

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**

## **134SEP - Seminární práce**

### **Modelování lokálního požáru**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

Vedoucí práce: prof. Ing. František Wald, CSc.

**Bc. Tomáš Fait**

---

**Praha 2012**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 12. 2012

Tomáš Fait

## Obsah

1	Úvod.....	4
2	Požární zkoušky.....	4
2.1	Požární zkouška malého požárního úseku .....	4
2.2	Požární zkouška velkého požárního úseku .....	10
3	Modelování lokálního požáru .....	12
3.1	Hustota požárního zatížení.....	12
3.2	Rychlost uvolňování tepla.....	13
3.3	Modelování lokálního požáru metodou Heskestad .....	14
3.4	Modelování lokálního požáru metodou Hasemi.....	16
4	Aplikace lokálního požáru .....	18
4.1	Sprinklery a lokální požár .....	18
4.2	Požáry v garážích .....	19
5	Závěr.....	20
6	Příklad .....	21
6.1	Analytický model .....	22
6.2	CFD model .....	23
	Seznam použité literatury .....	27

# 1 Úvod

Při navrhování konstrukcí za požáru je třeba dodržet vhodný postup návrhu konstrukcí. V první části se řeší teplotní analýza požárního úseku. Následuje výpočet přestupu tepla do konstrukce, návrh konstrukce za požární situace. Seminární práce se zabývá teplotní analýzou požárního úseku.

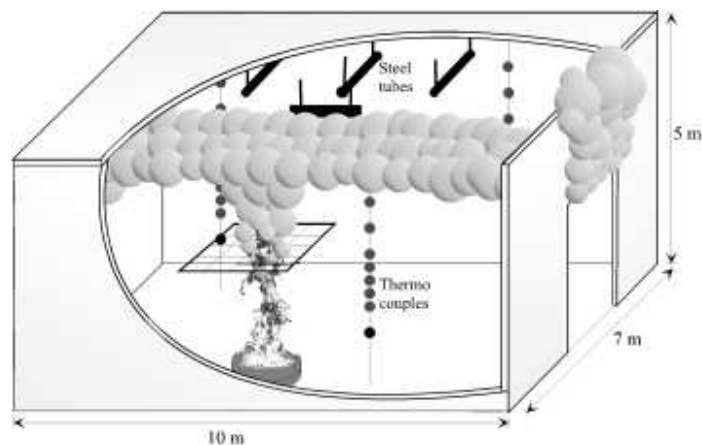
V požárním úseku lze uvažovat dva druhy požárů. Plně rozvinutý požár, kdy se uvažuje teplota v celém požárním úseku ve všech místech stejná. A lokální požár na rozdíl od plně rozvinutého požáru je proměnný ve všech svých směrech, tzn. teplota v požárním úseku není všude stejná. Lze ho uvažovat ve velkých požárních úsecích s malým požárním zatížením, kde nemůže požár přejít do plně rozvinutého požáru. Jedná se například o prostory velkých hal, atria a podobně. Lokální požár lze uvažovat v prostorech, kde nemůže vzniknout dostatečná teplota potřebná k vzplanutí, nebo tam kde je požární zatížení rozmístěno tak, že se požár nemůže šířit, a také v místech kde je instalováno samočinné hasicí zařízení (Sokol Z. , 2010).

## 2 Požární zkoušky

Pro nové poznatky v oblasti lokálního požáru a v celé oblasti požární analýzy jsou důležité požární zkoušky a jejich srovnávání s vypočtenými daty. Zkoušky jsou nepřesnějšími modely navrhování konstrukcí, ale jsou drahé a časově náročné na přípravu.

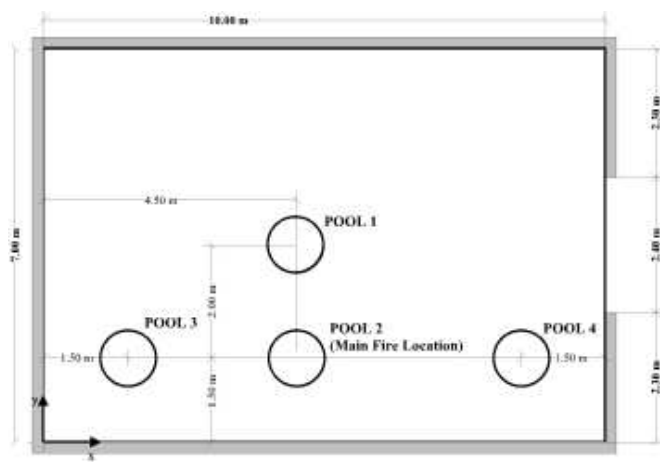
### 2.1 Požární zkouška malého požárního úseku

Zkoušený požární úsek měl rozměry 10 m x 7 m s výškou 5 m. Stěny byly navrženy z lehkého betonu a v pokoji byly jedny otevřené dveře pro přívod vzduchu. Zkouška sloužila pro zónové a CFD modely. V pokoji bylo měřeno rychlost odhořívání, teplota plynů, teplota stěn, tepelný tok, rychlost proudění vzduchu a koncentrace škodlivých spalin.



Obrázek 1 – Požární zkouška pokoje (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001)

Zkoušely se čtyři různé polohy umístění lokálního požáru, jak je vidět na obrázku 1. Požární zatížení simuloval heptan v ocelové nádobě na místech 1, 3 a 4 (obrázek 2) a plocha požáru se měnila od 0,4 m<sup>2</sup> do 2 m<sup>2</sup>. Rychlost uvolňování tepla se měnila od 950 kW do 4800 kW. Na místě 2 požární zatížení simulovalo dřevo. Šířka dveří se měnila od 1,2 m do 2,4 m. Dohromady bylo provedeno 10 různých požárů a 21 experimentů.



Obrázek 2 – Rozmístění lokálních požárů (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001)

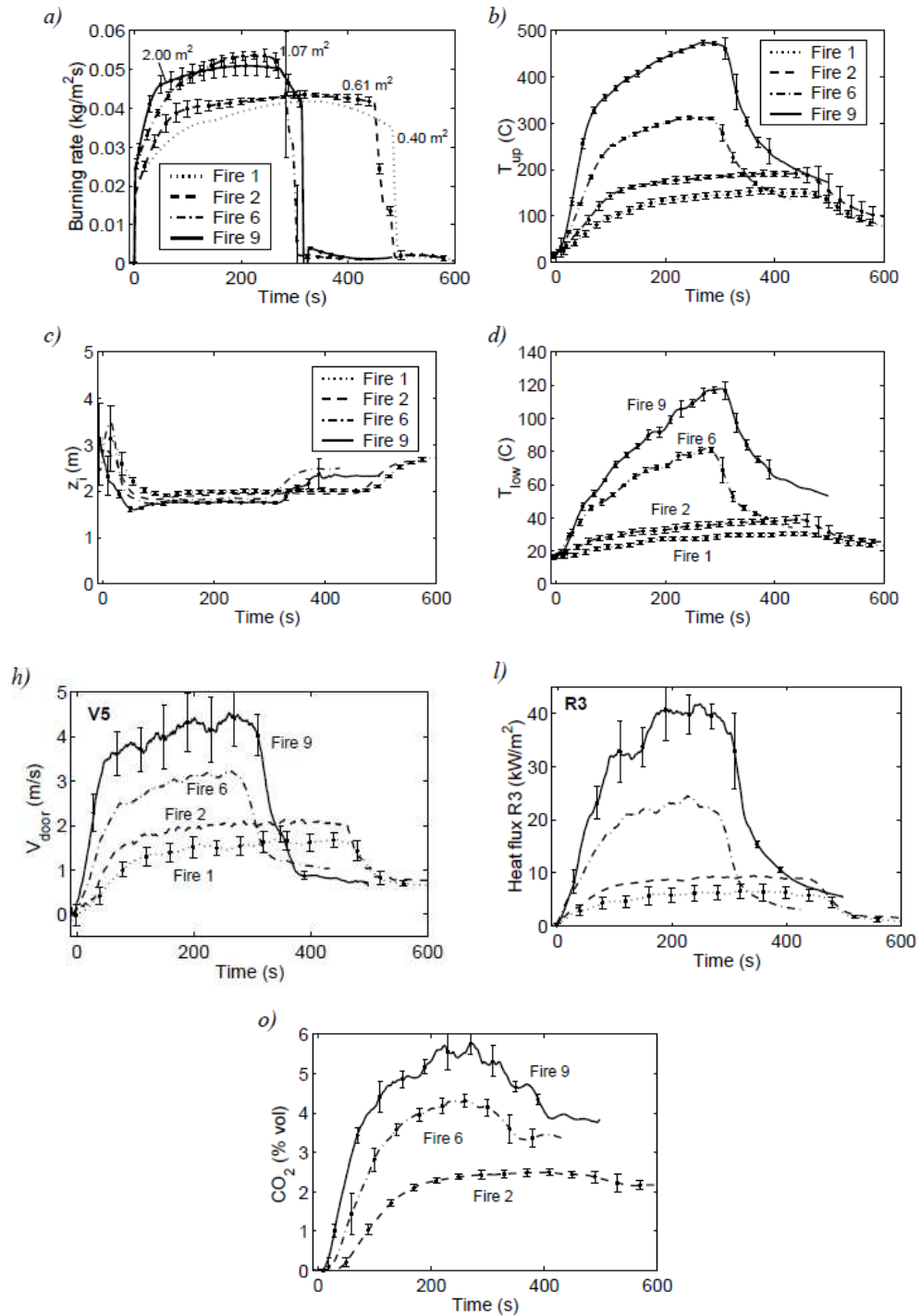
**Charakteristiky lokálních požárů v pokoji jsou zobrazeny v tab. č. 1.**

Tabulka 1 - Charakteristika lokálních požárů (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001)

Fire Type	Test No. & Date	Pool location	Pool size	Duration (min)	Nominal amount of fuel	Nominal RHR (kW)	$\Delta m_{fuel}$ (kg)
1	Test 0 12.10.98	#2	0.40 m <sup>2</sup> D = 0.71 m	4:00	4 l (20 mm)	950	2.92
1	Test 1 13.10.98	#2	0.40 m <sup>2</sup> D = 0.71 m	4:00	4 l (20 mm)	950	3.03
1	Test 2 14.10.98	#2	0.40 m <sup>2</sup> D = 0.71 m	8:27	10 l (50 mm)	1 440	7.22
2	Test 3 15.10.98	#2	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	7:45	15 l (20 mm)	1 440	11.09
2	Test 4 15.10.98	#2	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	7:55	15 l (20 mm)	1 440	11.48
2	Test 5 16.10.98	#2	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	8:14	15 l (20 mm)	1 440	11.39
3	Test 6 16.10.98	#3	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	7:55	15 l (20 mm)	1 440	11.04
4	Test 7 19.10.98	#1	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	8:00	15 l (20 mm)	1 440	10.92
4	Test 8 19.10.98	#1	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	7:45	15 l (20 mm)	1 440	10.97
5	Test 9 20.10.98	#4	0.61 m <sup>2</sup> D = 0.88 m	7:18	15 l (20 mm)	1 440	11.10
10	Test 10 20.10.98	#2	Wood cribs	21:30 (extinguished)	50 kg	700	38.21
6	Test 11 21.10.98	#2	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:15	20 l	2500	15.28
6	Test 12 21.10.98	#2	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:07	20 l	2500	14.60
6	Test 13 22.10.98	#2	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:21	20 l	2500	15.02
10	Test 14 22.10.98	#2	Wood cribs	≈ 40 min	50 kg	700	51.09
7	Test 15 23.10.98	#1	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:15	20 l	2500	14.79
7B	Test 16 23.10.98	#1	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:20	20 l	2500	14.33
8	Test 17 26.10.98	#2	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:20	20 l	2500	14.37
8	Test 18 26.10.98	#2	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	5:29	20 l	2500	14.72
9	Test 19 27.10.98	#2	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	5:30	40 l	4800	21.81
9	Test 20 27.10.98	#2	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	9:30	80 l	4800	59.27

Zkouška byla rozdělena na několik dílčích částí:

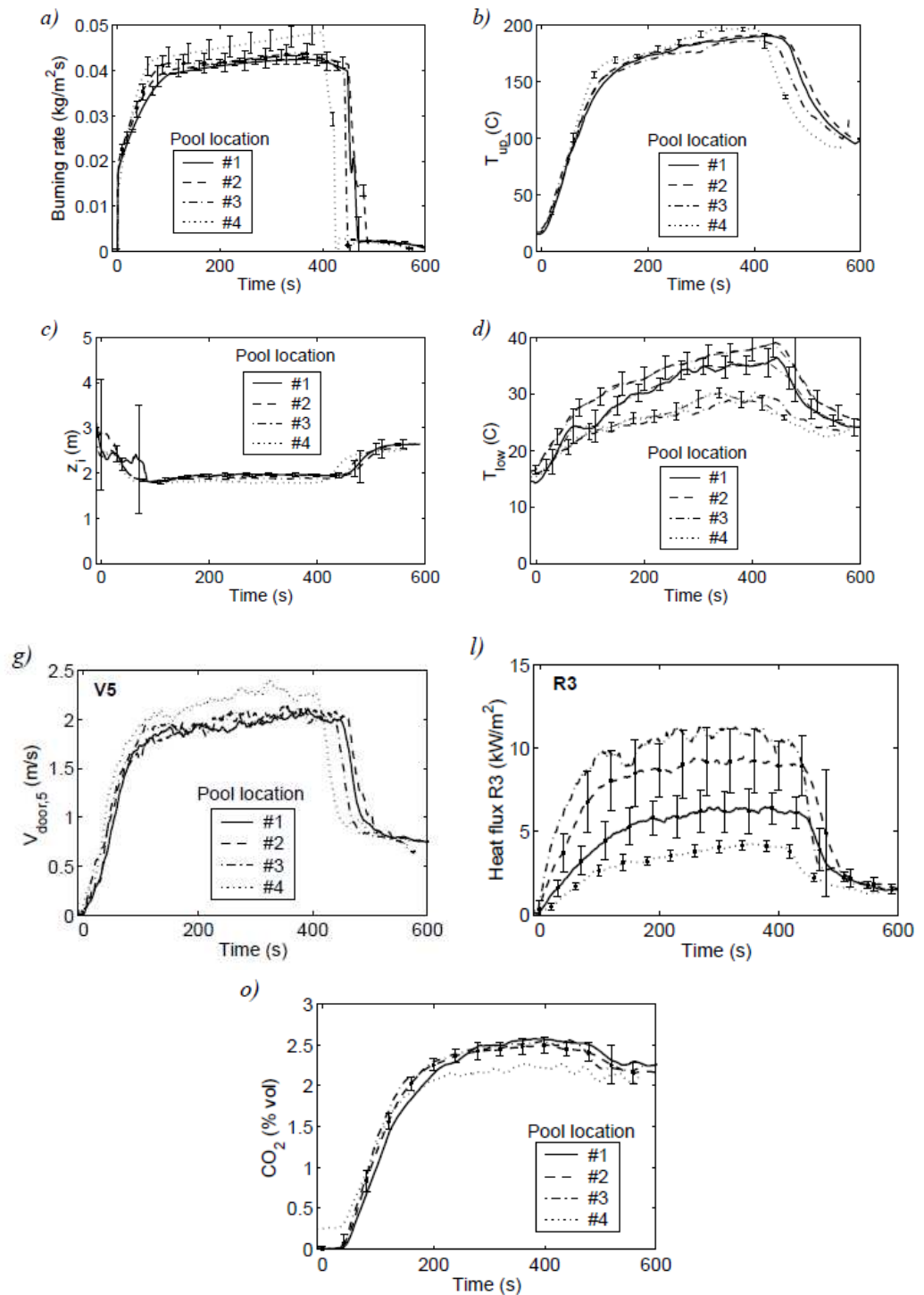
**Vliv plochy lokálního požáru je zobrazen na obr. č. 3.**



Obrázek 3 - Výsledky pokoje 1., a) rychlost odhořívání, b) teplota horní vrstvy, c) výška dosažného plamene, d) teplota spodní vrstvy, e) rychlost proudění vzduchu ve dveřích, f) rychlost uvolňování tepla, g) koncentrace oxidu uhličitého (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001).

**Vliv polohy lokálního požáru je zobrazen na obr. č. 4.**

Jednotlivé polohy lokálních požárů vidíme na obrázku č. 2.

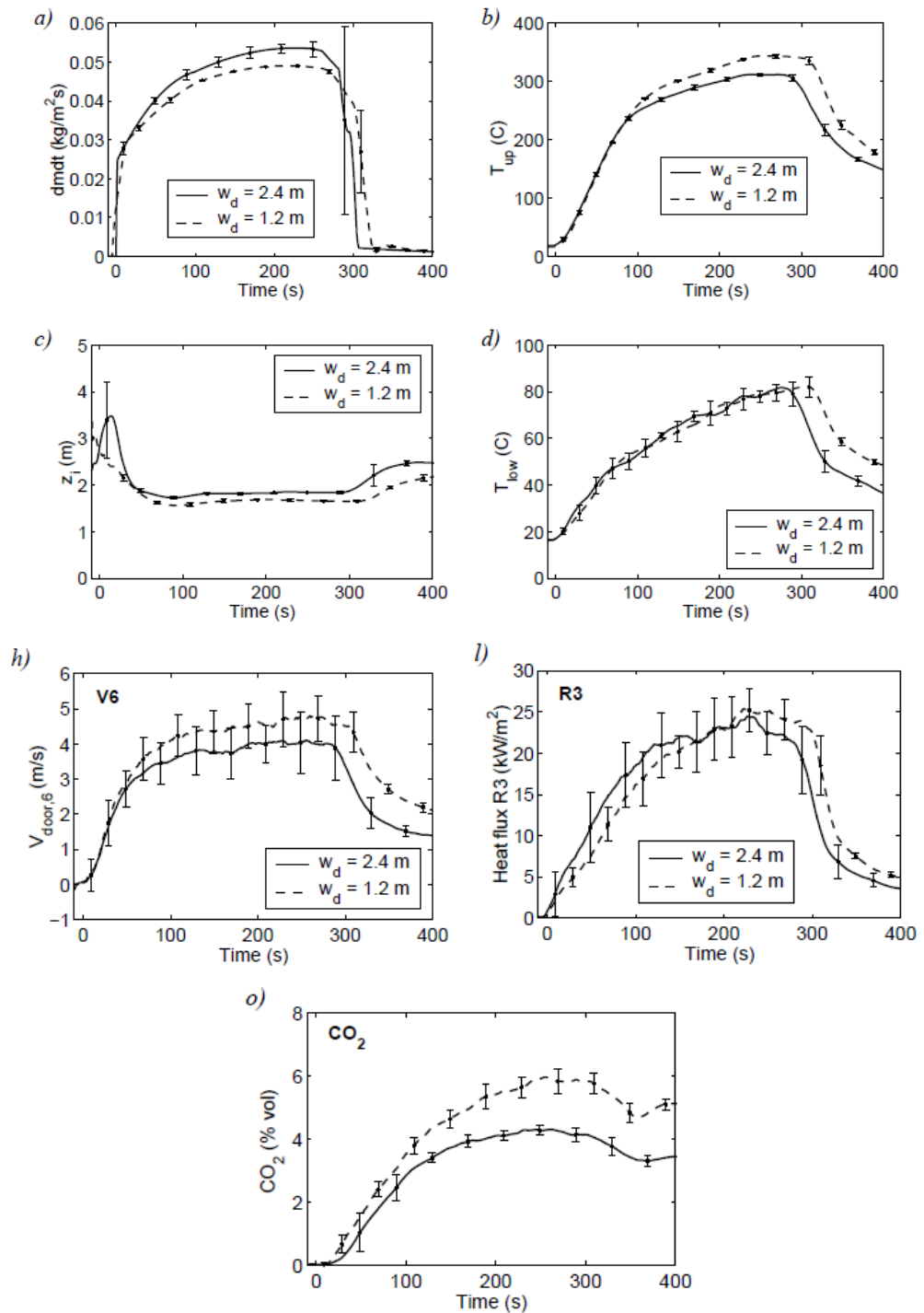


Obrázek 4 - Výsledky pokoje 2., a) rychlost odhořívání, b) teplota horní vrstvy, c) výška dosažného plamene, d) teplota spodní vrstvy, e) rychlost proudění vzduchu ve dveřích, f) rychlost uvolňování tepla, g) koncentrace oxidu uhličitého (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001).



### Vliv šířky dveří je zobrazen na obr. č. 5.

Zkoušená šířka dveří byla 2,4 m a 1,2 m.



Obrázek 5 - Výsledky pokoje 3., a) rychlost odhořívání, b) teplota horní vrstvy, c) výška dosažného plamene, d) teplota spodní vrstvy, e) rychlost proudění vzduchu ve dveřích, f) rychlost uvolňování tepla, g) koncentrace oxidu uhličitého (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001).

Z výsledků je patrné, že na umístění lokálního požáru ve zkoušeném pokoji v podstatě nezáleží a výsledky se liší jen dílčími hodnotami. Čím blíže je lokální požár otvoru, tedy přívodu vzduchu, tím větších dosahuje teplot, ale trvá kratší dobu. Experiment dokazuje, že záleží na ploše požáru a na šířce dveří. Tyto hodnoty nejsou pro modelování zanedbatelné (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001).

## 2.2 Požární zkouška velkého požárního úseku

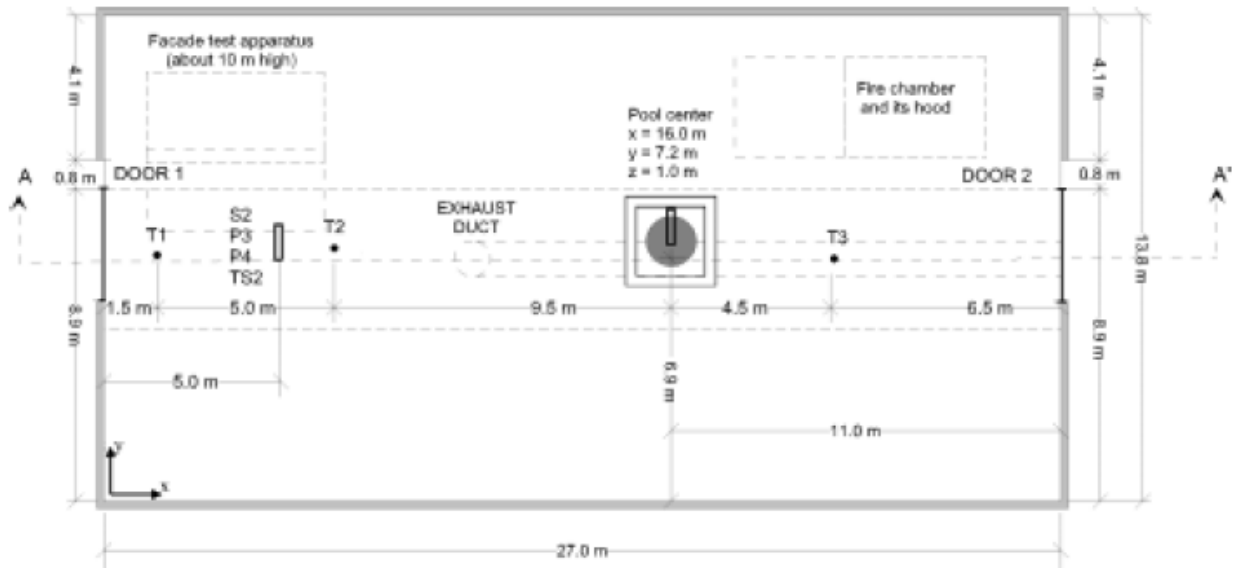
Zkoušená hala měla rozměry 27 m x 14 m s výškou 19 m. Stěny i strop haly byly plechové s izolací z minerální vlny. Zkouška sloužila pro podklady zónového a CFD modelů. V hale byla umístěna dvoje vrata, která byla otevřená na 0,8 m. Jejich šířka simulovala šířku unikajících osob. Hala byla větrána nuceně s výměnou vzduchu 11 m<sup>3</sup>/s. Požární zatížení simuloval heptan v ocelové nádobě na místech a plocha požáru se měnila od 1,07 m<sup>2</sup> do 2 m<sup>2</sup>. Rychlost uvolňování tepla se měnila od 2000 kW do 4000 kW.

**Charakteristiky lokálních požárů v hale jsou zobrazeny v tab. č. 2.**

Tabulka 2 - Charakteristika lokálních požárů (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001)

Test No.	Fire Type	Pool size	Duration (min:s)	Fuel mass (kg)	RHR approx. (kW)	Ventilation
Test 1 2.6.99	1	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	7:03	18.2	2000	No, doors closed
Test 2 3.6.99	1	1.07 m <sup>2</sup> D=1.17 m	4:10	18.7	2000	No, doors closed
Test 3 3.6.99	2	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	6:34	≈ 30	3700	No, doors closed
Test 4 3.6.99	2	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	6:26	29.2	3700	No, doors closed
Test 5 3.6.99	2	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	6:24	29.1	3700	No, doors closed
Test 6 7.6.99	3	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	5:47	29.3	4000	Exhaust 11 m <sup>3</sup> /s Doors 2 × 0.8×4.0 m <sup>2</sup>
Test 7 7.6.99	3	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	5:42	29.1	4000	Exhaust 11 m <sup>3</sup> /s Doors 2 × 0.8×4.0 m <sup>2</sup>
Test 8 7.6.99	3	2.0 m <sup>2</sup> D=1.60 m	8:37	43.5	4000	Exhaust 11 m <sup>3</sup> /s Doors 2 × 0.8×4.0 m <sup>2</sup>

**Půdorys haly je zobrazen na obr. č. 7.**



Obrázek 6 - Půdorys haly (Hostikka, Kokkala, Vaari, 2001)

**Výsledky haly jsou zobrazeny na obr. č. 8.**

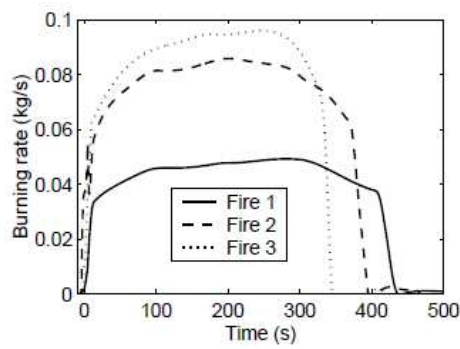


Figure 29a. Mass loss rates in Fire 1.

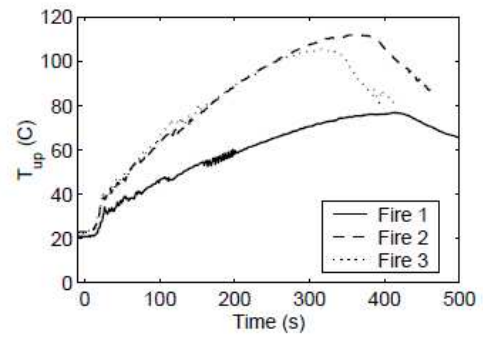


Figure 29b. Upper layer temperatures.

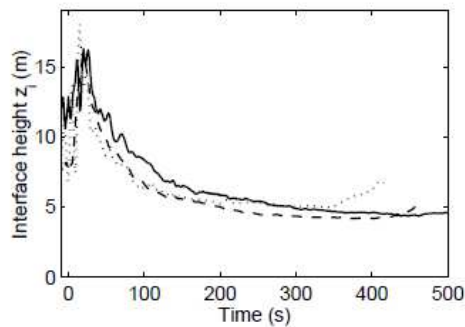


Figure 29c. Interface heights.

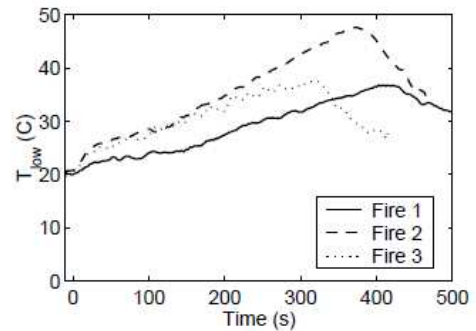


Figure 29d. Lower layer temperatures.

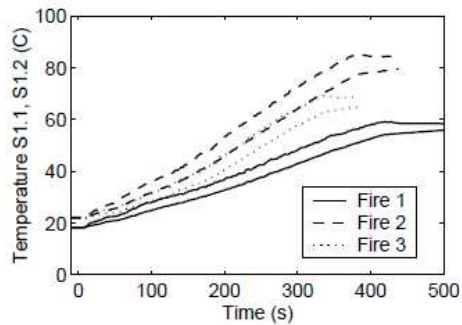


Figure 29g. Steel tube 1 temperatures.

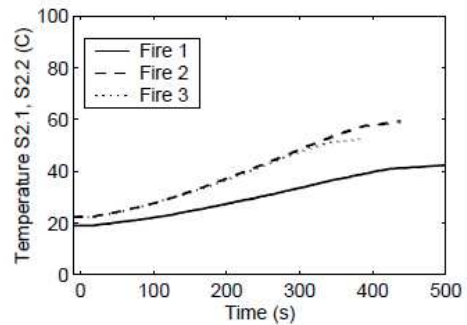


Figure 29h. Steel tube 2 temperatures.

Obrázek 7 - Výsledky haly, a) rychlost odhořívání, b) teplota horní vrstvy, c) výška dosažného plame-  
ne, d) teplota spodní vrstvy, g) Teplota oceli na prvku 1, h) Teplota oceli na prvku 2 (Hostikka, Kok-  
kala, Vaari , 2001.)

Z výsledků je patrné velký vliv plochy lokální požáru na teplotu v hale. Na hodnotách teplot je vidět  
že může být velmi výhodné modelovat a navrhovat konstrukce na lokální požár, protože dosahujeme  
nižších teplot než v případě plně rozvinutého požáru (Hostikka, Kokkala, Vaari , 2001).

### 3 Modelování lokálního požáru

Hoření je popisováno především rychlostí uvolňování tepla ve  $W$ , dále rychlostí pyrolýzy v  $kg/s$  a  
plochu zasaženou požárem v  $m^2$  v závislosti na čase. Vliv na tyto charakteristiky požáru mají tvar  
požárního úseku, charakteristika hořlavých materiálů, množství potřebného kyslíku a teplota  
v požárním úseku.

#### 3.1 Hustota požárního zatížení

Hustota požárního zatížení vyjadřuje množství hořlavých látek v požárním úseku. Ovlivňuje  
rozvoj teploty a v jeho důsledku dochází k přestupu tepla do konstrukce.

Hustota požárního zatížení se určí dle ČSN EN 1991-1-2, příloha E:

$$q_{f,k} = \Sigma(M_{k,i} \cdot H_{u,i} \cdot \Psi_i) \quad (1)$$

kde  $M_{k,i}$  je množství hořlavého materiálu v kg,  $H_{u,i}$  je čistá výhřevnost v MJ/kg,  $\Psi_i$  je součinitel pro chráněné požární zatížení, dále:

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

kde  $q_{f,k}$  je charakteristické požární zatížení v MJ/m<sup>2</sup>,  $m$  je součinitel hoření,  $\delta_{q1}$  součinitel velikosti požárního úseku,  $\delta_{q2}$  součinitel účelu stavby,  $\delta_n$  součinitel proti požárnímu zařízení (ČSN EN 1991-1-2 Eurokod 1, 2002).

### 3.2 Rychlost uvolňování tepla

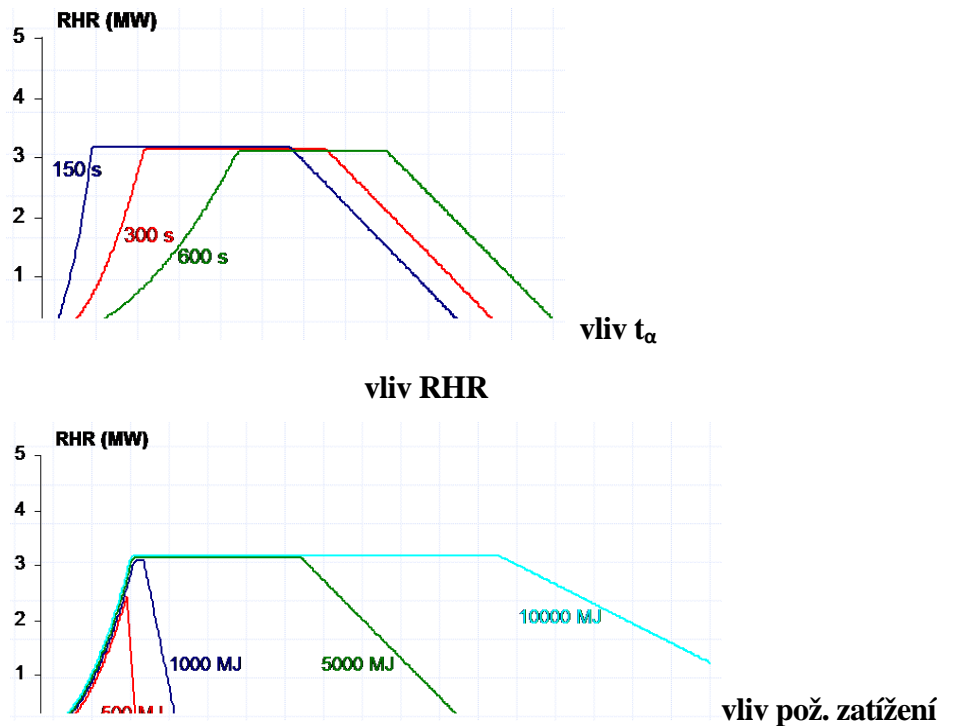
Rychlost uvolňování tepla udává vydanou energii na m<sup>2</sup> v závislosti na čase. Hodnoty pro různé provozy lze najít v ČSN EN 1991-1-2 příloha E.

„t kvadratický požár“ je zjednodušený výpočet průběhu požáru v závislosti na vydané energii. Vypočítá se jako:

$$Q = 10^6 \cdot \left( \frac{t}{t_\alpha} \right)^2 [MW] \quad (3)$$

kde parametr  $t_\alpha$  je čas [s] potřebný k dosažení 1 MW rychlosti uvolňování tepla a  $t$  je čas průběhu požáru. Rychlost uvolňování tepla je popsána ve fázi rozhřívání exponenciálně a ve fázi útlumu neboli dohořívání lineárně. Ve fázi rozhořívání a ustáleného hoření se Spotřebuje asi 70% energie paliva (ČSN EN 1991 1-2 Eurokod 1, 2002).

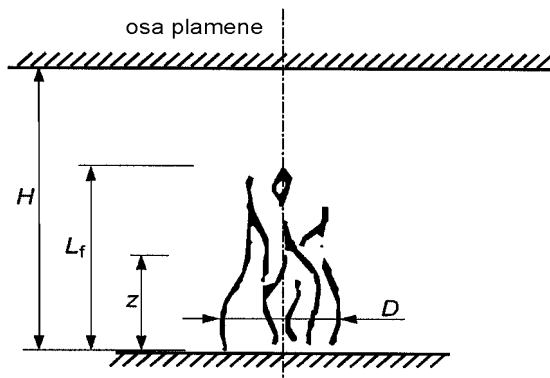
Vliv parametru  $t_{\alpha}$  a požárního zatížení je zobrazen na obr. č.9.



Obrázek 8 - Rychlost uvolňování tepla (Sokol Z. , 2010)

### 3.3 Modelování lokálního požáru metodou Heskestad

Metoda Heskestad je model požáru, který nedosahuje stropu tedy délka plamene  $L_f < \text{výška stropu } H$ , jak je vidět na obrázku č. 9. Je to analytický model a byl mnoha experimenty shledán za velmi přesný. Metoda je také uvedena v ČSN EN 1991-1-2 příloha C.



Obrázek 9 – Lokální požár nedosahuje stropu (ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1 ,2002)

Délku plamene  $L_f$  se určí jako:

$$L_f = -1,02 \cdot D + 0,0148 \cdot Q^{2/5} \leq H \quad [m] \quad (4)$$

kde  $D$  je průměr ohně [m]

$Q$  rychlost uvolňování tepla [W]

V případě, že plamen není umístěn přímo na podlaží a hoří například pohovka, je za výšku  $H$  považována délka od místa požáru ke stropu. Nedosahuje-li plamen stropu je teplota ve výšce  $z$  dána vztahem:

$$\theta_{(z)} = 20 + 0,25 \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} \leq 900 \quad [^\circ C] \quad (5)$$

kde  $z$  je výška plamene [m]

$Q_c$  konvektivní část rychlosti uvolňování tepla a je dána vztahem  $Q_c = 0,8 \cdot Q$

$z_0$  virtuální počátek osy plamene

$$z_0 = -1,02 \cdot D + 0,00524 \cdot Q^{2/5} \quad [m] \quad (6)$$

Čistý tepelný tok v úrovni stropu je pak dán vztahem:

$$h_{net} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m) + \phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [W/m^2] \quad (7)$$

kde  $\alpha_c$  je součinitel přestupu tepla prouděním, hodnota je  $35 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\theta_g = \theta_z$  teplota plynu v úrovni stropu [ $^\circ C$ ]

$\theta_m$  povrchová teplota materiálu, většinou rovna  $20^\circ C$

$\Phi$  polohový faktor vypočítaný dle ČSN 1991-1-2 příloha G

$\varepsilon_f$  emisivita požáru, většinou rovna 1,0

$\varepsilon_m$  emisivita materiálu

$\sigma$  Stefan-Boltzmannova konstanta, hodnota je  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$\theta_r$  teplota od radiace [ $^\circ C$ ]

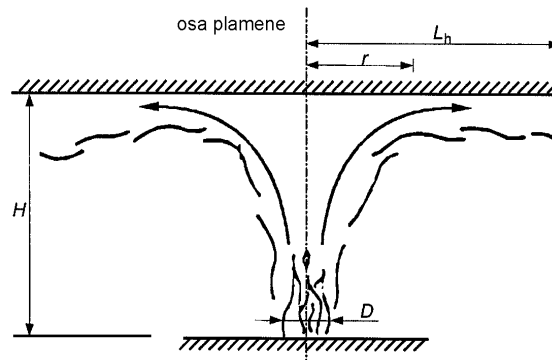
Funkce  $(\theta_r + 273)^4$  zahrnuje do tepelného toku radiaci. Teplota od radiace  $\theta_r$ , by měla být nahrazena teplotou plynu  $\theta_g$ , z důvodu možnosti nepřímé radiace na povrchy materiálů. Řešení je na straně bezpečnosti.

Jestliže, je v požárním úseku několik oddělených lokálních požárů, jejich přírůstek se spočítá jako součet přírůstků od jednotlivých požárů (ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1, 2002).

$$h_{net} = h_1 + h_2 + \dots < 100\,000 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (8)$$

### 3.4 Modelování lokálního požáru metodou Hasemi

Druhý model použijeme v případě, kdy požár dosahuje stropu, tedy délka plamene  $L_f >$  výška stropu  $H$ . Model požáru je vidět na obrázku č.5



Obrázek 10 – Lokální požár dosahuje stropu (ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1, 2002)

Metodu lze použít, pokud je průměr ohně do 10 m a rychlost uvolňování tepla nepřekročí 50 MW. V případě že není překročen rychlost uvolňování tepla  $500 \text{ kW/m}^2$  je limit snižen na 39 MW pro knihovny a divadla a 20 MW pro ostatní prostory.

Pro výpočet tepelného toku, když plamen dosahuje stropu je třeba určit součinitele rychlosti uvolňování tepla  $Q_H$  a  $Q_D$ :

$$Q_H = \frac{Q}{(1,11 \times 10^6 \cdot H^{2,5})} \quad [\text{W/m}] \quad (9)$$

$$Q_D = \frac{Q}{(1,11 \times 10^6 \cdot D^{2,5})} \quad [\text{W/m}] \quad (10)$$

Dále horizontální délka plamene  $L_h$  se vypočte jako:

$$L_H = (2,9 \cdot H \cdot (Q_H)^{0,33}) - H \quad [\text{m}] \quad (11)$$



Vertikální počátek virtuálního zdroje tepla je roven:

$$z = 2,4 \cdot D \cdot (Q_D^{\frac{2}{5}} - Q_D^{\frac{2}{3}}) \text{ když } Q_D < 1,0 \quad [m] \quad (12)$$

$$z = 2,4 \cdot D \cdot (1,0 - Q_D^{\frac{2}{5}}) \text{ když } Q_D > 1,0 \quad [m] \quad (13)$$

Po té lze vypočítat součinitel  $y$ , který je třeba k výpočtu tepelného toku.

$$y = \frac{r + H + z}{L_H + H + z} \quad (14)$$

kde  $r$  je vodorovná vzdálenost od osy plamene k zjišťovanému bodu, jestliže je zjišťována teplota přímo nad lokálním požárem potom  $r = 0,0$

Tepelný tok požáru dosahujícího stropu je stanoven jako:

jestliže $y < 0,3$ jako	$h = 100\ 000$
jestliže $0,30 < y < 1,0$ jako	$h = 136\ 300 - 121\ 000 \cdot y$
jestliže $y > 1,0$ jako	$h = 15\ 000 \cdot y^{-3,7}$

Čistý tepelný tok se po té vypočte jako:

$$h_{net} = h - a_c (\theta_m - 20) - \phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma [(\theta_m + 273)^4 - 293^4] \quad (15)$$

I v případě výskytu několika oddělených lokálních požárů, jejich přírůstek se spočítá jako součet přírůstků od jednotlivých požárů.

$$h_{net} = h_1 + h_2 + \dots < 100\ 000 \quad [W/m^2] \quad (16)$$

Nevýhodou modelů je, že prvek, u kterého je zjišťována teplota musí být umístěn přímo na stropě a ne například v polovině výšky stropu. Pro tyto prvky tyto metody aplikovat nelze (ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1, 2002).

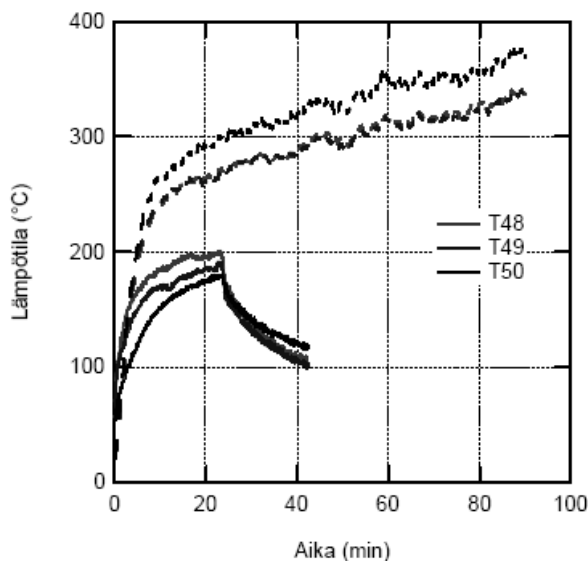
## 4 Aplikace lokálního požáru

### 4.1 Sprinklery a lokální požár

Sprinklery a zařízení pro odvod tepla a kouře spouští v prvních několika minutách požáru a nedovolí požáru rozšířit se do plně rozvinutého. Sprinklery jsou navrženy tak, aby požár udržely v lokálních rozměrech. Je statisticky dokázáno, že požár se nerozšíří pod více než 12 sprinklerových hlavic. Instalace sprinklerů je pojišťovny velmi vítána. A také v případě navrhování a projektování zajistí velkou bezpečnost.

Jako příklad účinnosti sprinklerů lze uvést požární zkoušku. Byl zde simulován požár normové teplotní křivky v objektu vybavený sprinklerovým zařízením.

**Vliv sprinklerů na požár je zobrazen na obr. č. 12.**



Obrázek 11 - Vliv sprinklerů na plně rozvinutý požár (Jyri, Samec, Sokol , 2012)

Z obrázku je zřetelné, že sprinklery nepustí teplotu plynů nad 200 °C, takže teplota nedosáhne kritické hodnoty pro nosné konstrukce (Jyri, Samec, Sokol , 2012).

Ochlazování konstrukcí vodou, je dáno celkovou tepelnou bilancí.

$$Q_{vst} = Q_{odv} \quad (17)$$

Na pravé straně teplo přivedené do konstrukce a na levé straně je teplo odvedené z konstrukce.

$$Q_{odv} = Q_{ohř} + Q_{odp} \quad (18)$$

Teplo odvedené z konstrukce lze rozepsat jako teplo odvedené ohřevem a teplo odvedené odparem vody (Bebčák P. , 2008). Tuto rovnici můžeme rozepsat jako:

$$Q_{odv} = m \cdot (c_p \cdot (T_{kon} - T_{poč}) + m_{vv} \cdot 0,3) \quad [W] \quad (20)$$

kde:  $m$  je hmotnost vody [kg]

$C_p$  měrná tepelná kapacita vody [ $W \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$m_{vv}$  měrné skupenské teplo vody [ $kJ \cdot kg^{-1}$ ]

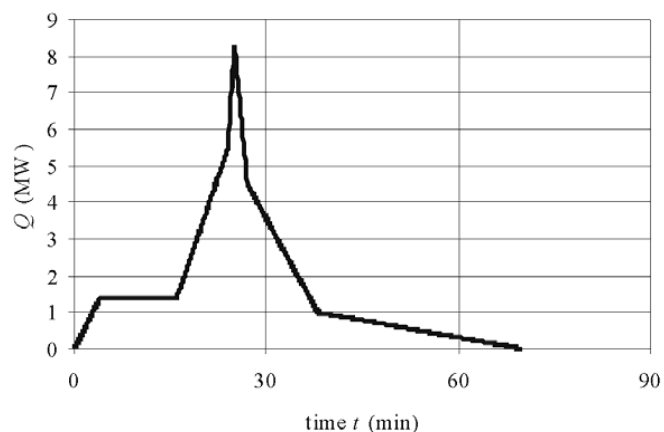
$T_{kon}$  teplota povrchu konstrukce [ $^{\circ}C$ ]

$T_{poč}$  počáteční teplota vody [ $^{\circ}C$ ]

## 4.2 Požáry v garážích

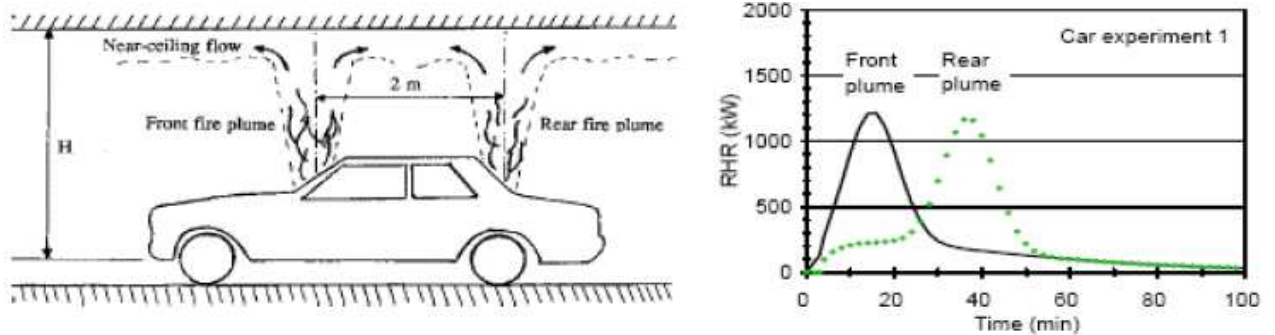
Požár v garážích je specifický. Díky umístěním aut, nehořlavým konstrukcím a žádným jiným požárním zatížením, lze požár v garážích hodnotit jako lokální. Požár se šíří mezi auty nejčastěji sáláním tepla přes pneumatiky.

Požárními zkouškami jsou zjišťovány křivky pro rychlost uvolňování tepla pro různé třídy vozidel. Jako příklad uvádím křivku pro třídu III



Obrázek 12 – Křivka rychlosti uvolňování tepla pro auto třídy III (Schaumann, Trautmann, Žižka , 2008)

Při požár auta se plamen rozdělí na dva stejné plameny. Hoří vnitřní zařízení auta, konstrukce auta je nehořlavá. Hoření auta je zobrazeno na obrázku č. 13.



Obrázek 13 - Požár auta (Schaumann, Trautmann, Žižka , 2008)

Pro navrhování konstrukcí na účinky požáru v garážích je důležité stanovit nejhorší možný požární scénář. Auto nemusí hořet jen v místech určená pro parkování, ale také uprostřed vozovky, kde můžou být největší reakce a vnitřní síly na stropní konstrukci. (Schaumann, Trautmann, Žižka , 2008)

## 5 Závěr

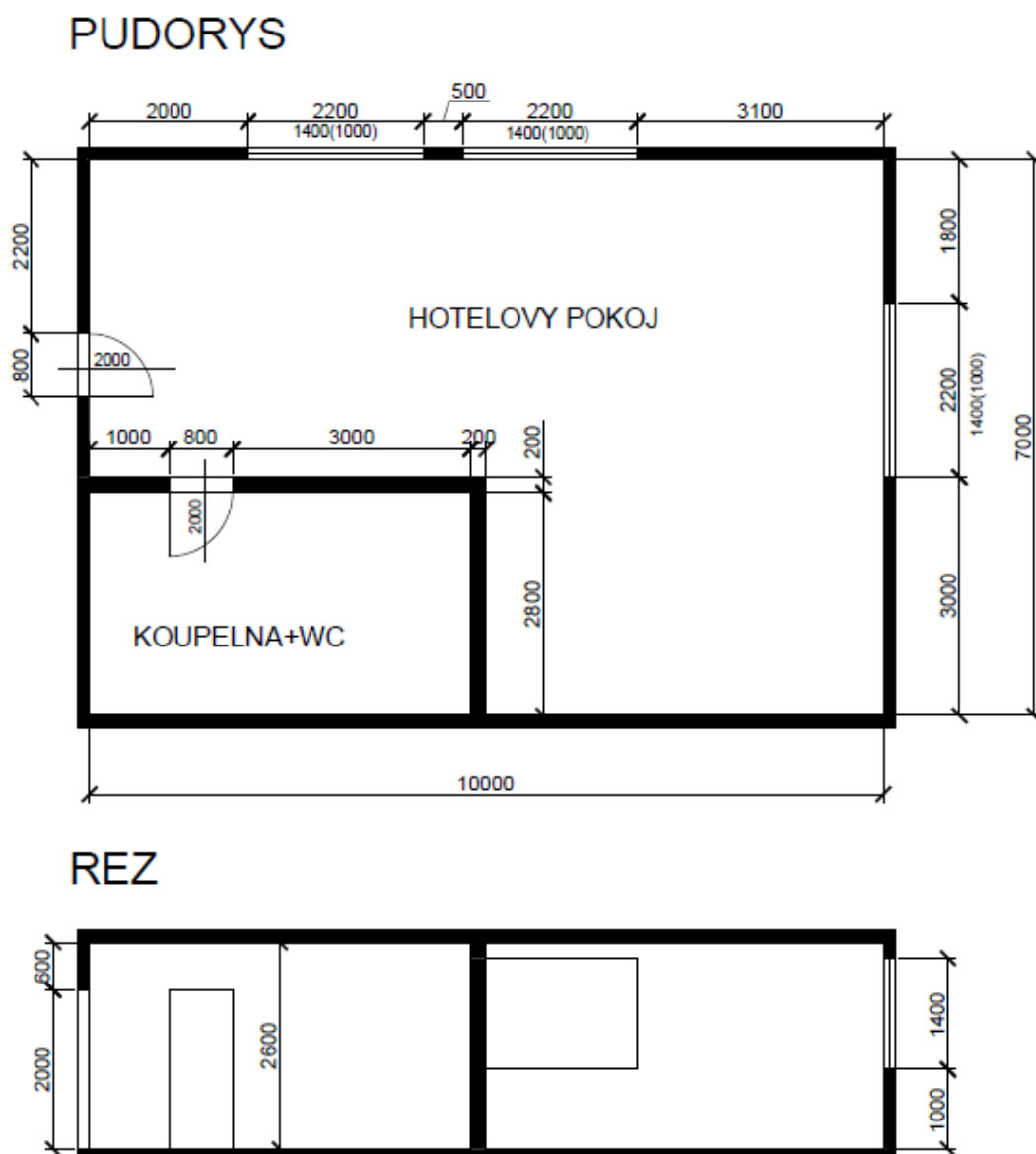
Pro lokální požár máme dva analytické modely, které jsou uvedeny v ČSN EN 1991-1-2. Jsou dostatečně přesné, a zároveň jednoduché. Požární zkoušky, jsou drahé a slouží jako podklady pro programy jako je ozone nebo CFD model. Požární zkouškou však dosáhneme nejpřesnějších výsledků. Aplikace lokálního je široká. Modelováním lokálního požáru lze dosáhnout příznivějších hodnot při návrhu konstrukce na účinky požáru

## 6 Příklad

Praktický příklad lokálního požáru je uvedeno srovnání analytického modelu uvedeného v ČSN EN 1991-1-2 a lokálním požárem provedeném na základě dynamické analýzy plynů pomocí programu FDS verze 5.5.3.

Požární úsek je hotelový pokoj o rozměrech 10 m x 7 m s výškou 2,6 m. Bez požárně bezpečnostních zařízení. V místnosti byl simulován lokální požár pohovky uprostřed pokoje.

**Na obr. č. 14 je zobrazen půdorys a řez pokoje**



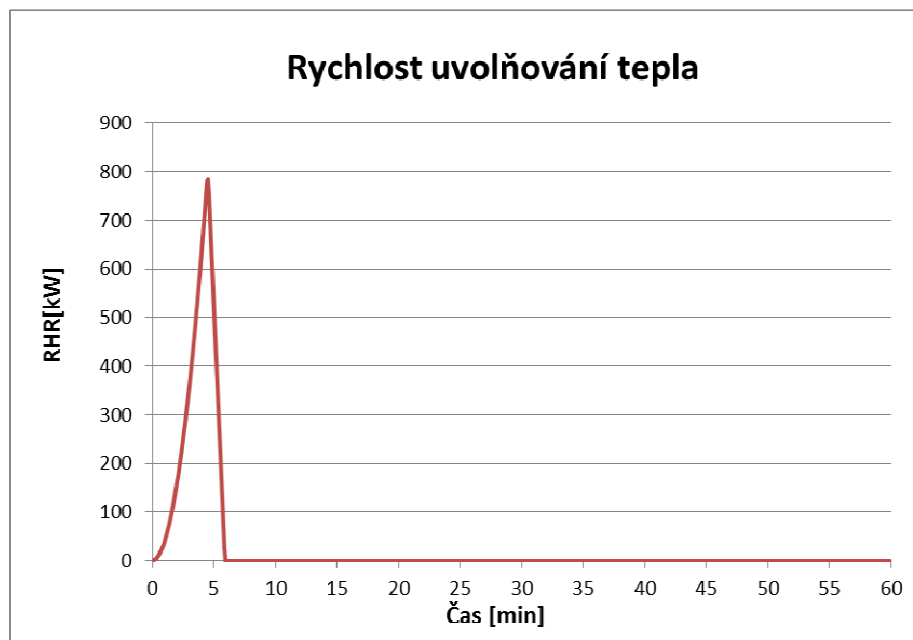
Obrázek 14 – půdorys a řez pokoje

## 6.1 Analytický model

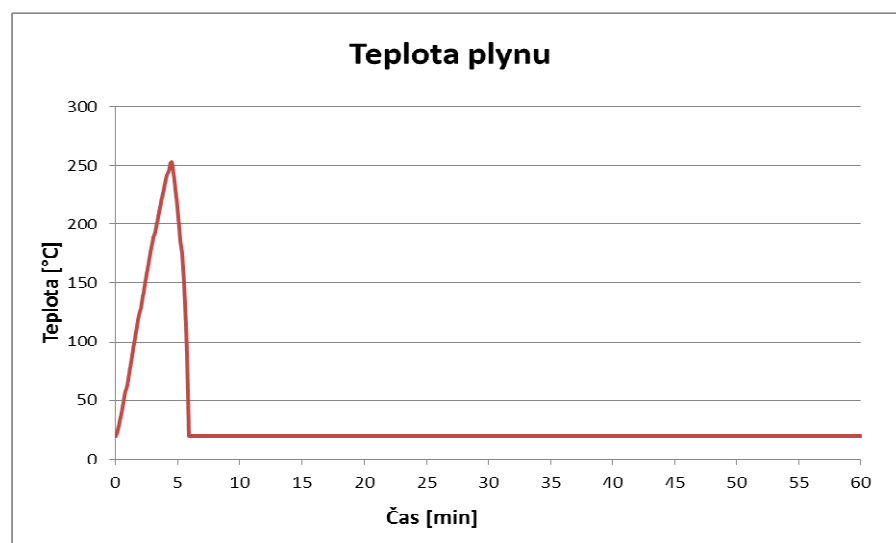
Hustota požárního zatížení je 50 kg hořlavého materiálu na ploše 3,14 m<sup>2</sup>. Maximální rychlost uvolňování tepla je 250 kW/m<sup>2</sup> a  $t_{\alpha}$  je 300 s.

Výpočet je proveden v excelu dle kapitoly 3. Charakteristiku požárního úsek lze vidět na obr. č. 14.

**Výsledky analytického modelu jsou zobrazeny na následujících obrázcích**



Obrázek 15 - Rychlost uvolňování tepla



Obrázek 16 - Teplota plynu



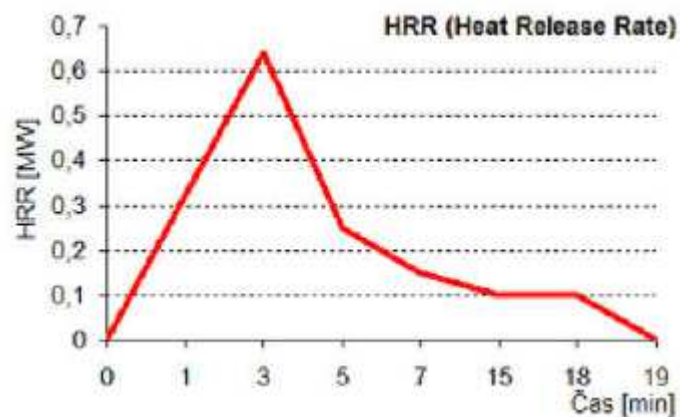
Obrázek 17 - Svislá délka plamene

Z výsledků je zřetelné, že maximální teplota v požárním úseku nastane ve 4. min požáru a dosáhne 250 °C.

## 6.2 CFD model

Charakteristika požárního úseku je zobrazena na obr. č. 14

V programu FDS byla použita skutečná křivka rychlosti uvolňování tepla pro pohovku, která byla zjištěna v laboratoři v kalorimetru .

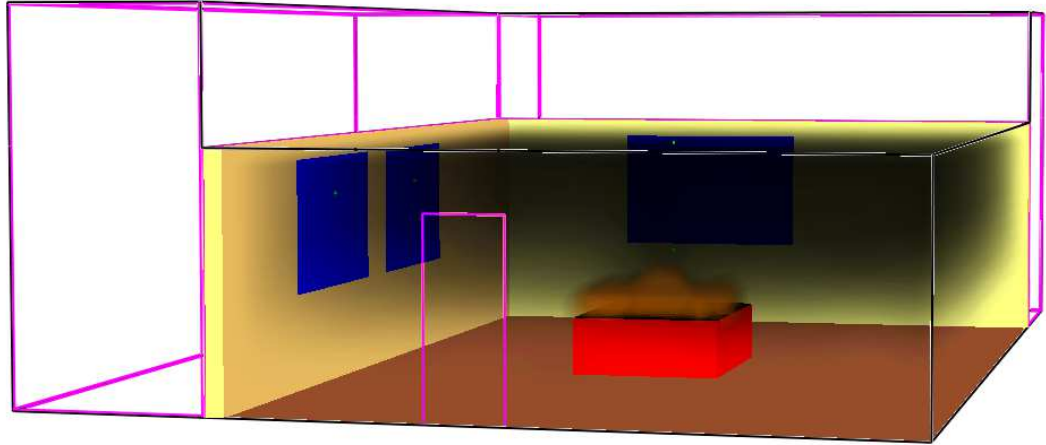


Obrázek 18 - Rychlost uvolňování tepla (Pokorný M. , 2011)

**Výsledky dynamické analýzy plynů jsou zobrazeny na následujících obrázcích**

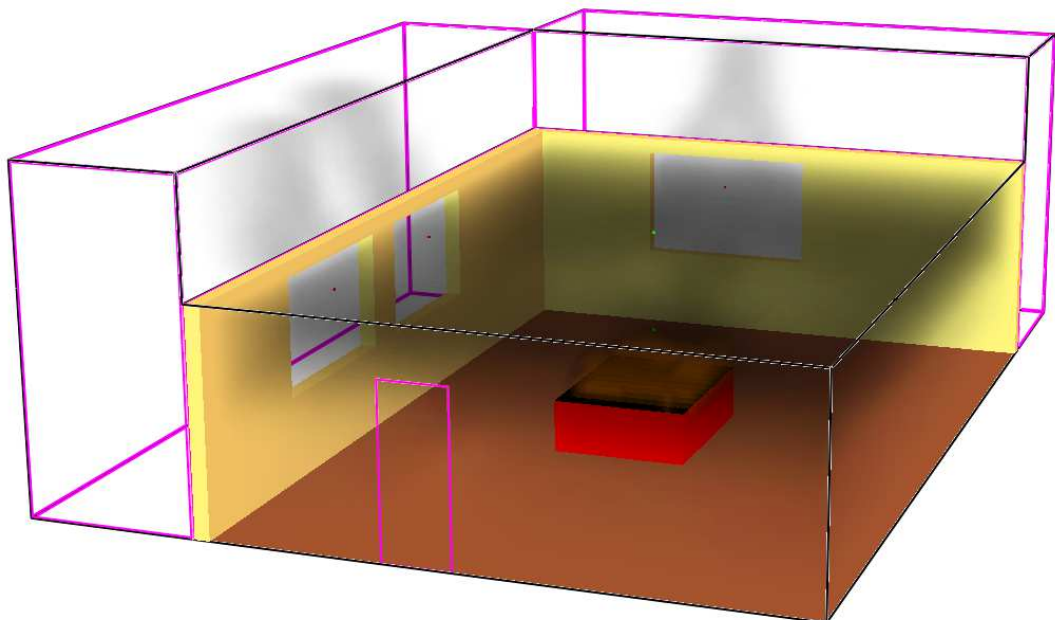
Na rozdíl od analytického modelu, v dynamické analýze plynů je zahrnutý vliv okenních a dveřních otvorů. Rozbití oken je nastaveno na 200 °C.

Na obr. č. 19 je vidět rozvoj požáru v 90 s požáru ,tedy před prasknutím okenních tabulí.



Obrázek 19 – Požár hotelového pokoje před prasknutím oken

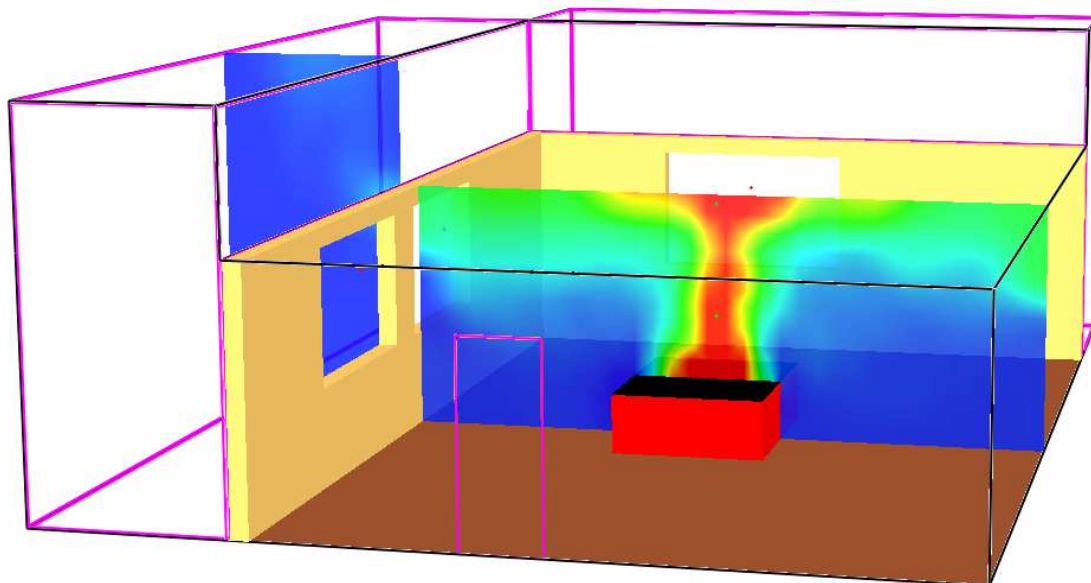
Na obr. č. 20 je zobrazen požární úsek v 120 s požáru, tedy po prasknutí okenních tabulí.



Obrázek 20 - Požár hotelového pokoje po prasknutí oken

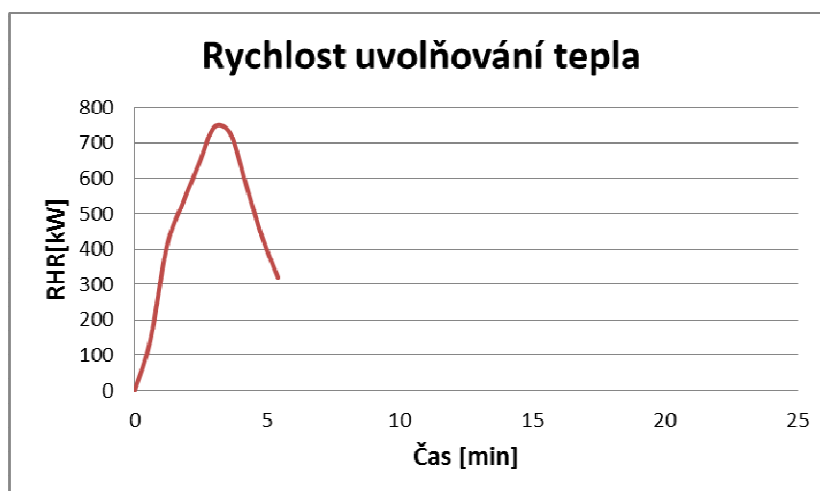


Na obr. č. 21 je zobrazen teplotní pás v místě lokálního požáru. Z obrázku je dobře zřetelný jev zvaný Ceiling jet, tedy teplotní proud, který dosahuje stropu.

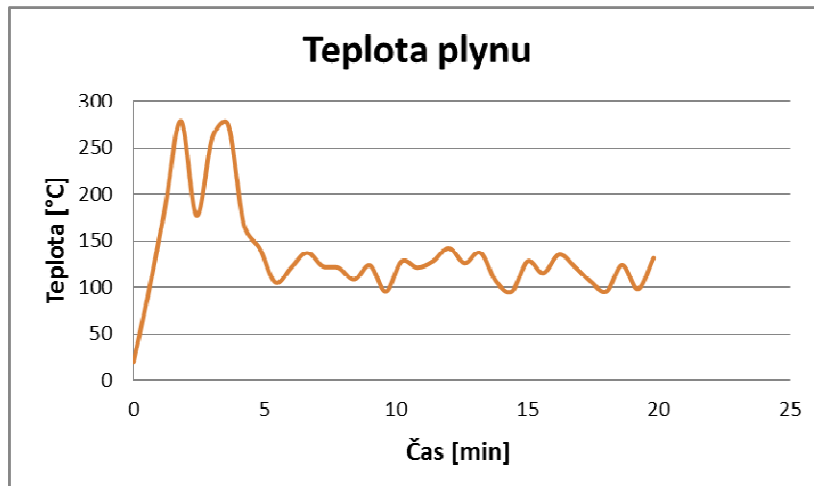


Obrázek 21 - Ceiling jet

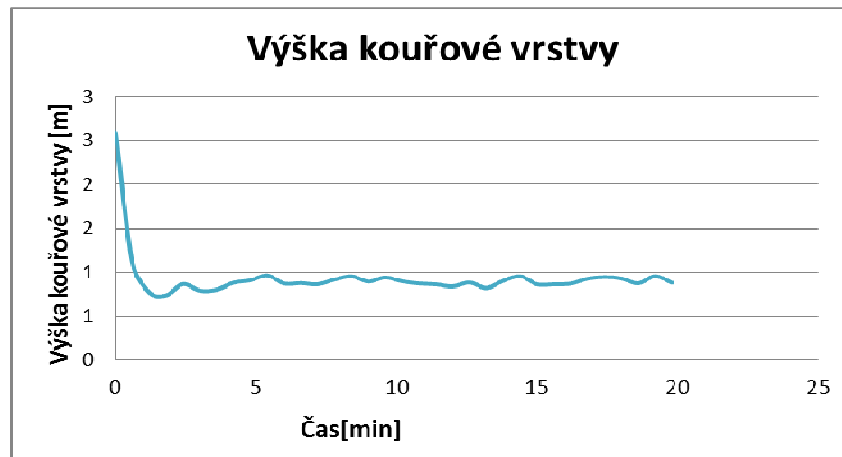
**Na následujících obrázcích jsou vidět výsledky z CFD modelu.**



Obrázek 22 - Rychlost uvolňování tepla



Obrázek 23 - Teplota plynu



Obrázek 24 - Výška kouřové vrstvy

Z výsledků je zřetelné, že maximální teplota dosáhne 270 °C ve 4 min požáru.

Závěrem lze říci, že hodnoty teplot v požárním úseku byly podobné oběma zkoušenými metodami. Potvrdila se tedy přesnost analytického modelu.

# Seznam použité literatury

## Literatura

- Wald F. a kol.: *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2005
- Wald F. a kol.: *Navrhování konstrukcí na účinky požáru podle evropských norem*. ČVUT, Praha, 2007
- Beběčák P., Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava: *Zvyšování požární odolnosti ocelových konstrukcí vodním stabilním hasícím zařízením*, Ostrava, 2008, 16 s.
- ASCE: *Performance – Based Design of Structural Steel for Fire Conditions*, ASCE Publications, 2009, 124 s.
- Jyri, Samec, Sokol: *SciVerse ScienceDirect: Research on fire protection methods*, 2012, 6 s.
- Schaumann, Trautmann, Žižka: *DIFISEK+: Lokalizovaný požár, garáže*, 2008, 6 s.
- Hostikka, Kokkala, Vaari: *Experimental study of localized room fires*, Technical research centre of Finland, 2001, 98 s.
- ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, Brusel, 2002, 59 s.
- ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, Brusel, 2003, 75 s.

## Internet

- Sokol Z. : *Přednášky: Tepelná a mechanická zatížení*,  
<http://people.fsv.cvut.cz/~sokol/tmz/index.htm>
- Pokorný M.: *Sklo a plasty za požáru: FDS*,  
<http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=46>