



LOCAFI+

Určenie teploty zvislého prvku namáhaného lokálnym požiarom
(LOCALised Fire)

Rozšírenie výsledkov

Dohoda o grante č. 754072

4. Výpočtová metóda a overenie

4. Výpočtová metóda a overenie

4.1. Konceptcia virtuálneho telesa plameňa (Virtual Solid Flame)

Modelovanie plameňa

Krok 1: Povrch plameňa je transformovaný na ekvivalentný discus

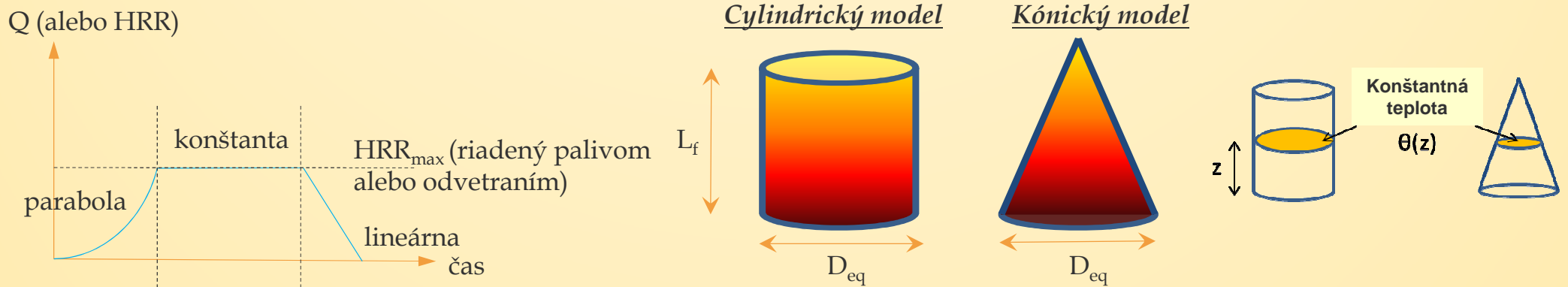
$$D_{fire} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

Krok 2: Vývoj rýchlosti uvoľňovania tepla sa počíta podľa EN 1991-1-2 Príloha E (fáza ohrievania, plateau, fáza chladenia)

Krok 3: Dĺžka plameňa L_f sa vypočíta pomocou EN 1991-1-2 Príloha C

$$L_f(t) = -1.02 D_{fire} + 0.0148 Q(t)^{0.4}$$

Krok 4: Účinok požiaru je nahradený virtuálnym telesom plameňa, kónickým alebo valcovým, definovaným pomocou D_{eq} a L_f

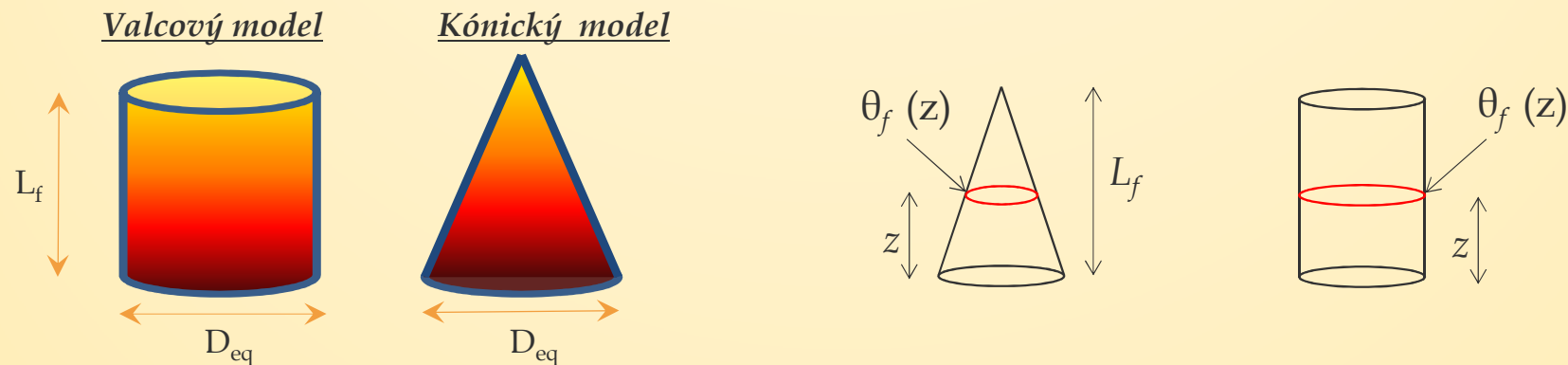


4. Výpočtová metóda a overenie

4.1. Konceptia virtuálneho telesa plameňa

Modelovanie plameňa

Ak plameň nedosahuje na strop ($L_f < H_{\text{ceiling}}$ alebo strop nie je)



$$\theta_f(z) = \min \left(900; 20 + 0.25(0.8Q(t))^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \right)$$

$$z_0 = -1.02D_{fire} + 0.00524 Q(t)^{0.4}$$

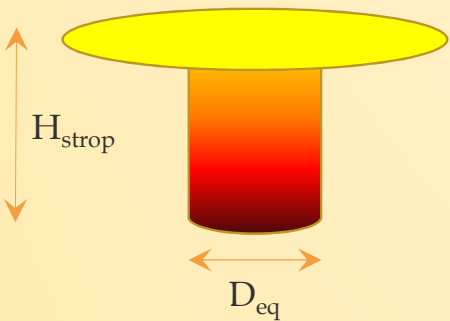
4. Výpočtová metóda a overenie

4.1. Konceptia virtuálneho telesa plameňa

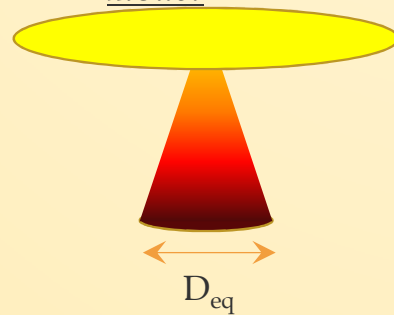
Modelovanie plameňa

Ak plameň dosahuje na strop ($L_f > H_{\text{ceiling}}$)

Valcový model

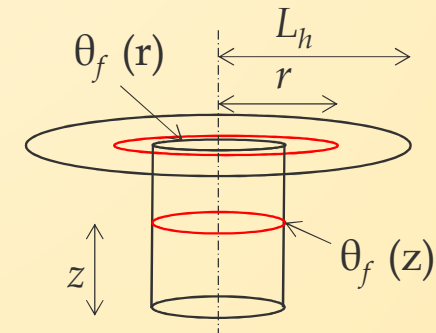
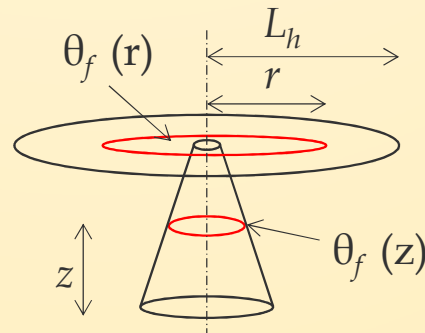


Kužeľový model



$$\theta_f(z) = \min\left(900; 20 + 0.25(0.8Q(t))^{2/3}(z - z_0)^{-5/3}\right)$$

$$z_0 = -1.02D_{\text{fire}} + 0.00524 Q(t)^{0.4}$$



$$L_h(t) = H(2.9Q(t)^{0.33} - 1)$$

$\dot{h}(r)$ počítané z Haseemi

$\theta_f(r)$ dosadíme do $\dot{h}(r) = \sigma \left((\theta_f(r) + 273)^4 - 293^4 \right) + 35(\theta_f(r) - 20)$

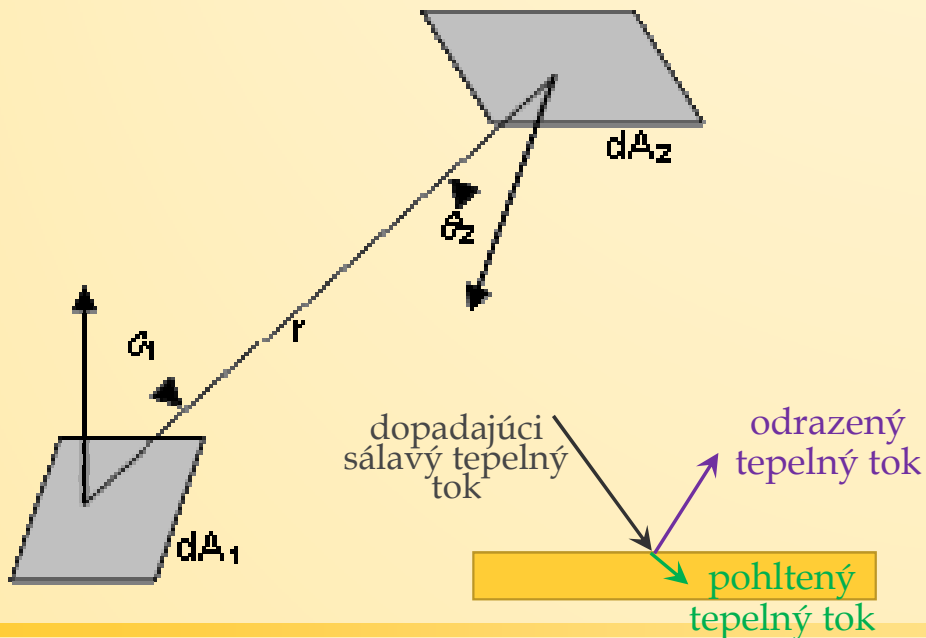
Pozn.: príspevok prstenca je v skutočnosti malý, s výnimkou prvkov umiestnených v prstenci → uvažuje sa len pre prvky na úrovni stropu

4. Výpočtová metóda a overenie

4.2. Geometrická metóda na určenie výmeny tepelných tokov

Určenie tepelného toku spôsobeného sálaním

Sálavý tepelný tok opúšťajúci daný sálajúci povrch dA_1 a prijímaný povrchom dA_2 je:



$$\Phi_{dA_1 \rightarrow dA_2} = \alpha_2 \varepsilon_1 \sigma \cdot T^4 \frac{\cos(\theta_1) \cos(\theta_2) dA_1 dA_2}{\pi r^2}$$

- emisivita ε_1 (sálajúceho povrchu) sa berie pre plamene hodnotou 1
- pohltivosť α_2 závisí od vlastností prijímacieho povrchu
- Kirchhoffov zákon: pohltivosť (α) = emisivita (ε)
- pre oceľ, $\varepsilon = \alpha = 0.7$

4. Výpočtová metóda a overenie

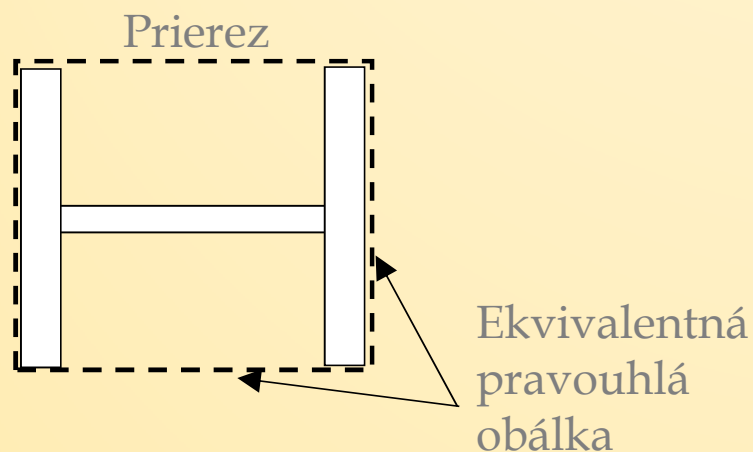
4.2. Geometrická metóda na určenie výmeny tepelných tokov

Modelovanie zvislého prvku

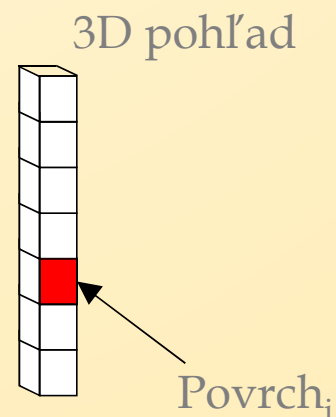
Konkávne prierezy spôsobujú **tienenie** → ako zjednodušenie sa tepelné toky počítajú na konvexnom povrchu

I- alebo H-prierezy sa transformujú na uzavretý prierez s pravouhlým tvarom (v súlade s EN 1991-1-2 Príloha G)

Povrch obvodu je potom rozdelený na jednotlivé rovinné povrchy



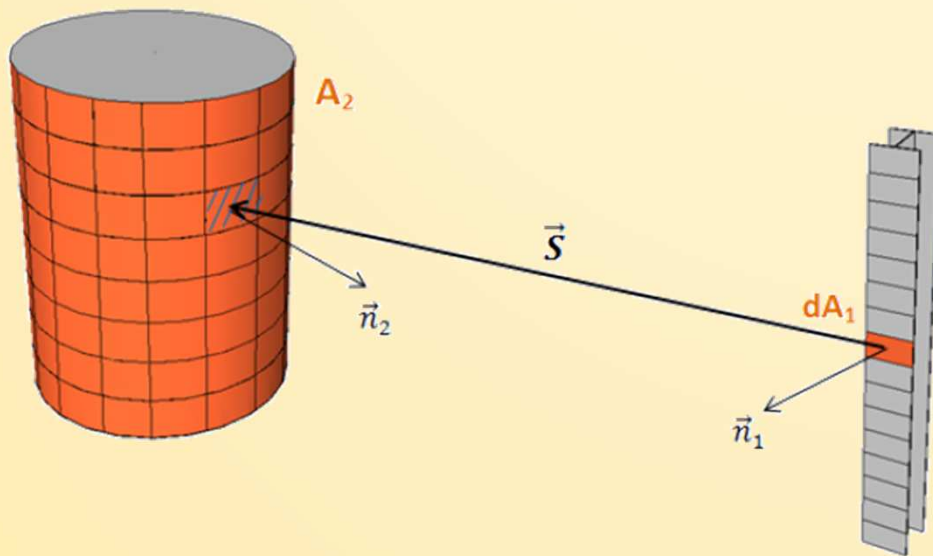
Model
zvislého
prvku



4. Výpočtová metóda a overenie

4.2. Geometrická metóda na určenie výmeny tepelných tokov

Numerická integrácia



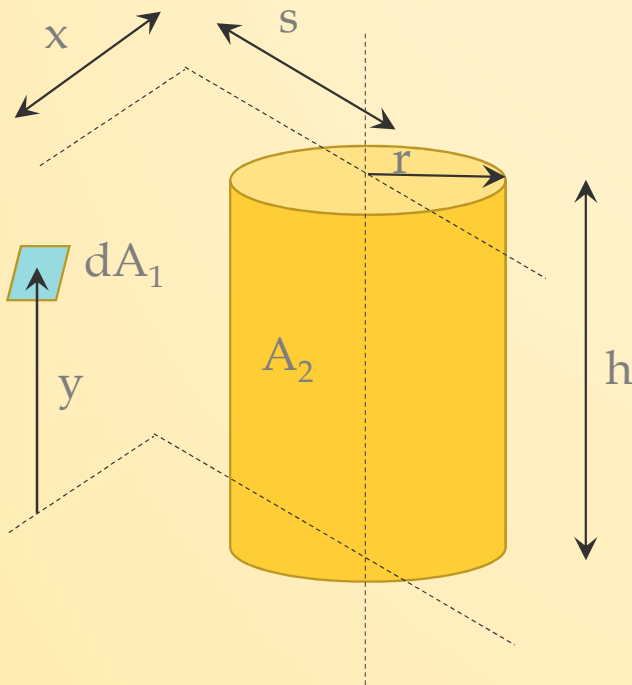
$$F_{d1-2} \simeq \frac{-1}{\pi} \sum_i \frac{(\vec{S} \cdot \vec{n}_1)(\vec{S} \cdot \vec{n}_2)}{S^4} \Delta A_i$$

- Vypočíta sa každá “individuálna” výmena sálania (v každom časovom kroku).
- Na reálne výpočty je nutný program.
- Umožňuje použiť nerovnomerné podmienky (sálavé toky) na obvod prvku.

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Polohový faktor medzi nekonečnou plochou a valcom



$$F_{dA_1 \rightarrow A_2} = \frac{S}{B} - \frac{S}{2B\pi} \left\{ \begin{aligned} &\cos^{-1} \left(\frac{Y^2 - B + 1}{A - 1} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{C - B + 1}{C + B - 1} \right) \\ &- Y \left[\frac{A + 1}{\sqrt{(A - 1)^2 + 4Y^2}} \cos^{-1} \left(\frac{Y^2 - B + 1}{\sqrt{B}(A - 1)} \right) \right] \\ &- \sqrt{C} \frac{C + B + 1}{\sqrt{(C + B - 1)^2 + 4C}} \cos^{-1} \left(\frac{C - B + 1}{\sqrt{B}(C + B - 1)} \right) \\ &+ H \cos^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{B}} \right) \end{aligned} \right\}$$

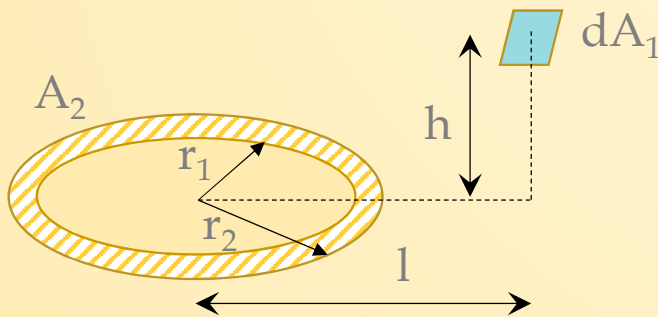
$$\begin{aligned} S &= s/r \\ X &= x/r \\ H &= h/r \\ A &= X^2 + Y^2 + S^2 \\ B &= S^2 + X^2 \\ C &= (H - Y)^2 \end{aligned}$$

Platí len ak plocha definovaná dA_1
nepretína valec!

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Polohový faktor medzi nekonečnou plochou a prstencom



$$F_{dA_1 \rightarrow A_2} = \frac{H}{2} \left(\frac{H^2 + R_2^2 + 1}{\sqrt{(H^2 + R_2^2 + 1)^2 - 4R_2^2}} - \frac{H^2 + R_1^2 + 1}{\sqrt{(H^2 + R_1^2 + 1)^2 - 4R_1^2}} \right)$$

$$H = h/l$$
$$R = r/l$$

Platí len ak $l > r_2$!

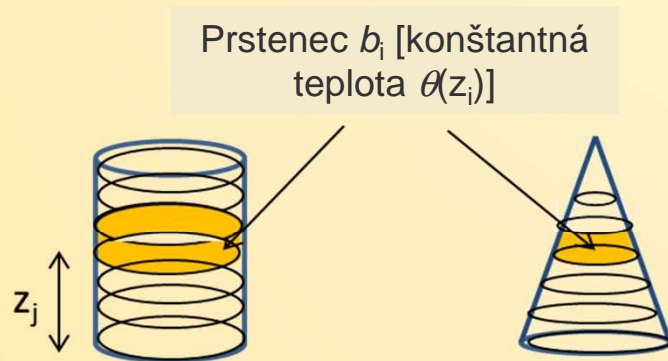
4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Prerozdelenie plameňa na valce a prstence

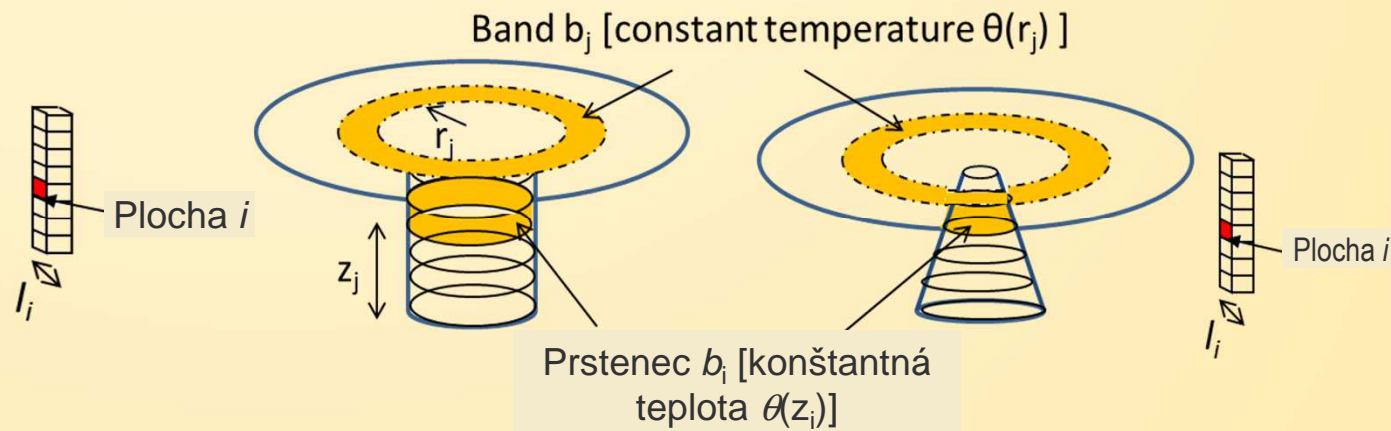
Ak plameň nedosahuje strop

($L_f < H_{ceiling}$ alebo strop nie je)



Ak plameň dosahuje strop

($L_f > H_{ceiling}$)

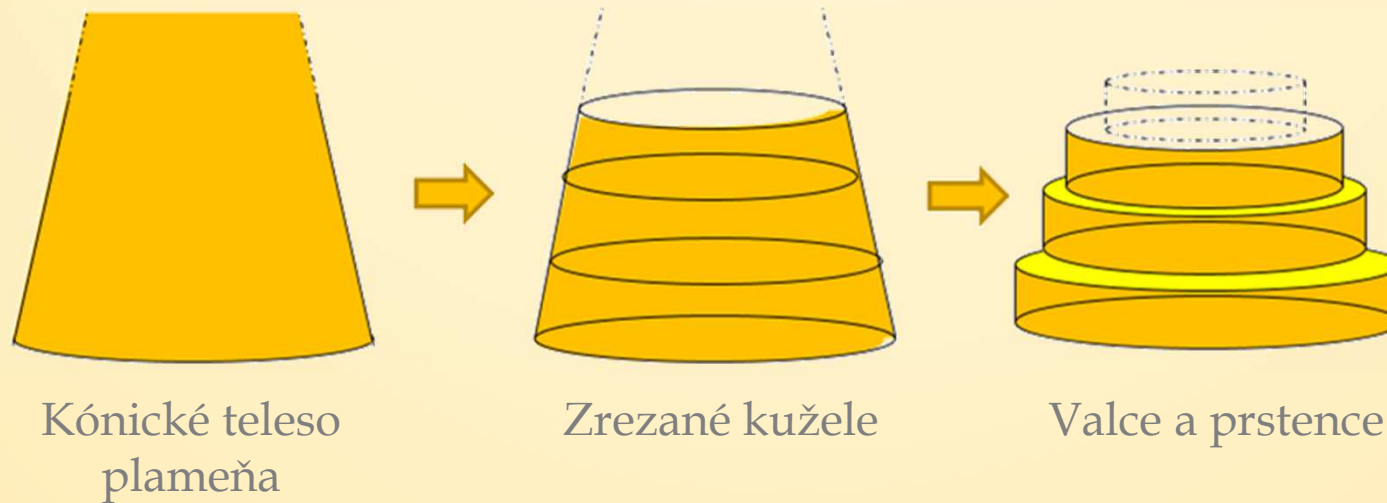


Pozn.: príspevok prstenca je v skutočnosti malý, s výnimkou prvkov umiestnených v prstenci → uvažuje sa len pre prvky na úrovni stropu

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Prerozdelenie plameňa na valce a prstence (Úprava 1)



! Zanedbaním príspevku prstencov sa podhodnotí dopadajúci tepelný tok a môžu byť dokonca dosiahnuté hodnoty dopadajúceho toku nad ohňom rovné 0 !

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Prerozdelenie plameňa na valce a prstence (Úprava 2)

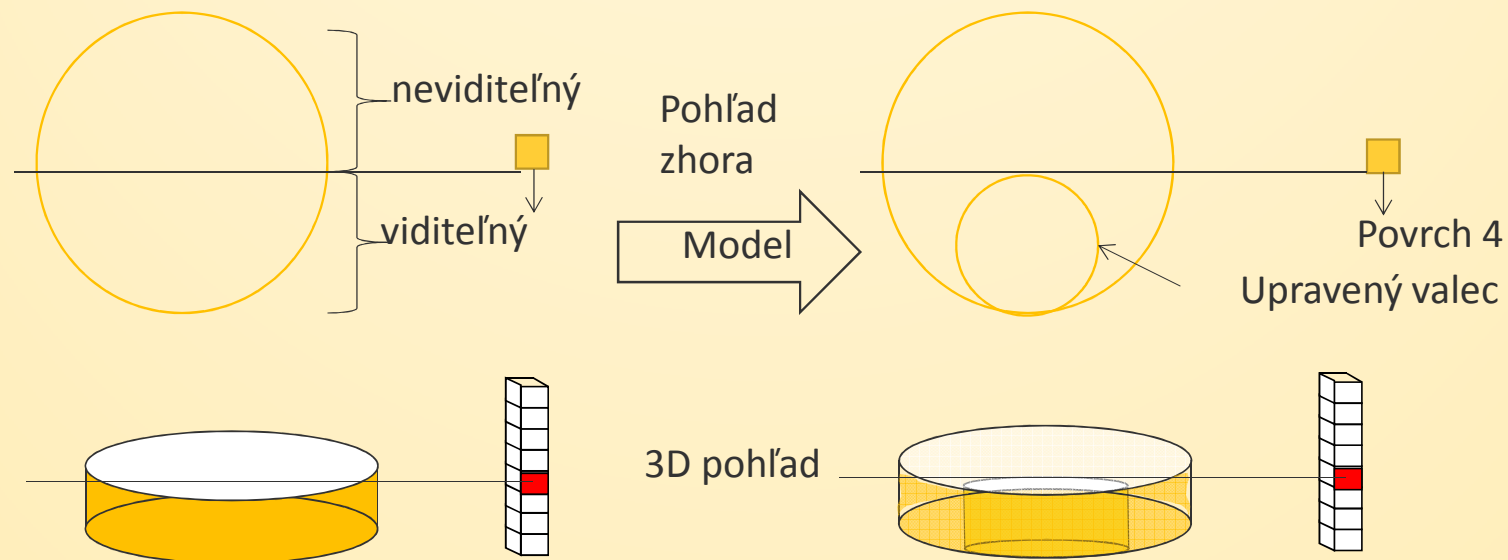


! Vzorec pre valec neplatí, ak prijímajúci povrch pretína valec!

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Prerozdelenie plameňa na valce a prstence (Úprava 2)

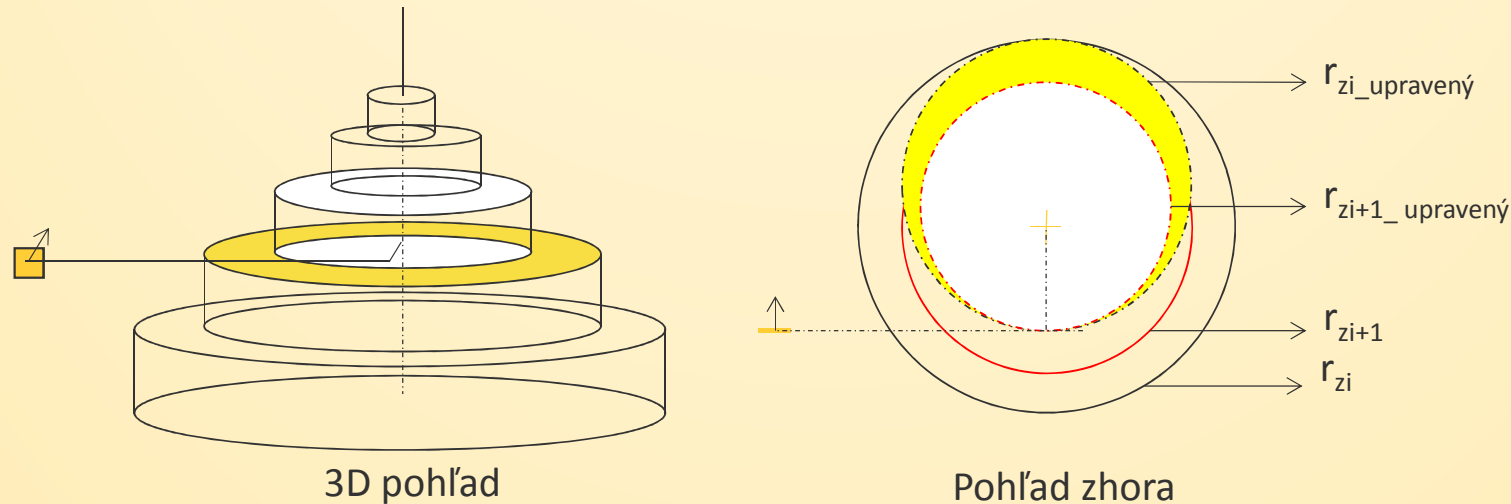


V tomto prípade bol pôvodný valec zmenený na upravený valec vo viditeľnej zóne

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Prerozdelenie plameňa na valce a prstence (Úprava 3)



Časť prstencov je « skrytá » za valcom umiestneným nad → môže sa zohľadniť redukovaná zóna (zanedbanie redukcie je na bezpečnej strane ...)

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Doplňujúce poznámky

- Doporučená výška valca je 50 cm
- V prípade prvkov umiestnených pod stropom sa má pridať zložka konvekcie → Hasemi
- V prípade niekoľkých ohňov sa musia pridať toky prijaté z každého ohňa. Celkový dopadajúci tepelný tok je obmedzený hodnotou 100 kW/m² $\dot{h}_{tot} = \min(\dot{h}_{rad_section} + \dot{h}_{conv}; 100000)$ [W.m⁻²]
- Teplota prvku sa vypočíta z tepelnej rovnováhy prvku

$$\rho_a c_a(T) \frac{dT}{dt} = \frac{A_m}{V} [\varepsilon * \dot{h}_{tot} + \alpha_c(20 - \theta) + \varepsilon(\sigma(293^4 - (\theta + 273)^4))] \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

ρ_a, c_a a A_m/V sú merná hmotnosť [kg.m⁻³], merná tepelná kapacita [J.kg⁻¹.K⁻¹] a súčiniteľ prierezu [m⁻¹] daného prvku

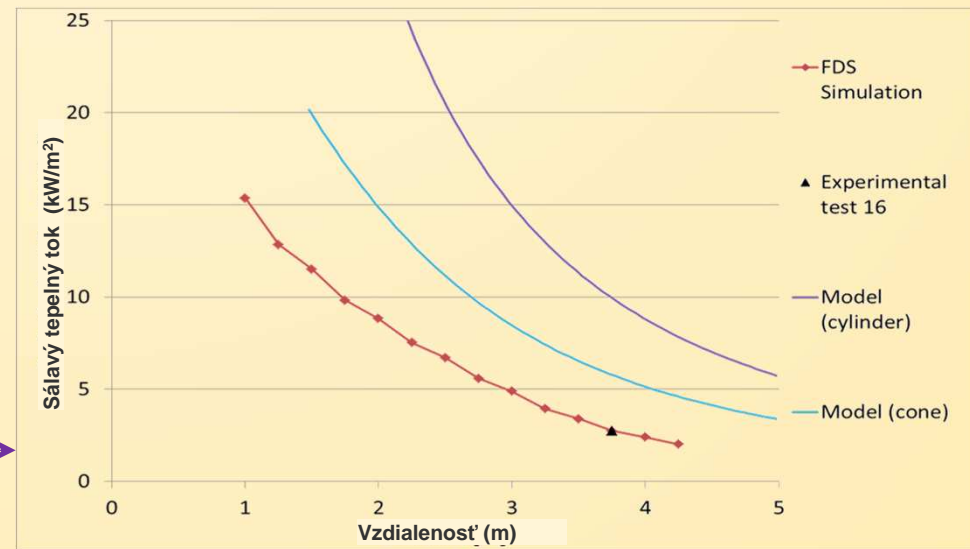
4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Overenie modelu na základe skúšok z Liège (a FDS modelu)

- Merač umiestnený 3.75 m od zdroja ohňa (výška: 1.75 m)
- Orientácia merača: kolmo na os ohňa

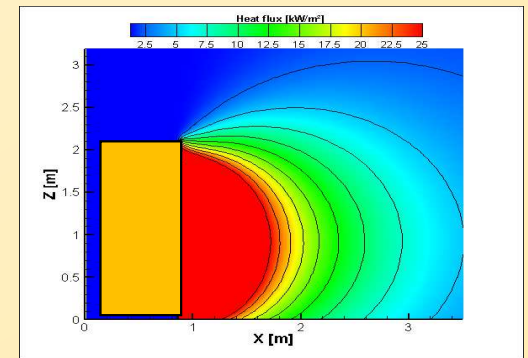
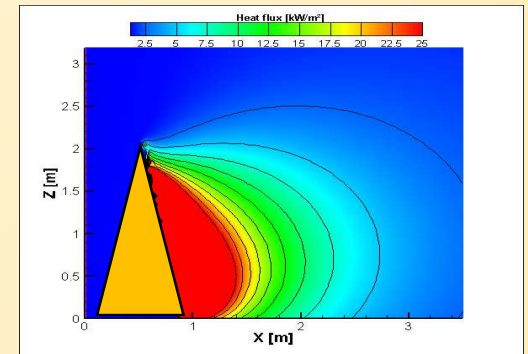
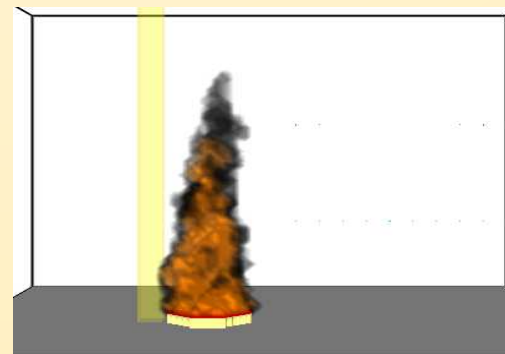
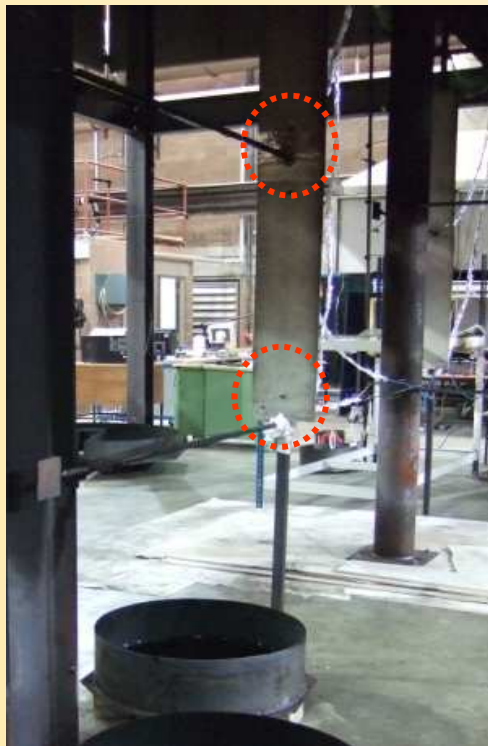
Priemer	Priemerná hodnota z testu	Skúška č.	Valcový plameň	Kužel'ový plameň
[m]	[kW/m ²]	[-]	[kW/m ²]	[kW/m ²]
0.60	0.31	1 to 4	1.20	0.74
1.00	0.73	5 to 8	3.23	1.95
1.40	1.36	9 to 14	6.19	3.67
1.80	2.12	15 to 18	9.95	5.78
2.20	3.39	19 to 22	14.55	8.30



4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

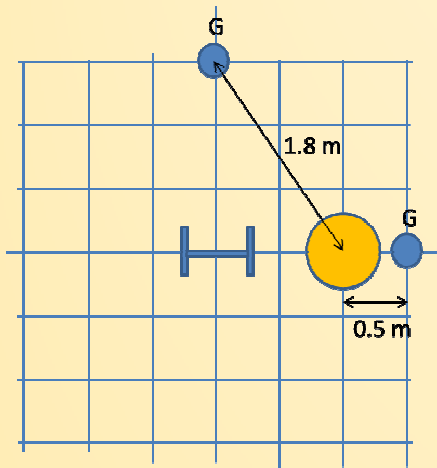
Overenie modelu na základe skúšok z Ulsteru (a FDS model)



4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Overenie modelu na základe skúšok z Ulsteru (a FDS model)

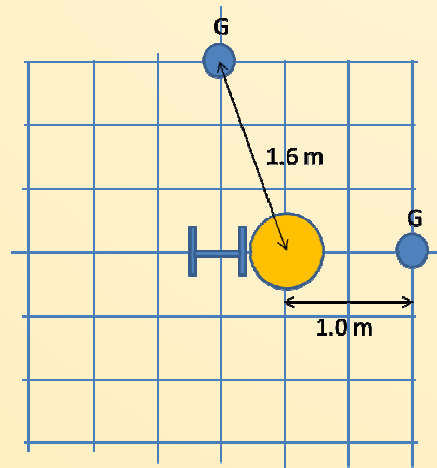


Prípad 1a

1 nádoba

$D = 0.7 \text{ m}$

Merače v 0.5/1.8 m



Prípad 1b

1 nádoba

$D = 0.7 \text{ m}$

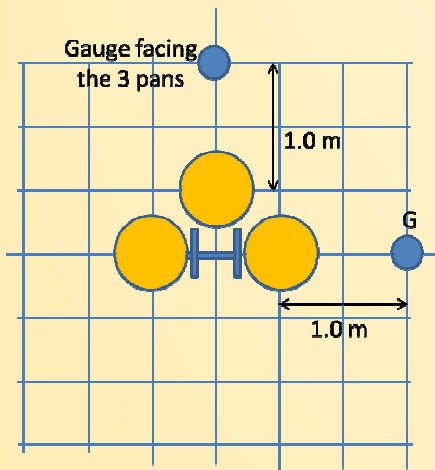
Merače v 1.0/1.6 m

Umiestnenie merača		Priemerná hodnota z testu	FDS Simulácia	Valcový plameň	Kužeľový plameň
Výška	Vzdialenosť				
m	m	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²
1.0	<u>0.5</u>	30.6	28.5	74.0	39.0
1.0	<u>1.0</u>	13.8	12.9	33.2	17.9
1.0	<u>1.6</u>	5.9	5.5	15.5	8.5
1.0	<u>1.8</u>	4.2	3.8	10.8	6.0
2.0	<u>0.5</u>	6.2	11.2	22.0	5.9
2.0	<u>1.0</u>	4.5	5.9	14.1	5.5
2.0	<u>1.6</u>	3.0	3.7	8.8	4.1
2.0	<u>1.8</u>	2.3	2.6	6.7	3.3

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

Overenie modelu na základe skúšok z Ulsteru (a FDS model)

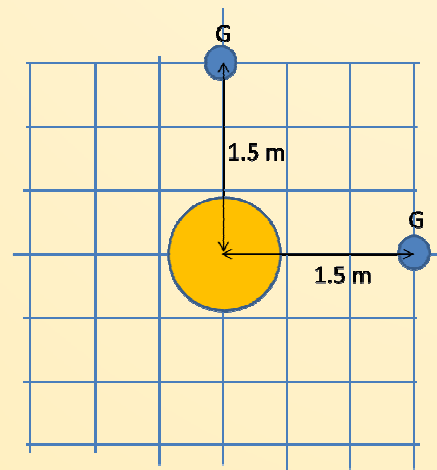


Prípad 3

3 nádoby

$D = 0.7 \text{ m}$

Merače v 1.0 m



Prípad 5

1 nádoba

$D = 1.6 \text{ m}$

Merače v 1.5 m

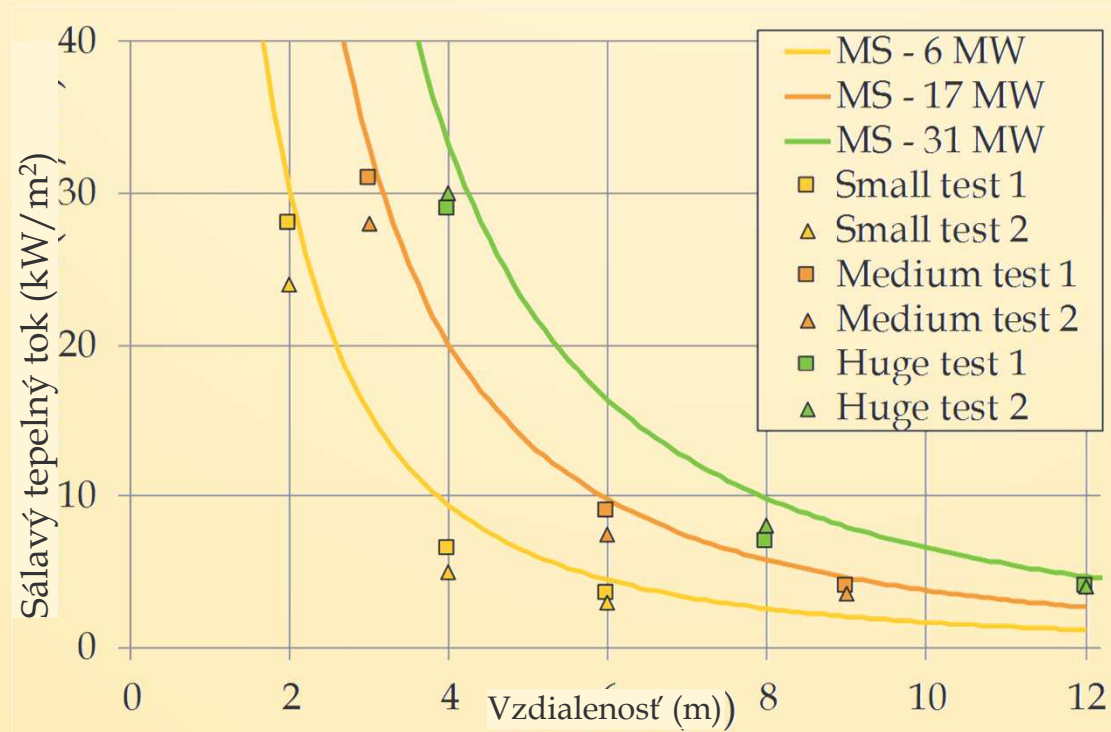
Umiestnenie merača		Priemerná hodnota z testu	Priemer zo simulácie	Valcový plameň	Kužeľový plameň
Výška	Vzdialenosť				
m	m	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²
1.0	<u>1.0</u>	31.0	26.6	66.3	37.4
1.0	<u>1.0</u>	24.3	21.6	62.0	34.6
2.0	<u>1.0</u>	15.0	17.7	40.9	16.2
2.0	<u>1.0</u>	13.0	13.6	38.5	15.9

Umiestnenie merača		Priemerná hodnota z testu	Priemer zo simulácie	Valcový plameň	Kužeľový plameň
Výška	Vzdialenosť				
m	m	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²
1.0	<u>1.5</u>	37.6	33.6	53.9	38.9
2.0	<u>1.5</u>	26.5	24.5	55.2	29.7

4. Výpočtová metóda a overenie

4.3. Zjednodušený model

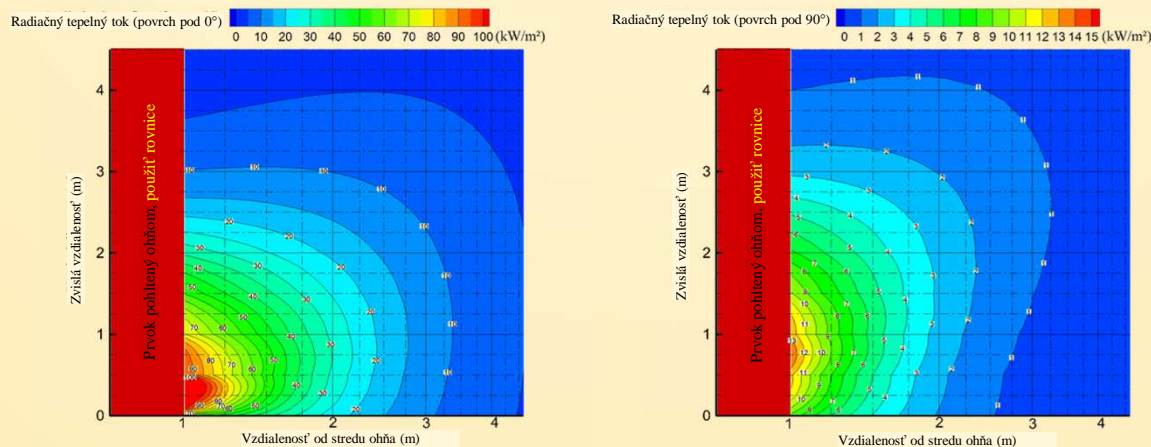
Overenie modelu pre veľké priemery (LCPP skúšky)



4. Výpočtová metóda a overenie

4.4. Obrysové grafy

- Poskytujú novú sadu výsledkov na overenie výsledkov SAFIR a OZone
- Poskytujú rýchle a bezpečné výsledky pre mnoho usporiadaní (predbežný návrh) a interpolačnú metódu pre ešte širší rozsah usporiadaní
- Poskytujú súbor referenčných výsledkov na overenie analytických metód používaných praktickými inžiniermi (tabuľkové procesory alebo software)

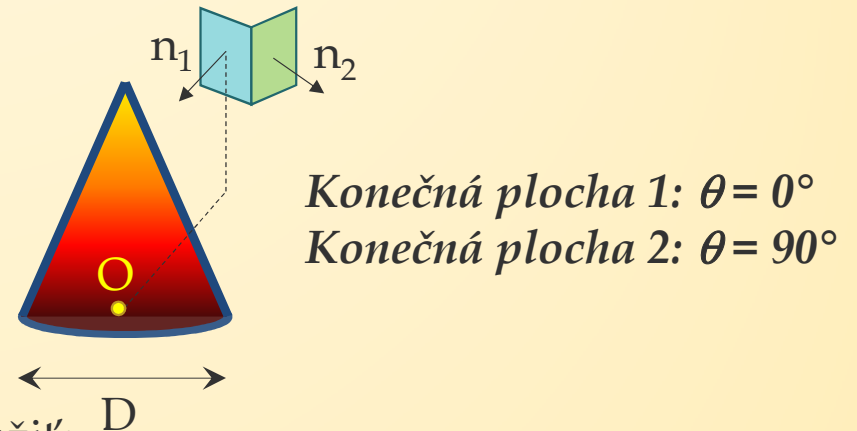


$D = 2\text{m}$, $RHR = 500 \text{ kW/m}^2$, $\theta = 0^\circ$ (vľavo) or $\theta = 90^\circ$ (vpravo)

4. Výpočtová metóda a overenie

4.4. Obrysové grafy

- Každý nomogram je charakterizovaný:
 - priemerom ohňa (m)
 - RHR (kW/m^2)
 - orientáciou prijímacieho povrchu ($^\circ$)
- Nomogramy zohľadňujú len sálanie. Nedajú sa použiť:
 - Vnútri ohňa \rightarrow HESKESTAD
 - Na úrovni stropu \rightarrow HASEMI
- Predpokladá sa, že emisivita plameňa je 1.0.
- Poskytujú dopadajúci tepelný tok, nie pohltený tepelný tok (musí sa prenásobiť emisivitou!)



4. Výpočtová metóda a overenie

4.4. Obrysové grafy

Prípad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D (m)	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
HRR (kW/m ²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	1500	250	500	1000	1500
Výkon (MW)	0.8	1.6	3.1	4.7	1.8	3.5	7.1	10.6	3.1	6.3	12.6	18.8

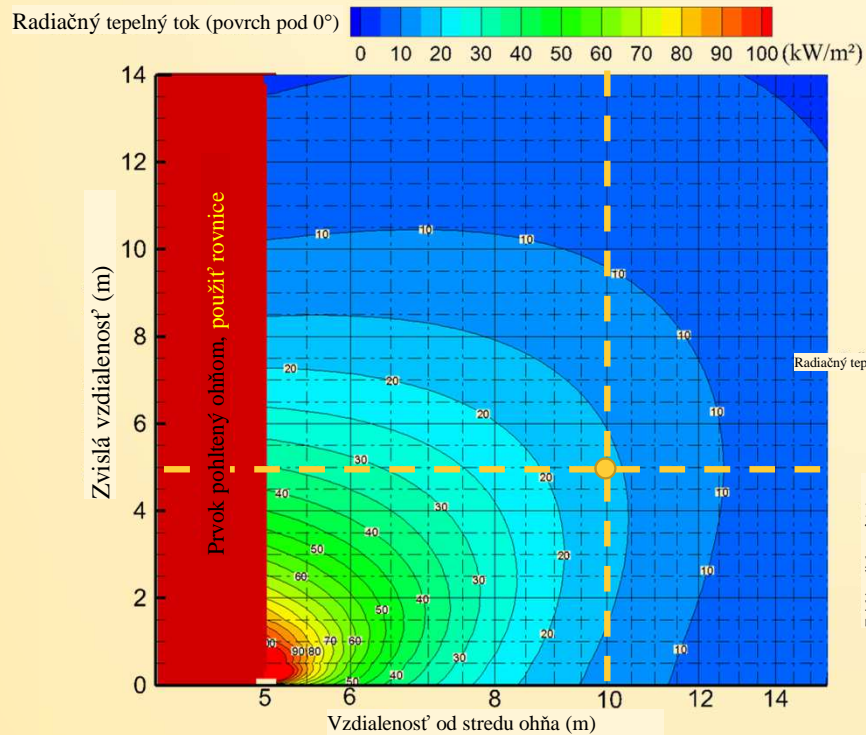
Prípad	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D (m)	6	6	6	6	8	8	8	9	9	9	10	10
HRR (kW/m ²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	250	500	750	250	500
Výkon (MW)	7.1	14.1	28.3	42.4	12.6	25.1	50.3	47.7	15.9	31.8	19.6	39.3

Oblasť použitia metódy (to isté ako Príloha C, EN 1991-1-2): $D \leq 10 \text{ m}$; $Q \leq 50 \text{ MW}$

→ Zvolené usporiadania pokrývajú oblasť použitia výpočtovej metódy

4. Výpočtová metóda a overenie

4.4. Obrysové grafy



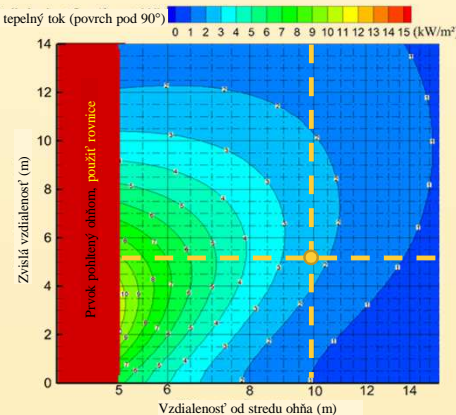
➤ Charakteristiky lokálneho požiaru:

- $D = 10$ m
- $RHR : 500 \text{ kW/m}^2$

➤ Poloha terča

- $Z = 5$ m
- $X = 10$ m
- Orientácia : 0°

Dopadajúci
tok = 16
 kW/m^2



➤ Poloha terča

- $Z = 5$ m
- $X = 10$ m
- Orientácia : 90°

Dopadajúci
tok = 2.4
 kW/m^2

4. Výpočtová metóda a overenie

4.5. Závery

- Projekt LOCAFI zavádza novú koncepciu virtuálneho telesa plameňa.
- Rozdelenie teplôt na obvode virtuálneho telesa plameňa je založené na existujúcich rovniciach z EN 1991-1-2 Príloha C (Heskestad, Hasemi).
- Výmena radiačných tokov je založená na polohovom faktore podľa EN 1991-1-2 Príloha G.
- Zjednodušený model je založený na matematických rovniciach poskytujúcich sálavý tepelný tok prijímaný nekonečnou plochou z valcov a prstencov.
- Tepelné toky spôsobené prúdením musia byť vypočítané osobitne. Konvekčné tepelné toky však majú významný vplyv iba v prípadoch už zahrnutých v EN 1991-1-2 Príloha C (prvky pohltené ohňom alebo umiestnené na úrovni stropu).