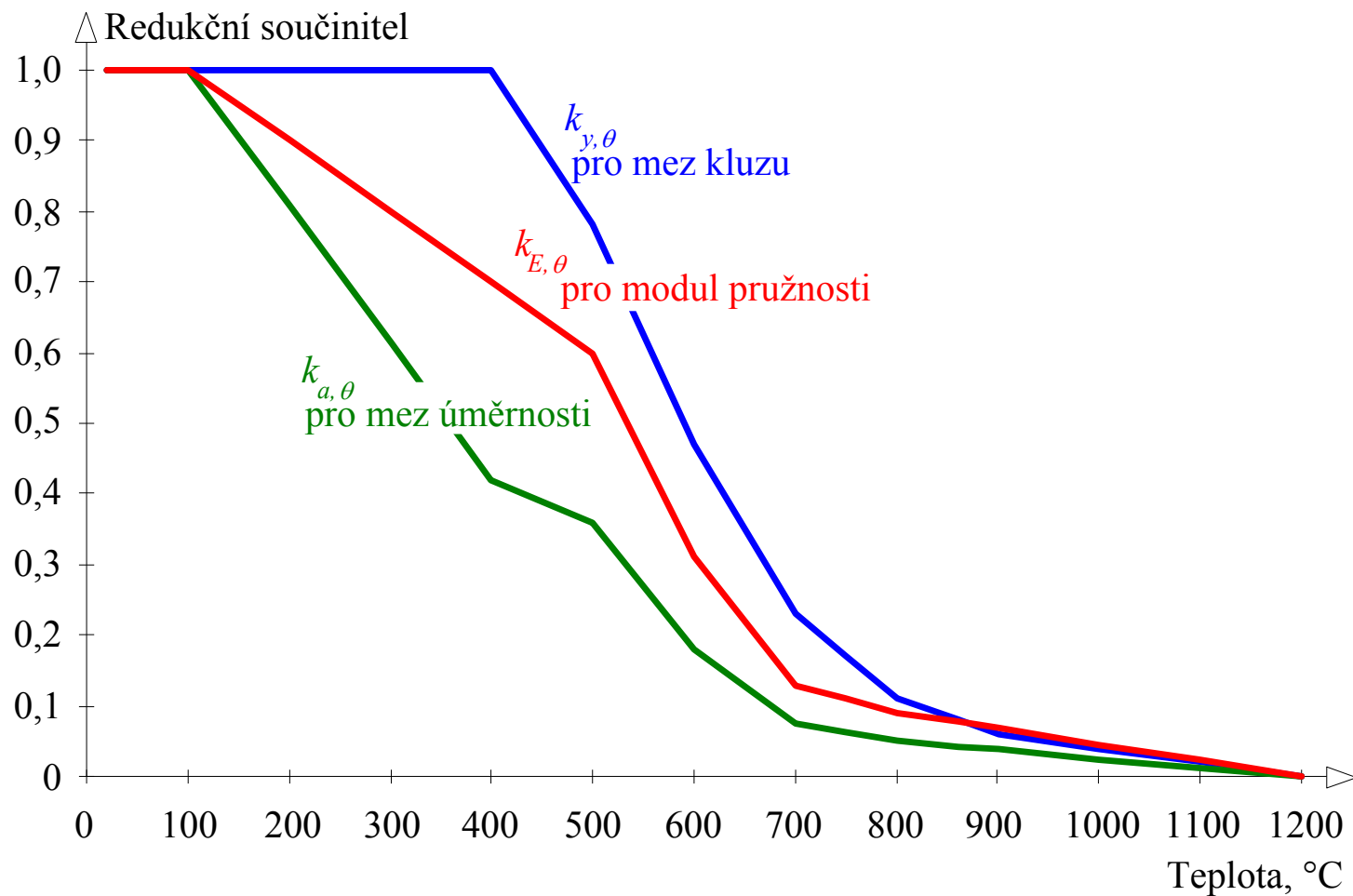
$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

- ohybový moment

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



Vlastnosti oceli při vysokých teplotách



Vlastnosti oceli při vysokých teplotách

redukční součinitele pro ocel válcovanou za tepla			
teplota	pro mez kluzu	pro mez úměrnosti	pro modul pružnosti
20	1.000	1.000	1.000
100	1.000	1.000	1.000
200	1.000	0.807	0.900
300	1.000	0.613	0.800
400	1.000	0.420	0.700
500	0.780	0.360	0.600
600	0.470	0.180	0.310
700	0.230	0.075	0.130
800	0.110	0.050	0.090
900	0.060	0.0375	0.0675
1000	0.040	0.0250	0.0450
1100	0.020	0.0125	0.0225
1200	0.000	0.0000	0.0000

Klasifikace za zvýšené teploty

redukované ε

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Prvek	Třída 1	Třída 2	Třída 3
Pásnice	$c/t_f=10 \varepsilon$	$c/t_f=11 \varepsilon$	$c/t_f=15 \varepsilon$
Ohýbaná stěna	$d/t_w=72 \varepsilon$	$d/t_w=83 \varepsilon$	$d/t_w=124 \varepsilon$
Tlačená stěna	$d/t_w=33 \varepsilon$	$d/t_w=38 \varepsilon$	$d/t_w=42 \varepsilon$

Ztráta stability při ohybu

Pro 1. a 2. třídu

- redukce meze kluzu se provádí podle teploty tlačené pásnice
- konzervativně lze dosadit nejvyšší dosaženou teplotu

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} \frac{W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

součinitel imperfekce α

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Pro 3. třídu

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} \frac{W_{el,y} k_{y,\theta,com} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

Štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}$$

Vzpěrnostní součinitel

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\varphi_{LT,\theta} + \sqrt{\varphi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2}}$$

kde

$$\varphi_{LT,\theta} = \frac{1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2}{2}$$