LOCAFI+

Temperature assessment of a vertical member subjected to LOCAlised Fire, Dissemination

Stanovení teploty svislých prvků vystavených lokálnímu požáru

Projekt č. 754072

4. Analytické metody a validace

4. Analytické metody a validace

4.1. Koncept Virtuálního požáru

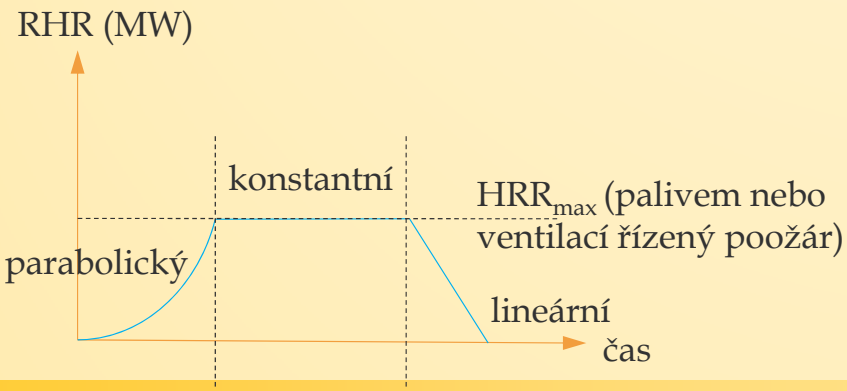
Modelování požáru

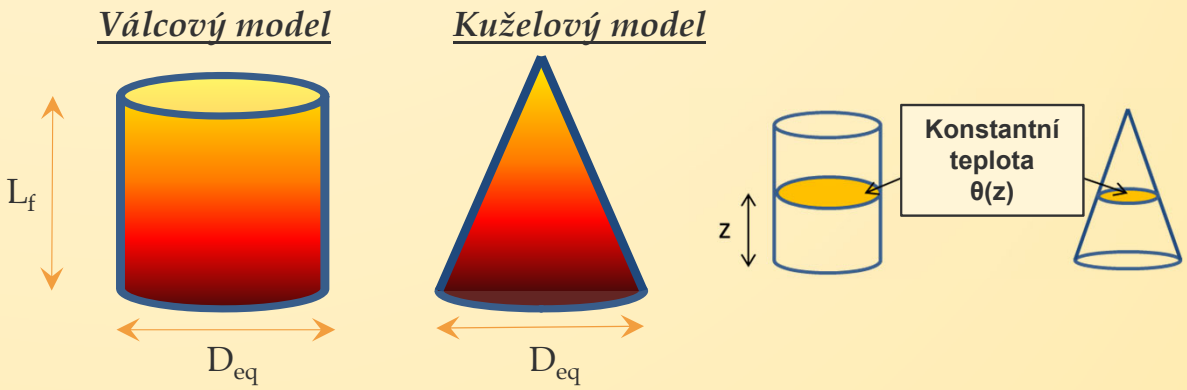
1: Plocha požáru je transformována na tvar kružnice s odpovídající plochou $D_{fire} = \sqrt{\frac{4.S}{\pi}}$

2: Rychlost rozvoje požáru je vypočítána dle ČSN EN 1991-1-2 Přílohy E (rozvoj požáru, plně rozvinutý požár, dohořívání)

3: Délka plamene L_f je počítána dle ČSN EN 1991-1-2 Přílohy C $L_f(t) = -1.02\, D_{fire} + 0.0148\, Q(t)^{0.4}$

4: Působení požáru je reprezentováno Virtuálním požárem ve tvaru válce nebo kužele definovaného D_{eq} a L_f



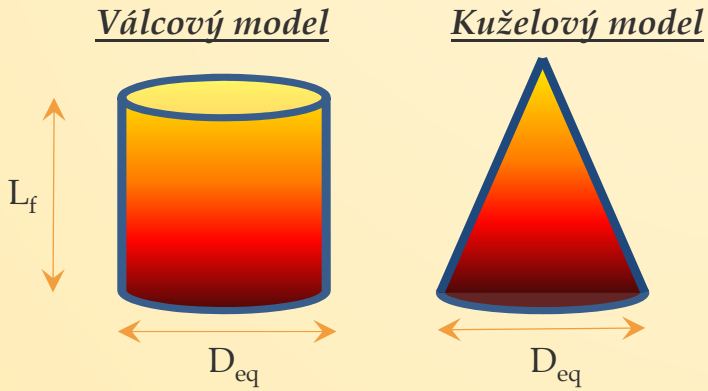


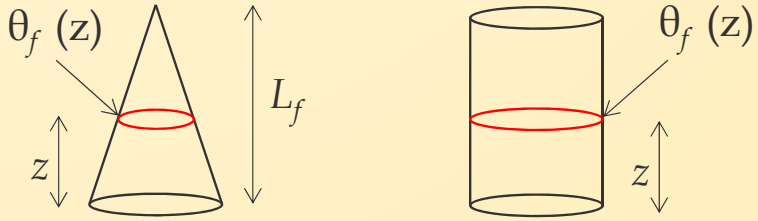
4. Analytické metody a validace

4.1. Koncept Virtuálního požáru

Modelování požáru

Pokud plamen nedosahuje stropu ($L_f < H_{stropu}$ nebo strop není)





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

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

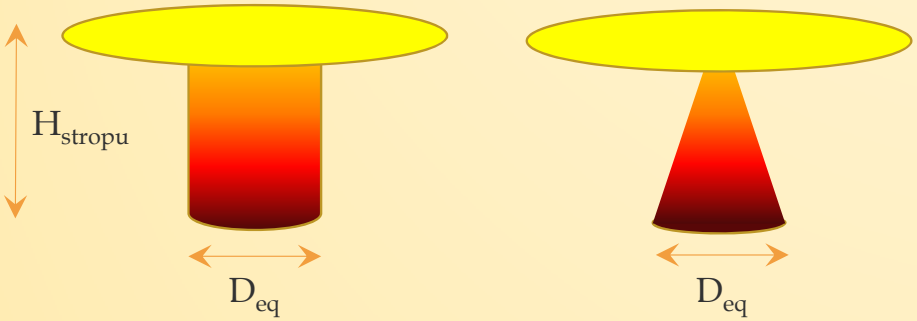
4. Analytické metody a validace

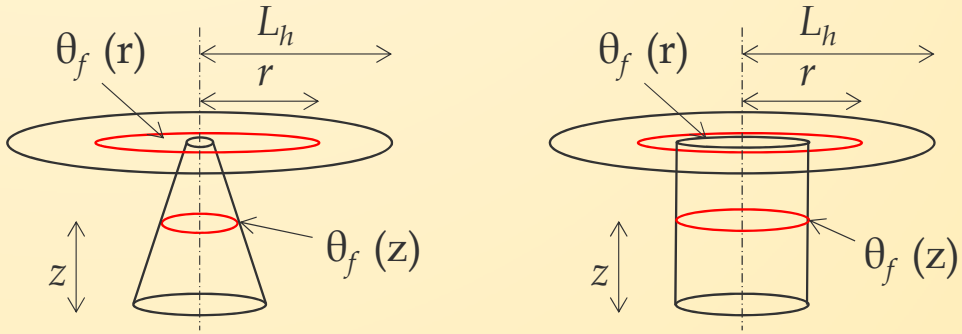
4.1. Koncept Virtuálního požáru

Modelling of the flame

Pokud plamen dosahuje stropu ($L_f > H_{stropu}$)

Válcový model ***Kuželový model***





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

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

$$L_h(t) = H\left(2.9Q(t)_H^{0.33} - 1\right)$$

$\dot{h}(r)$ *počítáno Hasemi*

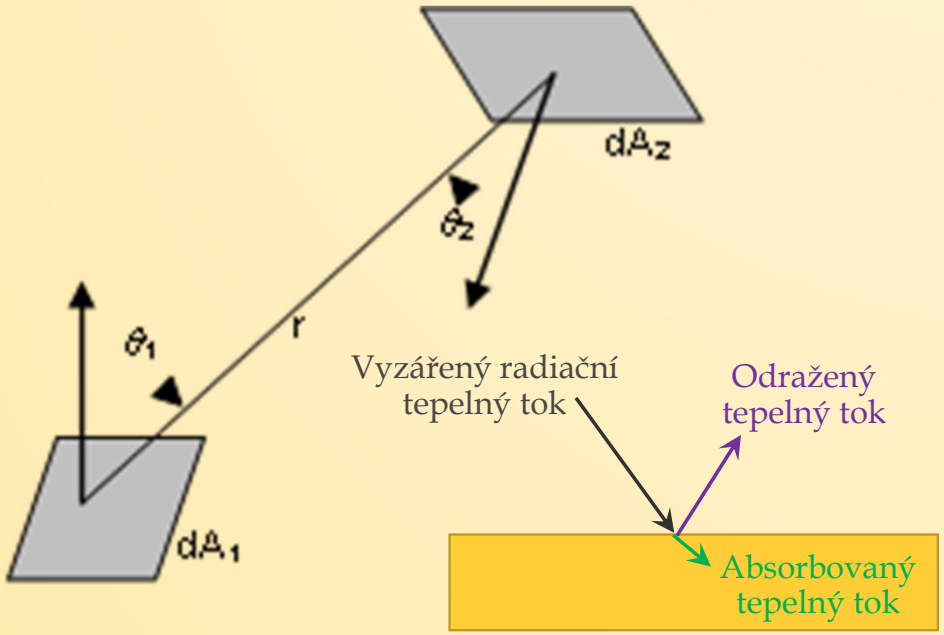
$\theta_f(r)$ *splňuje* $\dot{h}(r) = \sigma\left(\left(\theta_f(r) + 273\right)^4 - 293^4\right) + 35\left(\theta_f(r) - 20\right)$

4. Analytické metody a validace

4.2. Výměna tepla _ Geometrická metoda

Stanovení radiačního tepelného toku

Radiační tepelný tok vyzářený povrchem dA_1 a přijatý povrchem dA_2 je :



$$\emptyset_{dA_1 \to dA_2} = \alpha_2 \varepsilon_1 \sigma . T^4 \frac{cos(\theta_1) cos(\theta_2) dA_1 dA_2}{\pi r^2}$$

- Emissivita ε_1 (vyzařujícího povrchu) je předpokládána pro plameny rovna 1
- Absorpční schopnost α_2 je závislá na vlastnostech ozařovaného povrchu
- Kirchoff Law : absorpční schopnost (α) = emissivita (ε)
- Pro ocel, $\varepsilon = \alpha = 0.7$

4. Analytické metody a validace

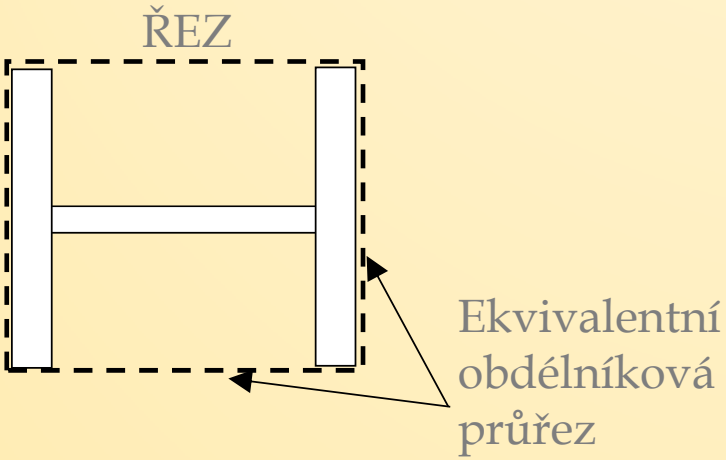
4.2. Výměna tepla _ Geometrická metoda

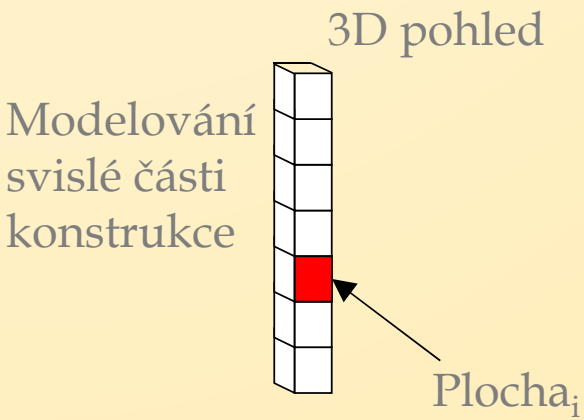
Modelování svislé části konstrukce

Konkávní úseky zahrnují **stínový efekt** → Zjednodušeně jsou tepelné toky počítány na konvexní délce obvodu.

Pro I- nebo H-průřez je prvek konstrukce transformován na sloupový prvek s ekvivalentním obdélníkovým průřezem (v souladu s ČSN EN 1991-1-2 Přílohou G).

Povrch takto upraveného prvku je následně dělen na plochy.

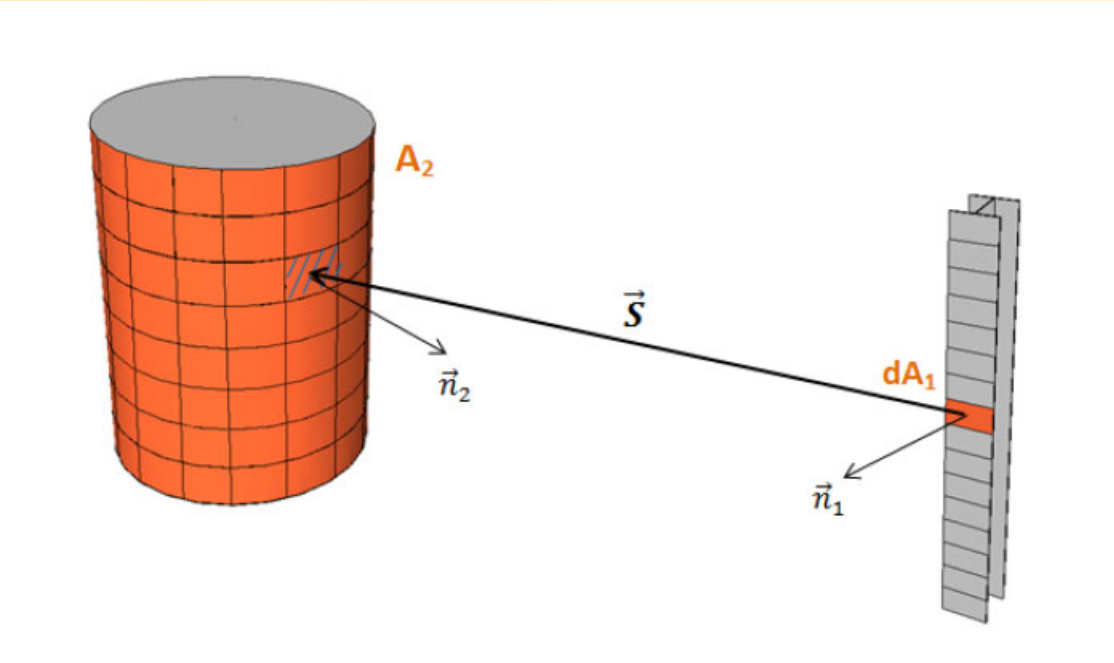




4. Analytické metody a validace

4.2. Výměna tepla _ Geometrická metoda

Numerická integrace



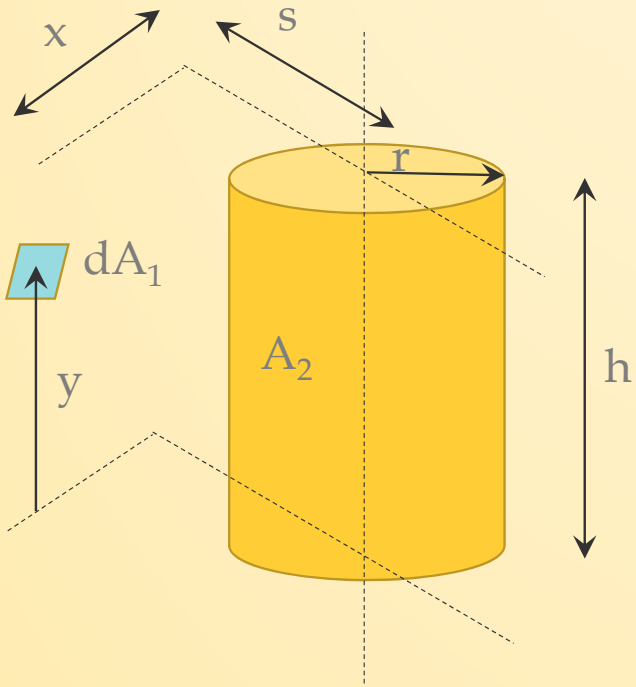
$$F_{d1-2} \simeq \frac{-1}{\pi} \sum_i \frac{(\vec{S}.\vec{n_1})(\vec{S}.\vec{n_2})}{S^4} \Delta A_i$$

- Každá "individuální" radiační výměna tepla je vypočtena (v každém kroku).
- Vyžaduje program pro reálné aplikace.
- Umožňuje použití nerovnoměrných podmínek (radiační toky) na obvod průřezu.

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Zobrazení faktoru mezi nekonečně malou plochou a válcem



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

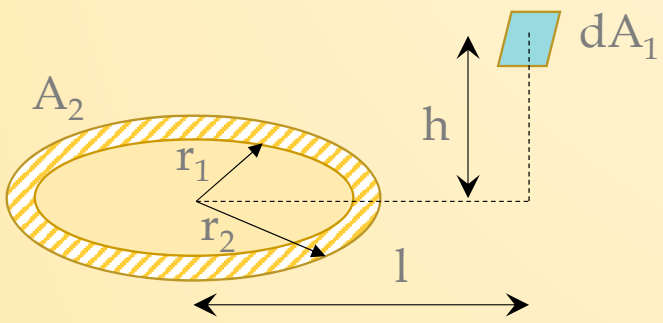
$$S = s/r$$
$$X = x/r$$
$$H = h/r$$
$$A = X^2 + Y^2 + S^2$$
$$B = S^2 + X^2$$
$$C = (H - Y)^2$$

Platí pouze tehdy, pokud rovina definovaná dA1 neprotíná válec !

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Zobrazení faktoru mezi nekonečně malou plochou a válcem



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

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

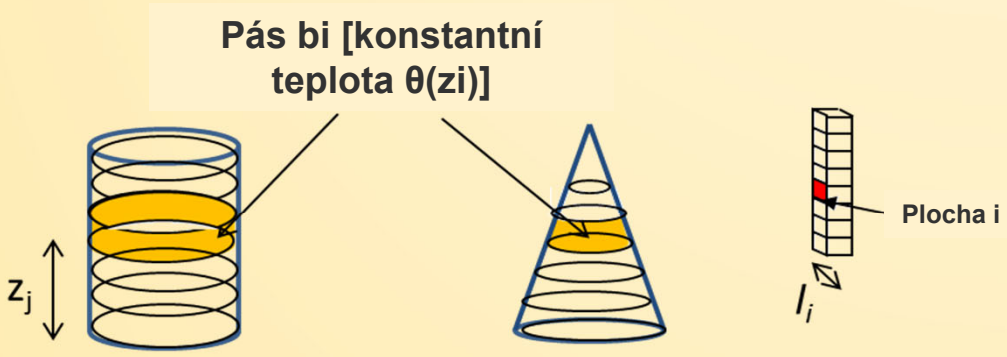
Platí pouze pokud $l > r_2$!

4. Analytické metody a validace

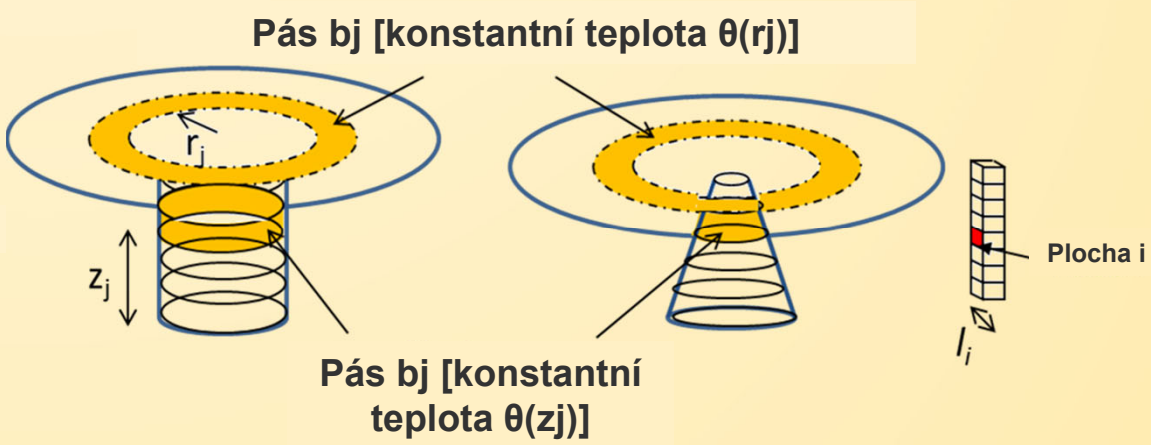
4.3. Zjednodušený model

Rozdělení požáru po výšce kužele a válce na prstence

Pokud plamen nedosahuje stropu
($L_f < H_{stropu}$ nebo strop není)



Pokud plamen dosahuje stropu
($L_f > H_{stropu}$)

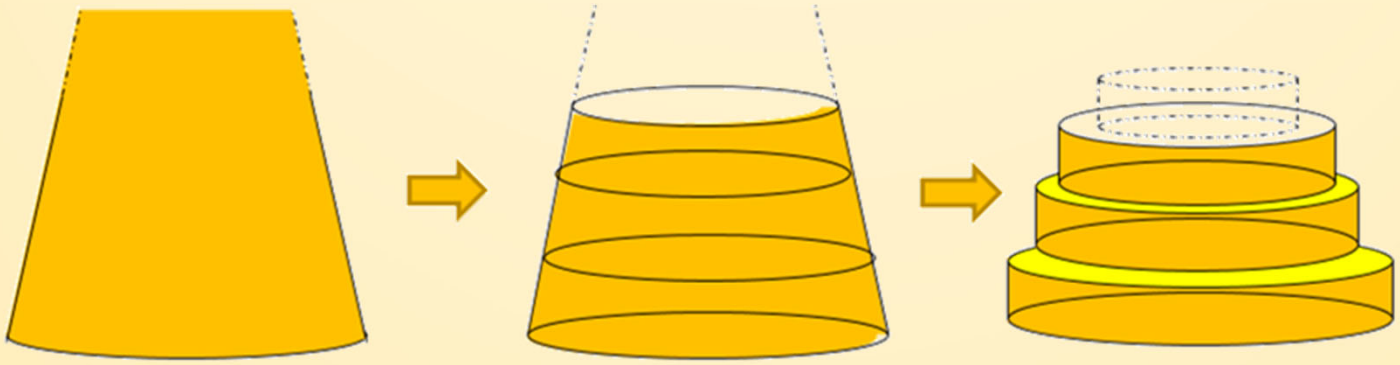


Poznámka: Příspěvek prstence je velmi nízký, s výjimkou případů, kdy je konstrukční prvek umístěn v prstenci

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Rozdělení požáru po výšce kužele a válce na prstence (Přizpůsobení 1)



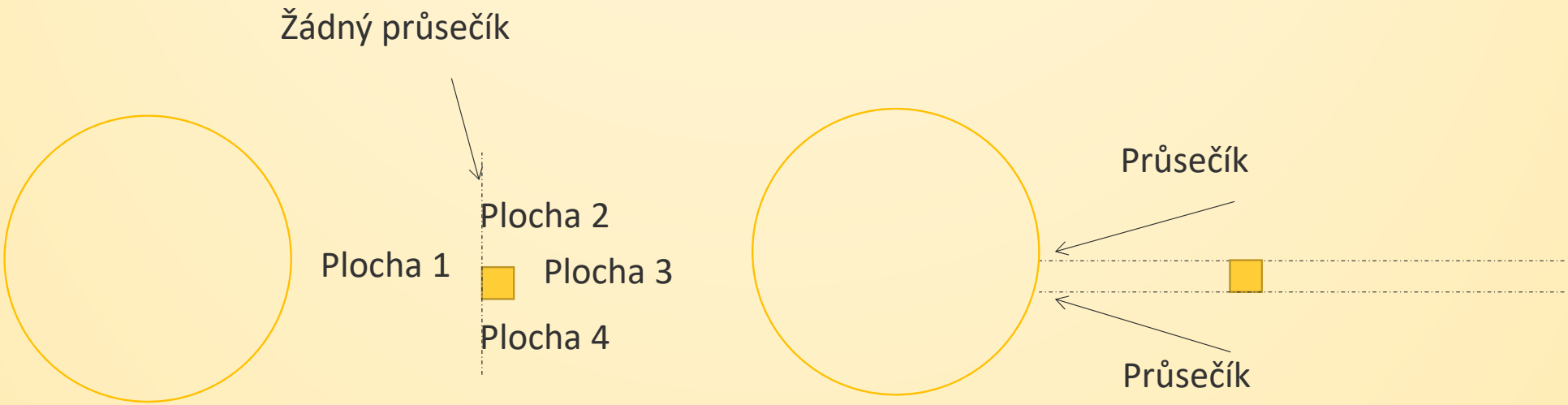
Kónický celiství plamen | Oříznutí kužele | Válce a prstence

!! Tím, že zanedbáváme příspěvek prstenců, podceňujeme přijatý tok a dokonce získáváme přijatý tepelný tok v oblasti nad ohněm roven 0 !!

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Rozdělení požáru po výšce kužele a válce na prstence (Přizpůsobení 2)

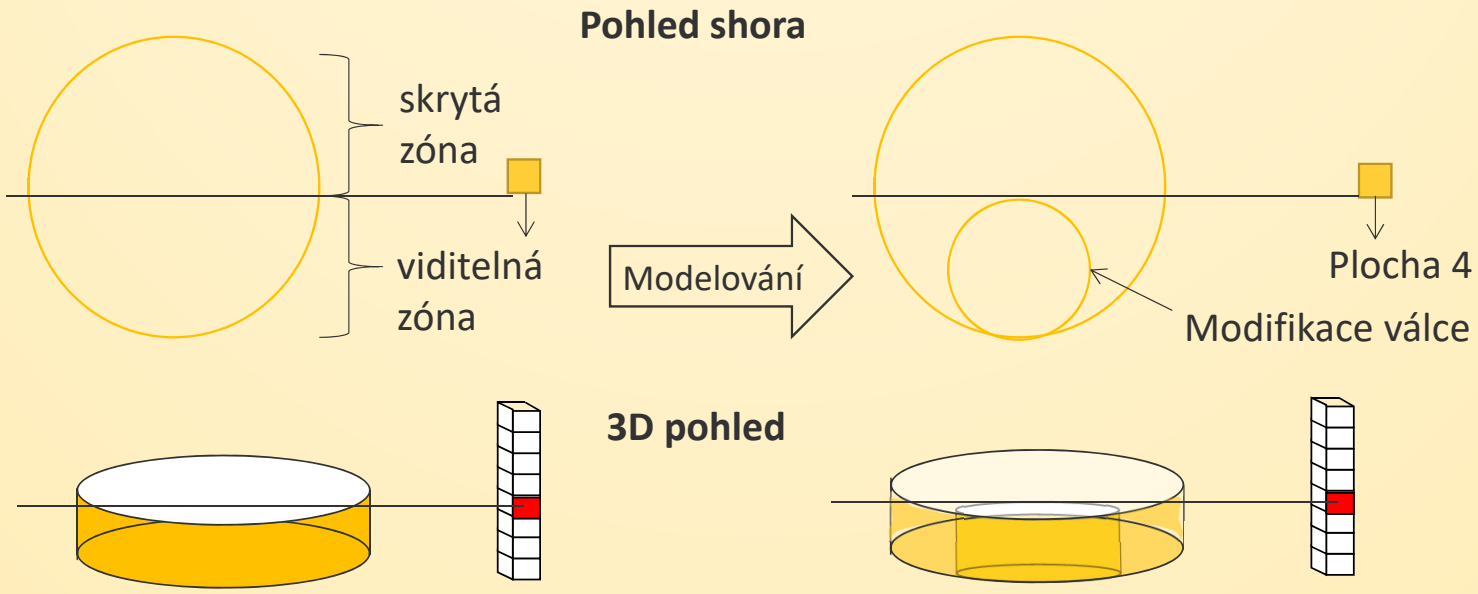


! Vzorec pro válec není platný, pokud ozařovaná plocha protíná válec !

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Rozdělení požáru po výšce kužele a válce na prstence (Přizpůsobení 2)

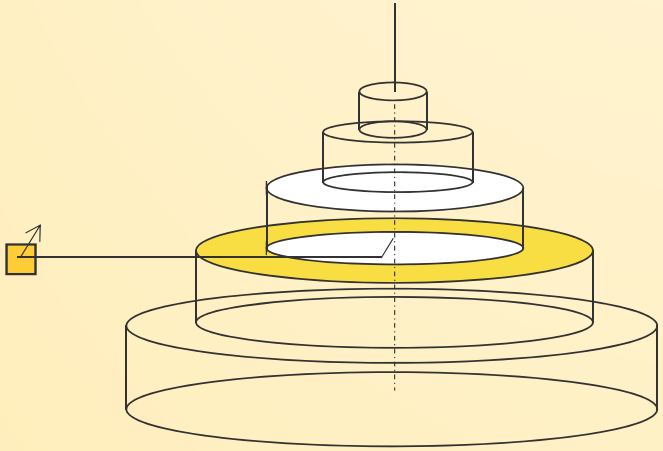


V tomto případě se počáteční válec transformoval na upravený válec ve viditelné zóně.

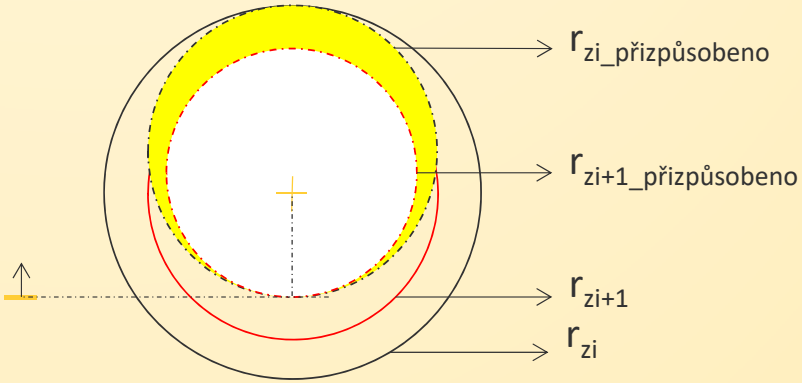
4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Rozdělení požáru po výšce kužele a válce na prstence (Přizpůsobení 3)



3D pohled



Půdorys

Část prstenců je « zakryta » válcem umístěným nad → Měla by být uvažována redukovaná část zón tak, aby byl návrh na straně bezpečnosti.

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Poznámky

- Doporučená šířka válce je 50 cm
- Pro prvky umístěné pod stropem by měl být započítán konvekční tepelný tok → Hasemi
- Pro několik požárů musí být započítány toky z každého požáru. Celkový přijatý tepelný tok je pak omezen na 100 kW/m^2 $\dot{h}_{tot} = min(\dot{h}_{rad_section} + \dot{h}_{conv}; 100000)$ [W.m^{-2}]
- Teplota prvku je počítána na základě tepelné bilance.

$$\rho C_p(T)\frac{dT}{dt} = \frac{A_m}{V}\left[\dot{h}_{z_j} + \alpha_c(20-\theta) + \varepsilon\left(\sigma(293^4 - (\theta+273)^4)\right)\right] \quad [\mathrm{W.m^{-2}}]$$

Vlastnosti posuzovaného prvku:

ρ hustota [kg/m^3],
C_p měrná tepelná kapacita [J.kg^{-1}.K^{-1}]
A_m/V součinitel průřezu [m^{-1}]

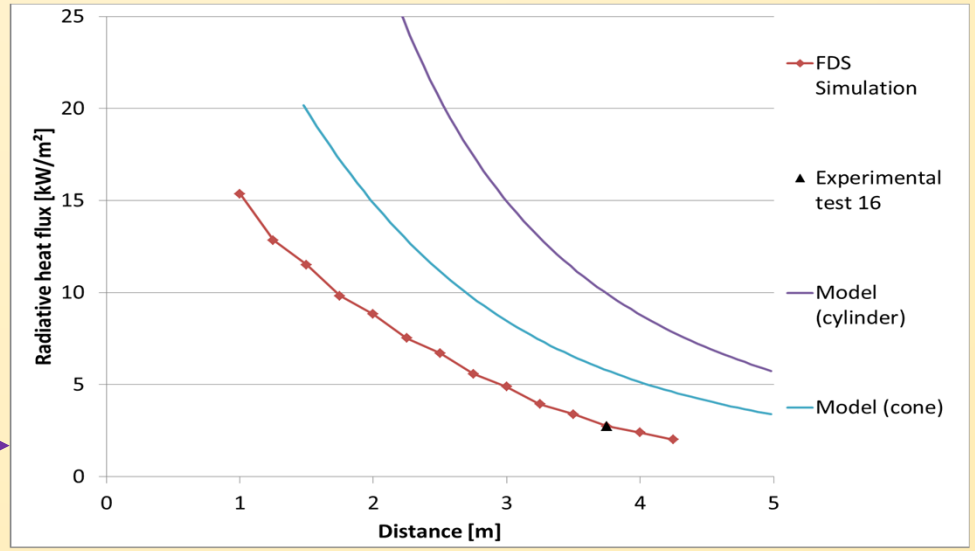
4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Validace modelu na základě Liège testů (a FDS modelování)

- Měřící bod umístěn 3,75 m od zdroje požáru (ve výšce 1,75 m)
- Orientace měřícího bodu: kolmo na osu požárního měřiče

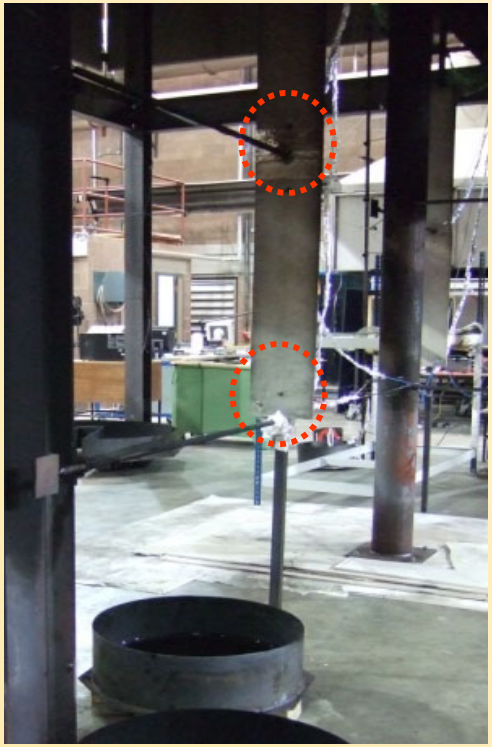
Průměr	Experiment průměrná hodnota	Testy číslo	Válcový požár	Kónický požár
[m]	[kW/m²]	[-]	[kW/m²]	[kW/m²]
0.60	0.31	1 to 4	1.20	0.74
1.00	0.73	5 to 8	3.23	1.95
1.40	1.36	9 to 14	6.19	3.67
1.80	2.12	15 to 18	9.95	5.78
2.20	3.39	19 to 22	14.55	8.30

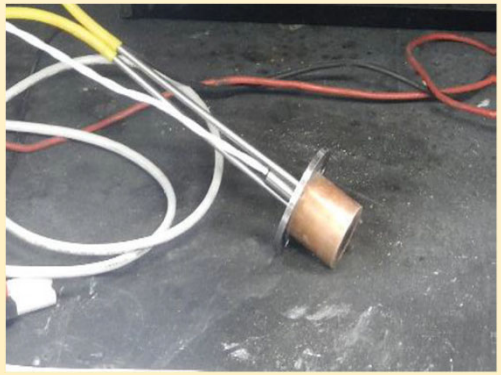


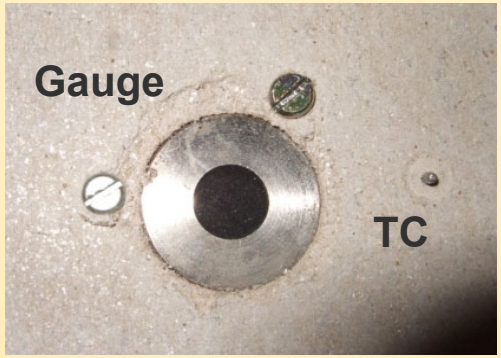
4. Analytické metody a validace

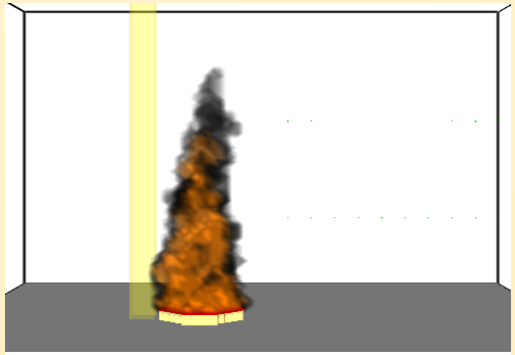
4.3. Zjednodušený model

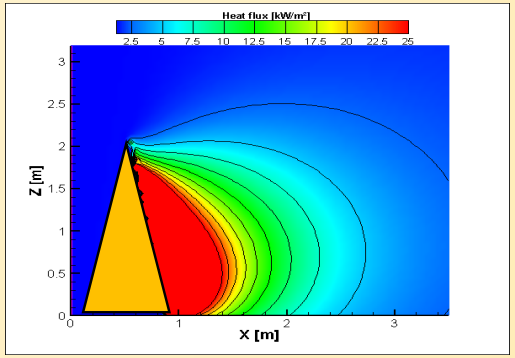
Validace modelu na základě Ulster testů (a FDS modelování)

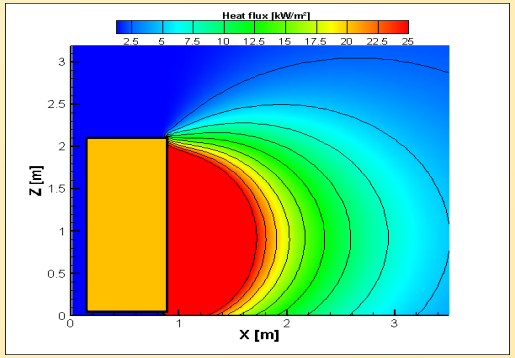








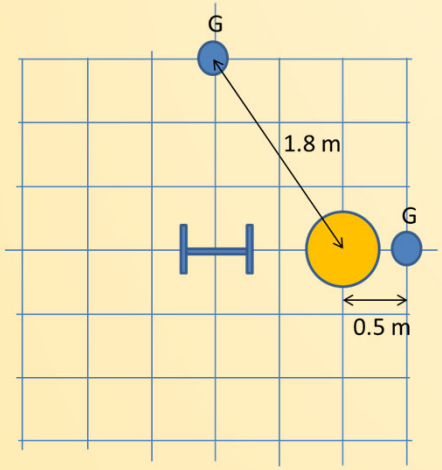


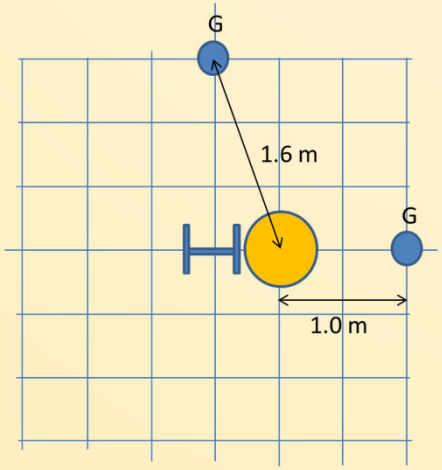


4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Validace modelu na základě Ulster testů (a FDS modelování)





Případ 1a
1 zdroj
D = 0.7 m
Měření 0.5/1.8 m

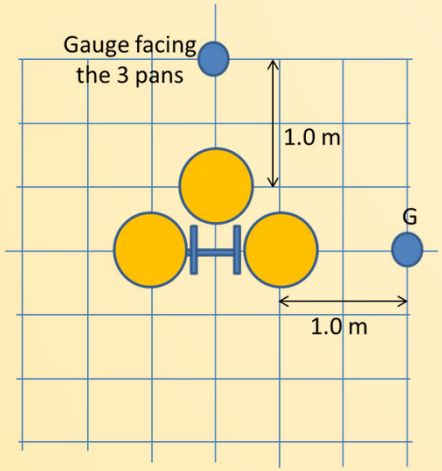
Případ 1b
1 zdroj
D = 0.7 m
Měření 1.0/1.6 m

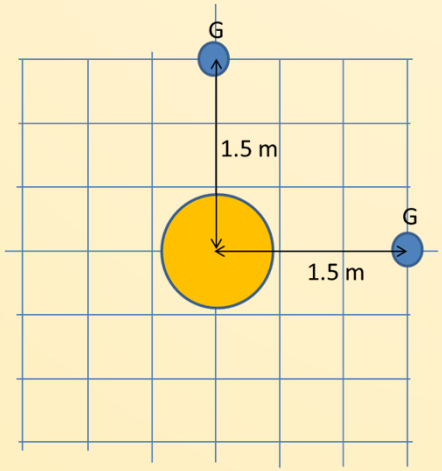
Pozice měřiče		Experiment průměr	FDS Simulace	Válcový požár	Kónický požár
Výška	Vzdálenost				
m	m	kW/m²	kW/m²	kW/m²	kW/m²
1.0	0.5	30.6	28.5	74.0	39.0
1.0	1.0	13.8	12.9	33.2	17.9
1.0	1.6	5.9	5.5	15.5	8.5
1.0	1.8	4.2	3.8	10.8	6.0
2.0	0.5	6.2	11.2	22.0	5.9
2.0	1.0	4.5	5.9	14.1	5.5
2.0	1.6	3.0	3.7	8.8	4.1
2.0	1.8	2.3	2.6	6.7	3.3

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Validace modelu na základě Ulster testů (a FDS modelování)





Případ 3
3 zdroje
D = 0.7 m
Měření 1.0 m

Případ 5
1 zdroj
D = 1.6 m
Měření 1.5 m

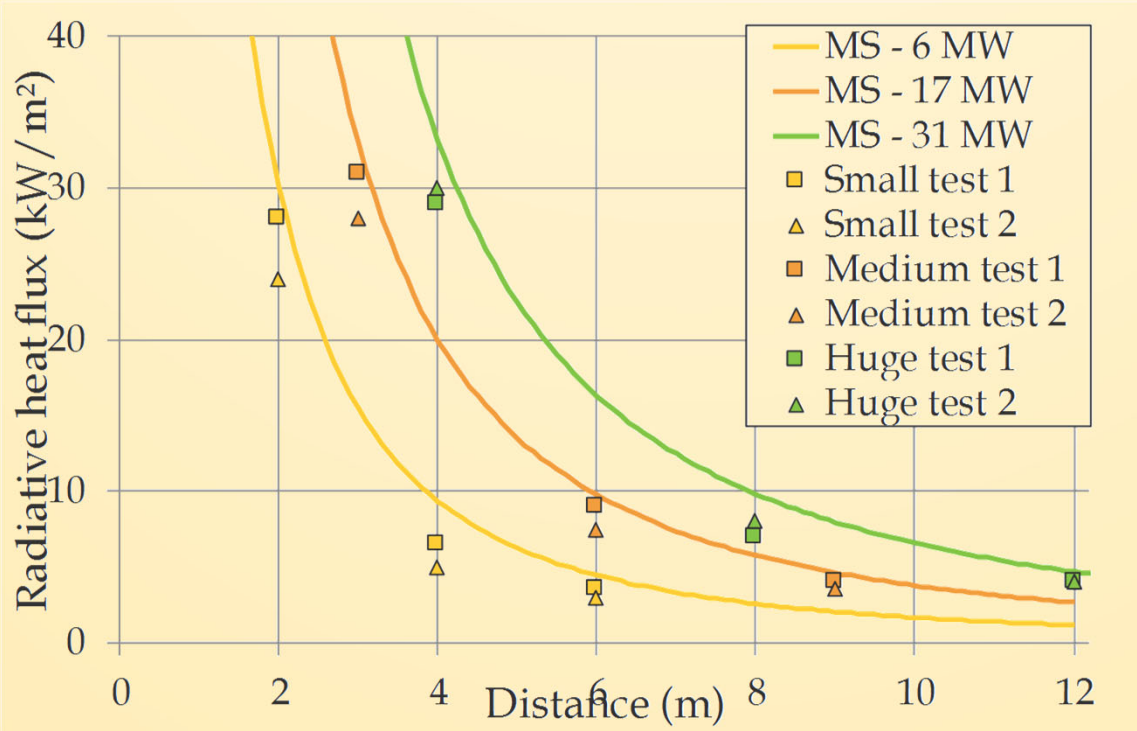
Pozice měřiče		Experiment průměr	FDS Simulace	Válcový požár	Kónický požár
Výška	Vzdálenost				
m	m	kW/m²	kW/m²	kW/m²	kW/m²
1.0	1.0	31.0	26.6	66.3	37.4
1.0	1.0	24.3	21.6	62.0	34.6
2.0	1.0	15.0	17.7	40.9	16.2
2.0	1.0	13.0	13.6	38.5	15.9

Pozice měřiče		Experiment průměr	FDS Simulace	Válcový požár	Kónický požár
Výška	Vzdálenost				
m	m	kW/m²	kW/m²	kW/m²	kW/m²
1.0	1.5	37.6	33.6	53.9	38.9
2.0	1.5	26.5	24.5	55.2	29.7

4. Analytické metody a validace

4.3. Zjednodušený model

Validace modelu pro velké průměry požáru (LCPP testy)

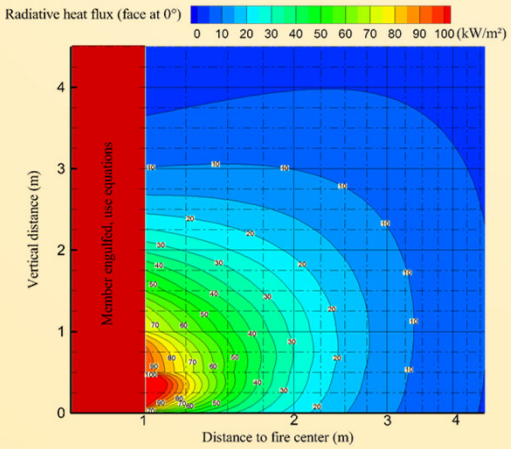


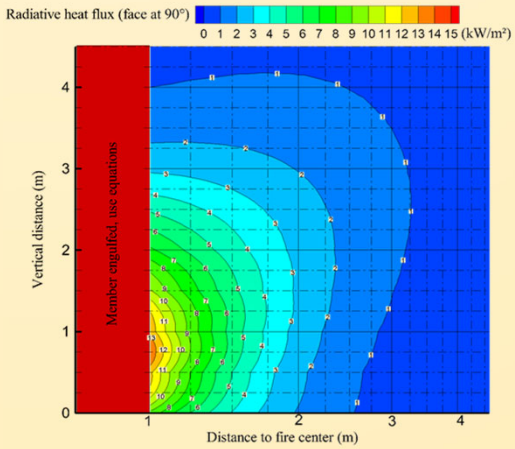
20

4. Analytické metody a validace

4.4. Teplotní pole

- Poskytuje novou sadu výsledků pro validaci implementací SAFIR a OZone
- Zajišťuje rychlé a bezpečné výsledky pro širokou škálu konfigurací (předběžný návrh) a metoda interpolace, použití v mnohem širším rozsahu konfigurací
- Poskytuje soubor referenčních výsledků pro validaci implementace analytických metod (rozšířené tabulky nebo software)

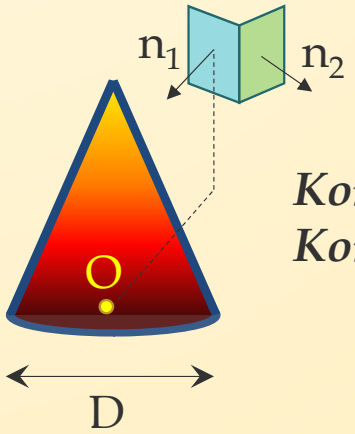




D = 2 m, RHR = 500 kW/m^2, θ = 0° (nalevo) nebo θ = 90° (napravo)

4. Analytické metody a validace

4.4. Teplotní pole



Konečný povrch 1 : $\theta = 0°$
Konečný povrch 2 : $\theta = 90°$

- Každý nomogram je charakterizován pomocí:
  - průměru požáru (m)
  - RHR (kW/m^2)
  - orientací ozařované plochy (°)

- Nomogramy uvažují pouze radiaci. Nepoužívají se:
  - Uvnitř ohně → HESKESTAD
  - Na úrovni stropu → HASEMI

- Předpokládá se, že emisivita plamene je 1.0

4. Analytické metody a validace

4.4. Teplotní pole

Případ	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/m²)	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

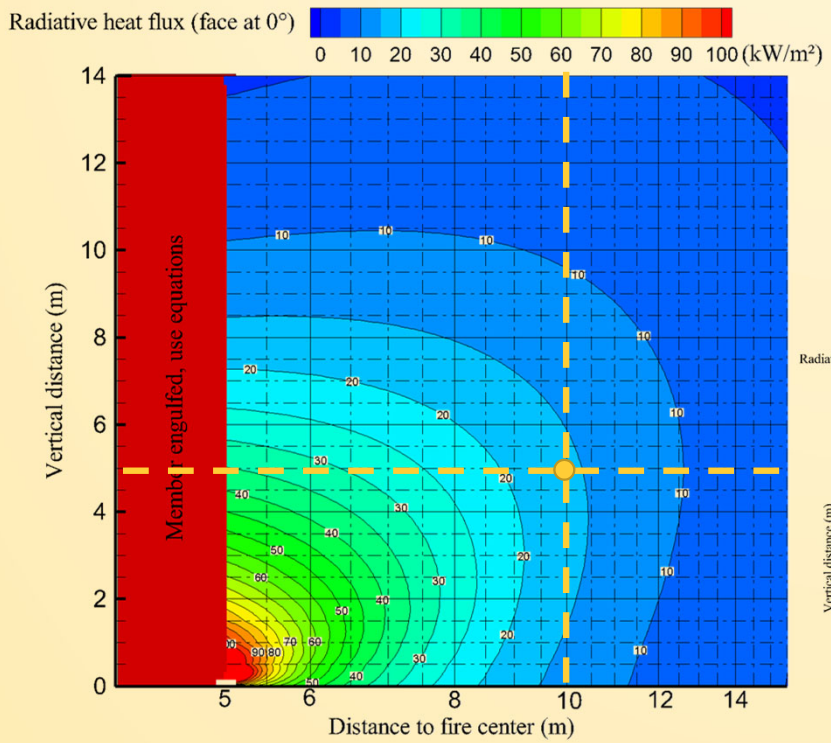
Případ	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D (m)	6	6	6	6	8	8	8	9	9	9	10	10
HRR (kW/m²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	250	500	750	250	500
Výkon (MW)	7.1	14.1	28.3	42.4	12.6	25.1	50.3	47.7	15.9	31.8	19.6	39.3

Rozsah použití metody (ČSN EN 1991-1-2, Příloha C) : D ≤ 10 m ; Q ≤ 50 MW

→ Zvolené konfigurace pokrývají oblast použití výpočetní metody

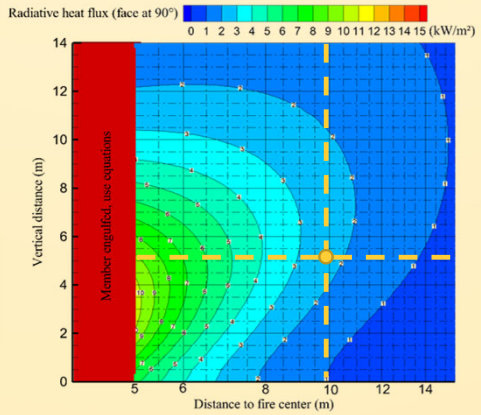
4. Analytické metody a validace

4.4. Teplotní pole



- Charakteristiky lokálního požáru :
  - D = 10 m
  - RHR : 500 kW/m²
- Pozice :
  - Z = 5m
  - X = 10 m
  - Orientace : 0°

Přijatý tepelný tok = 16 kW/m²



- Pozice :
  - Z = 5m
  - X = 10 m
  - Orientace : 90°

Přijatý tepelný tok = 2.4 kW/m²

4. Analytické metody a validace

4.5. Závěry

- Projekt LOCAFI zavádí novou koncepci Virtual Solid Flame - Virtuální Požáru.
- Rozložení teploty na obvod virtuálního požáru je založeno na existujících rovnicích ČSN EN 1991-1-2 Přílohy C (Heskestad, Hasemi).
- Výměna radiačních toků vychází z konfiguračního faktoru ČSN EN 1991-1-2 Příloha G.
- Zjednodušený model je založen na matematických rovnicích, které poskytují radiační tepelný tok přijatý nekonečně malým povrchem z válců a prstenců.
- Konvekční tepelné toky se musí vypočítat zvlášť. Konvekční tepelné toky však mají významný účinek pouze v konfiguracích, které jsou již zahrnuty do ČSN EN 1991-1-2 Přílohy C (prvky konstrukcí, které se nacházejí přímo v ohni nebo na úrovni stropu)..