

## Část 5.2 Lokalizovaný požár

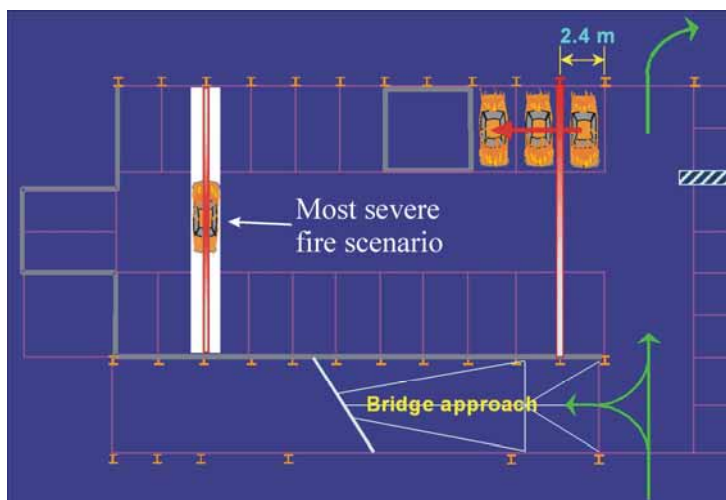
P. Schaumann, T. Trautmann  
*University of Hannover*

J. Žižka  
*České vysoké učení technické v Praze*

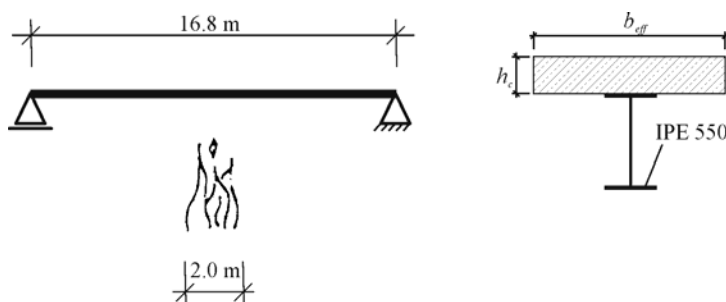
### 1 ZADÁNÍ

Cílem příkladu je určit teplotu ocelového nosníku, který je součástí stropu podzemního parkoviště pod obchodním centrem v Auchan, Lucembursko. Nosníky nejsou chráněny proti účinkům požáru. Nejhorší požární scénář představuje automobil hořící uprostřed rozpětí nosníku, viz obrázek 1.

Teplota ocelového nosníku se stanoví analytickým modelem pro lokalizovaný požár.



Obrázek 1. Podzemní parkoviště nákupního centra v Auchan  
kde Most severe fire scenario je nejnepříznivější požární scénář a  
Bridge approach je přístupová rampa.



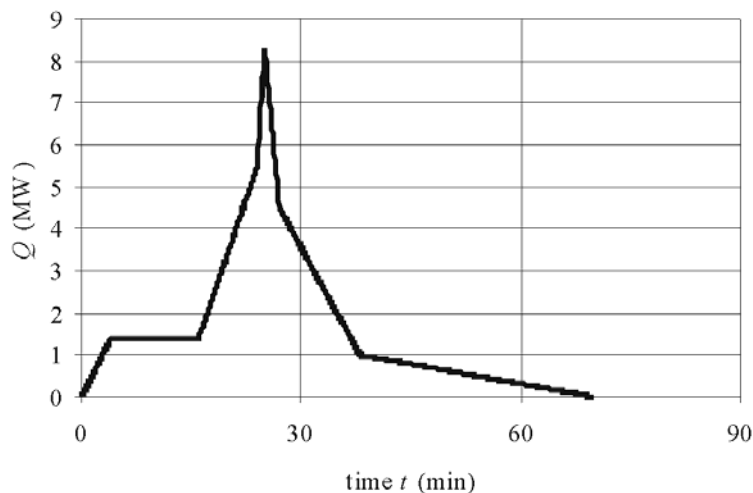
Obrázek 2. Statické schéma a průřez nosníku

Průměr ohně hořícího objektu:	$D$	= 2,0 m
Svislá vzdálenost mezi zdrojem požáru a stropem:	$H$	= 2,7 m
Vodorovná vzdálenost mezi nosníkem a svislou osou požáru:	$r$	= 0,0 m
Emisivita plamenů:	$\varepsilon_f$	= 1,0
Polohový faktor:	$\Phi$	= 1,0
Stefan-Boltzmannova konstanta:	$\sigma$	= $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
Součinitel přestupu tepla:	$\alpha_c$	= 25,0 W/m <sup>2</sup> K
Ocelový průřez:	IPE 550	
Součinitel průřezu:	$A_m/V$	= 140 1/m
Hustota:	$\rho_a$	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
Emisivita povrchu:	$\varepsilon_m$	= 0,7
Součinitel vlivu zastínění části průřezu:	$k_{sh}$	= 1,0

## 2 RYCHLOST UVOLŇOVÁNÍ TEPLA

Projekt ECSC

Rychlost uvolňování tepla se pro normální konstrukce určí podle EN 1991-1-2 Kapitola E.4. Pro návrh nosníku podzemní garáže vypočítáme rychlost uvolňování tepla dle projektu ECSC nazvaného "Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in CLOSED CAR PARKS" (= „Určení návrhových pravidel pro konstrukce vystavené přirozenému požáru v uzavřených garážích“), viz obrázek 3.



Obrázek 3. Rychlost uvolňování tepla pro jeden osobní automobil v čase kde time t (min) je čas v minutách

## 3 VÝPOČET TEPLoty NOSNÍKU

2

EN 1991-1-

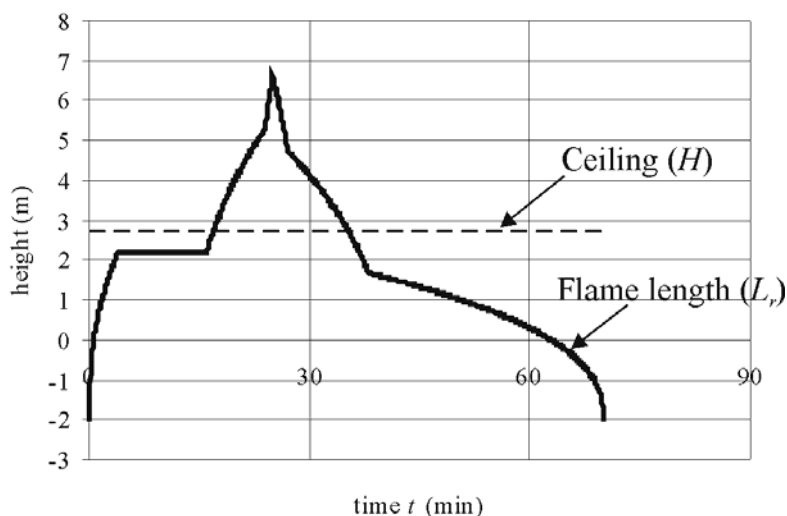
### 3.1 Výpočet délky plamenů

Nejdříve určíme délku plamenů:

$$L_f = -1,02 \cdot D + 0,0148 \cdot Q^{2/5} = -2,04 + 0,0148 \cdot Q^{2/5}$$

Příloha C

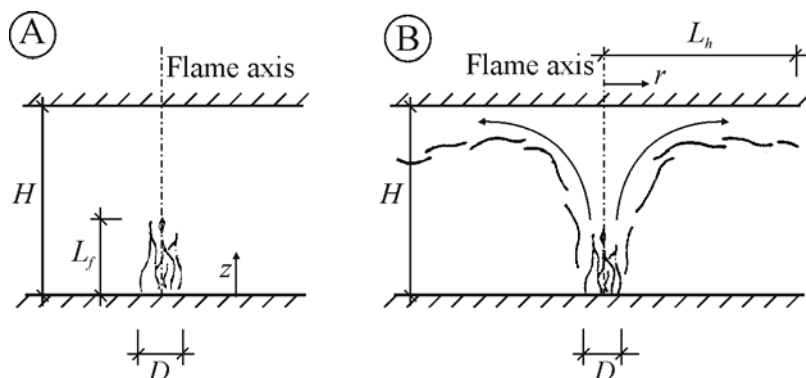
Při použití hodnot  $Q$  z obrázku 3 je průběh funkce  $L_f(t)$  znázorněn na obrázku 4. Při světlé výšce garáže 2,80 m zasahují plameny ohně strop v čase od 16,9 minut do 35,3 minut (viz obrázek 4).



Obrázek 4. Délka plamenů lokalizovaného požáru

kde	time $t$ (min)	je čas v minutách
	height (m)	výška v metrech
	Ceiling ( $H$ )	světla výška garáže v metrech
	Flame length ( $H$ )	délka plamenů

Rozhodnutí, zda plameny zasahují strop, je nutné k určení dalšího výpočetního postupu. Pro výpočet hodnoty tepelného toku existují dva přístupy. První platí pro případ, kdy plameny nezasahují strop, viz obrázek 5a. Druhý použijeme v případě, kdy plameny zasahují strop, viz obrázek 5b.



Obrázek 5. Modely požáru: (A) Plameny nezasahují strop;  
(B) Plameny zasahují strop

kde: Flame axis je osa ohně.

### 3.2 Výpočet tepelného toku

#### 3.2.1 1. případ: Plameny nezasahují strop

Výpočet celkového tepelného toku provedeme dle kapitoly 3.1 normy EN 1991-1-2.

$$\begin{aligned}\dot{h}_{net} &= \alpha_c \cdot (\theta_{(z)} - \theta_m) + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left( (\theta_{(z)} + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right) \\ &= 25,0 \cdot (\theta_{(z)} - \theta_m) + 3,969 \cdot 10^{-8} \cdot \left( (\theta_{(z)} + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)\end{aligned}$$

Teplotu plynu v úrovni stropu:

$$\begin{aligned}\theta_{(z)} &= 20 + 0,25 \cdot (0,8 \cdot Q)^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \text{ °C} \\ &= 20 + 0,25 \cdot (0,8 \cdot Q)^{2/3} \cdot (4,74 - 0,0052 \cdot Q^{2/5})^{-5/3} \leq 900 \text{ °C}\end{aligned}$$

kde:

- $z$  je výška podél osy ohně (2,7 m), viz obrázek 5a  
 $z_0$  je virtuální počátek osy  $z$  v metrech

$$z_0 = -1,02 \cdot D + 0,0052 \cdot Q^{2/5} = -2,04 + 0,0052 \cdot Q^{2/5}$$

### 3.2.2 2. případ: Plameny zasahují strop

Uuríme celkový tepelný tok pro případ, kdy plameny zasahují strop:

$$\begin{aligned}\dot{h}_{net} &= \dot{h} - \alpha_c \cdot (\theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left( (\theta_m + 273)^4 - (293)^4 \right) \\ &= \dot{h} - 25,0 \cdot (\theta_m - 20) - 3,969 \cdot 10^{-8} \cdot \left( (\theta_m + 273)^4 - (293)^4 \right)\end{aligned}$$

Kde tepelný tok  $\dot{h}$  závisí na parametru  $y$ :

$$\text{pro } y \leq 0,30: \quad \dot{h} = 100000$$

$$\text{pro } 0,30 < y < 1,0: \quad \dot{h} = 136300 - 121000 \cdot y$$

$$\text{pro } y \geq 1,0: \quad \dot{h} = 15000 \cdot y^{-3,7}$$

Parametr  $y$  je dán vztahem:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} = \frac{2,7 + z'}{L_h + 2,7 + z'}$$

Vodorovnou délku plamene určíme z rovnice:

$$L_h = \left( 2,9 \cdot H \cdot (Q_H^*)^{0,33} \right) - H = \left( 7,83 \cdot (Q_H^*)^{0,33} \right) - 2,7$$

kde:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot 2,7^{2,5})$$

Svislá pozice zdánlivého tepelného zdroje je:

pro  $Q_D^* < 1,0$ :

$$z' = 2,4 \cdot D \cdot \left( (Q_D^*)^{2/5} - (Q_D^*)^{2/3} \right) = 4,8 \cdot \left( (Q_D^*)^{2/5} - (Q_D^*)^{2/3} \right)$$

pro  $Q_D^* \geq 1,0$ :

$$z' = 2,4 \cdot D \cdot \left( 1,0 - (Q_D^*)^{2/5} \right) = 4,8 \cdot \left( 1,0 - (Q_D^*)^{2/5} \right)$$

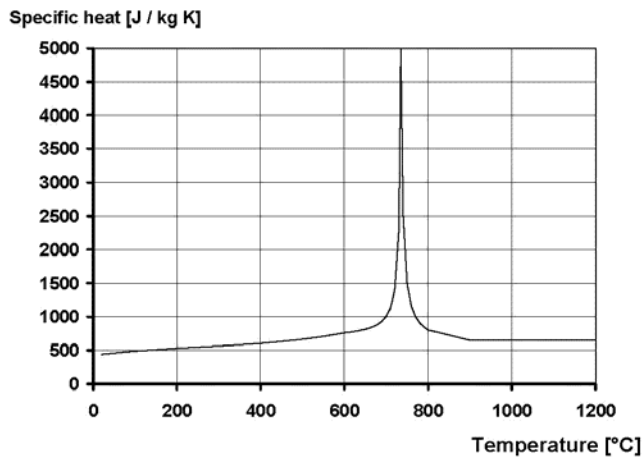
kde:

$$Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot 2,0^{2,5})$$

### 3.3 Výpočet teploty oceli

Pro učení teploty oceli potřebujeme znát měrné teplo oceli  $c_a$ . Jeho hodnota je dána v EN 1993-1-2, Kapitola 3.4.1.2 a závisí na teplotě oceli.

Kapitola 3.4.1.2



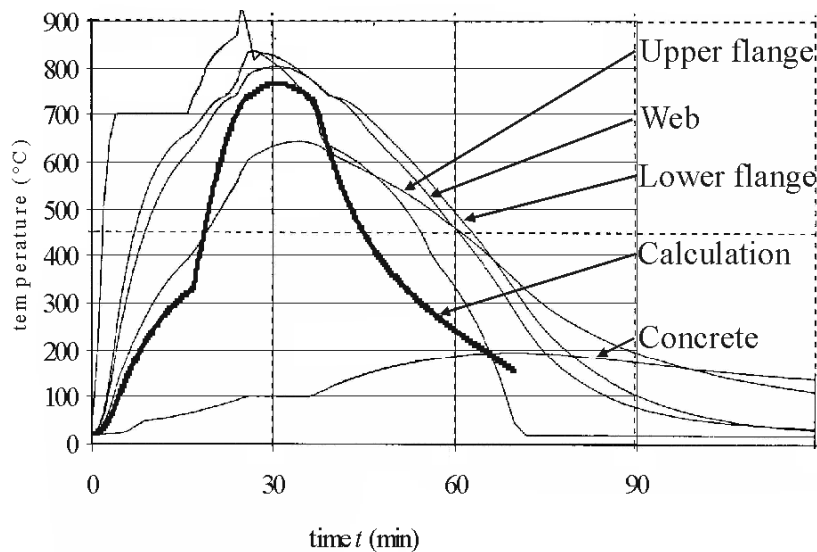
Obrázek 6. Měrné teplo uhlíkové oceli (viz EN 1993 část 1-2, obrázek 3.4)

kde Temperature [°C] je teplota ve stupních Celsia  
Specific heat [J/kg K] měrné teplo v J/Kg K

$$\theta_{a,t} = \theta_m + k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t = \theta_m + \frac{1,78 \cdot 10^{-2}}{c_a} \cdot \dot{h}_{net}$$

čl 4.2.5.1

Teplota oceli je znázorněna na obrázku 7. Pro možnost porovnání jsou na obrázku také zobrazeny výsledky výpočtu metodou konečných prvků vypočtenou v programu PROFILARBED.



Obrázek 7. Porovnání teplotní křivky oceli pomocí ručního výpočtu a analýzou MKP programu PROFILARBED

kde time t (min) je čas v minutách,  
temperature (°C) teplota ve stupních Celsia,  
Upper flange teplota horní pásnice,  
Web teplota stojiny,  
Lower flange teplota spodní pásnice,  
Calculation teplota podle ručního výpočtu,  
Concrete teplota betonu.

## LITERATURA

EN 1991, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*, Brussels: CEN, November 2002

EN 1993, *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design*, Brussels: CEN, October 2006

ECSC Project, *Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in CLOSED CAR PARKS*, CEC agreement 7210-SA/211/318/518/620/933, Brussels, June 1996