



LOCAFI+

Določitev temperatur navpičnih elementov izpostavljenih lokaliziranim
požarom
Diseminacija
Grant Agreement n° 754072

4. Analitične metode in validacija

4. Analitične metode in validacija

4.1. Koncept Navidezno Trdnega Plamena

Modeliranje plamena

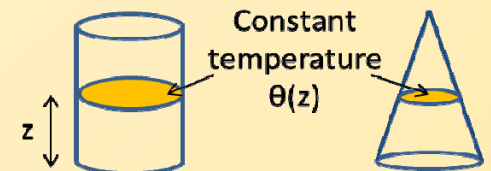
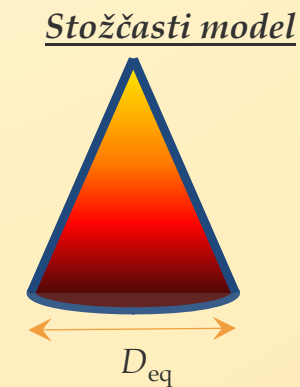
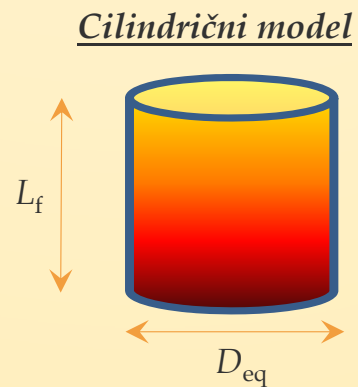
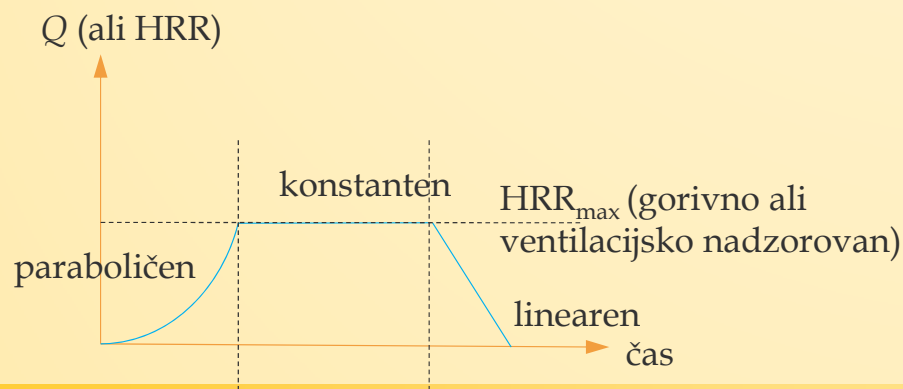
Korak 1: Površina požara se nadomesti z ekvivalentno krožno površino $D_{fire} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$

Korak 2: Hitrost sproščanja toplote je določena skladno z EN 1991-1-2 Dodatek E (faza razvoja, plato, faza ohlajanja)

Korak 3: Dolžina plamena L_f je izračunana z uporabo EN 1991-1-2 Dodatek C

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

Step 4: Vpliv požara predstavlja navidezno trdni plamen, cilindričen ali stožčast, opisan z D_{eq} in L_f

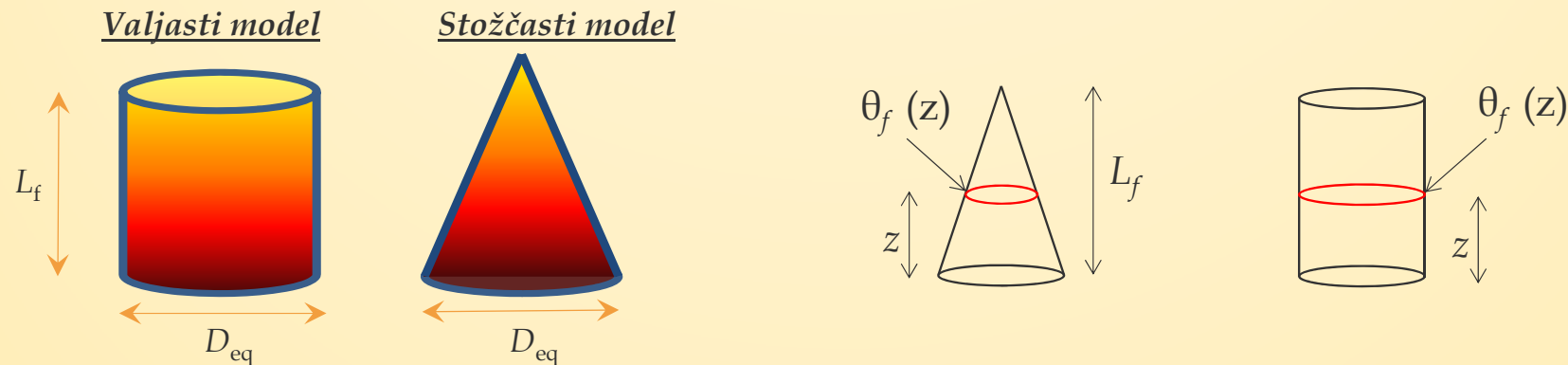


4. Analitične metode in validacija

4.1. Koncept Navidezno Trdnega Plamena

Modeliranje plamena

Če plamen ne doseže stropa ($L_f < H_{\text{ceiling}}$ ali brez stropa)



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

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

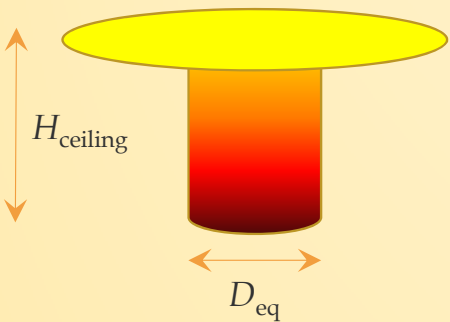
4. Analitične metode in validacija

4.1. Concept of Virtual Solid Flame

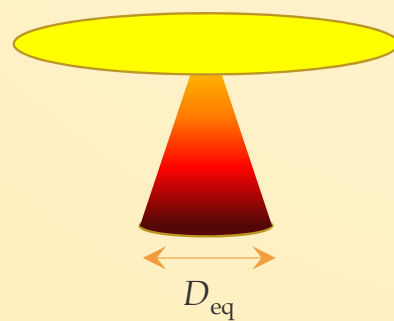
Modelling of the flame

Če plamen doseže strop ($L_f > H_{\text{ceiling}}$)

Valjasti model

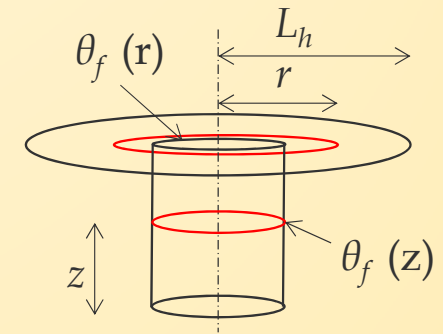
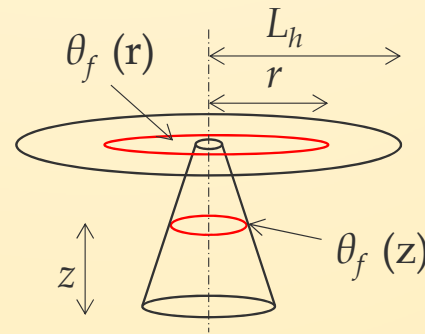


Stožčasti model



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

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



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

$\dot{h}(r)$ izračunan z modelom Hasemi

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

Opomba : vpliv kolobarja je relativno majhen razen, če se element nahaja znotraj njega → upoštevati samo za elemente na nivoju stropa

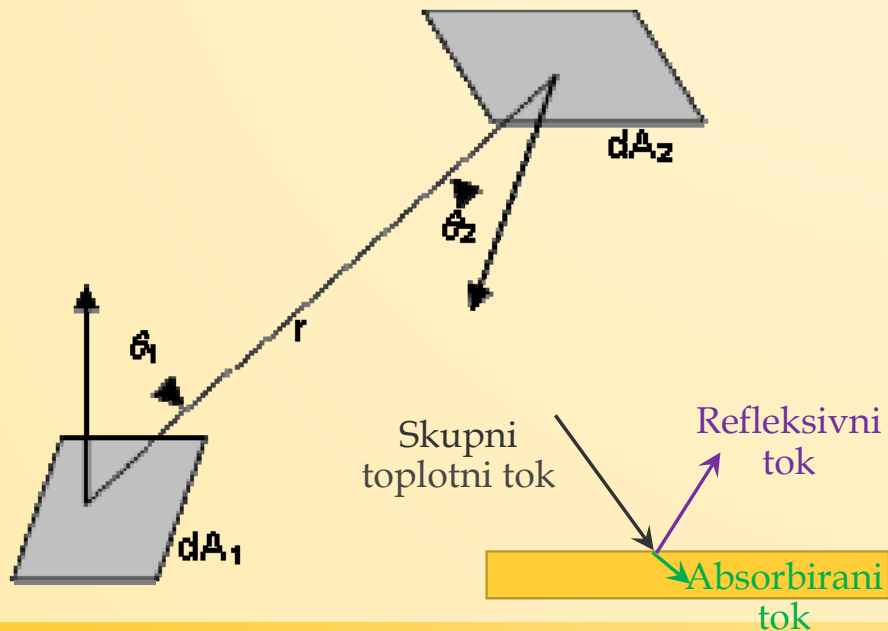
4. Analitične metode in validacija

4.2. Geometrijska metoda za izmenjavo toplotnih tokov

Določitev sevalnega toplotnega toka

Sevalni toplotni tok, ki ga oddaja sevalna površina dA_1 in prejme površina dA_2 je enak:

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



- emisivnost ε_1 (površine, ki oddaja) je enaka 1 za plamen
- absorptivnost α_2 je odvisna od lastnosti prejemne površine
- Kirchhoffov zakon: absorptivnost (α) = emisivnost (ε)
- za jeklo, $\varepsilon = \alpha = 0.7$

4. Analitične metode in validacija

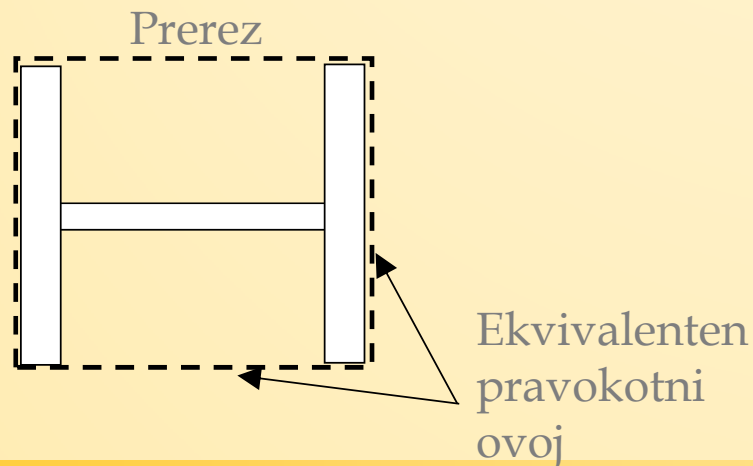
4.2. Geometrijska metoda za izmenjavo toplotnih tokov

Modeliranje navpičnega elementa

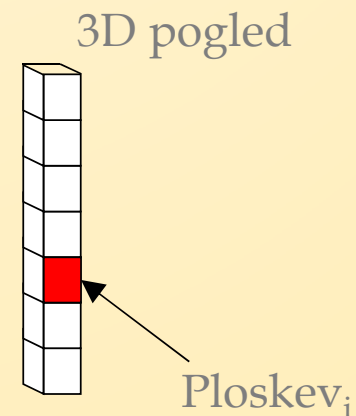
Konkavni prerezi imajo **vpliv zasenčenje** A2 Poenostavljeno se toplotni tok določi na konveksnih robovih

Za I- in H-prereze se konstrukcijski element nadomesti z navideznim prerezom pravokotne oblike (skladno z EN 1991-1-2 Dodatek G)

Nato se površina oboda posameznega odseka razdeli na ploskve



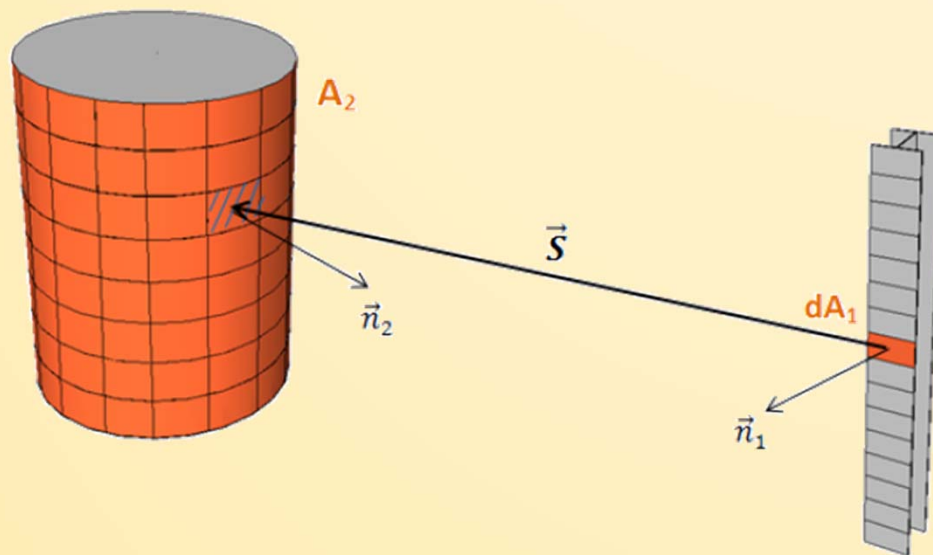
Model
navpičnega
elementa



4. Analitične metode in validacija

4.2. Geometrijska metoda za izmenjavo toplotnih tokov

Numerična integracija



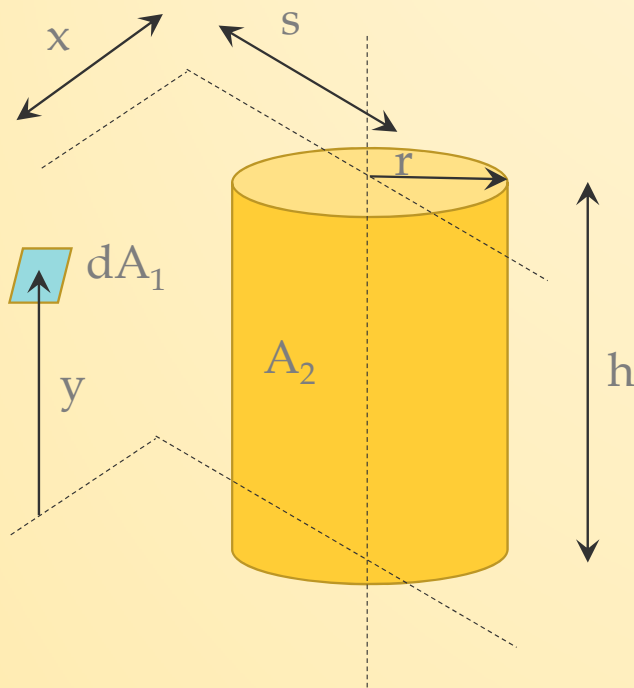
$$F_{d1-2} \simeq \frac{-1}{\pi} \sum_i \frac{(\vec{S} \cdot \vec{n}_1)(\vec{S} \cdot \vec{n}_2)}{S^4} \Delta A_i$$

- Vsaka “posamezna” izmenjava zaradi sevanja je izračunana (pri vsakem časovnem koraku).
- Zahteva programsko opremo za prave aplikacije.
- Omogoča uporabo neenotnih pogojev (sevalnih tokov) na obodu prereza.

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Konfiguracijski faktor med infinitezimalno ploskvijo in valjem



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

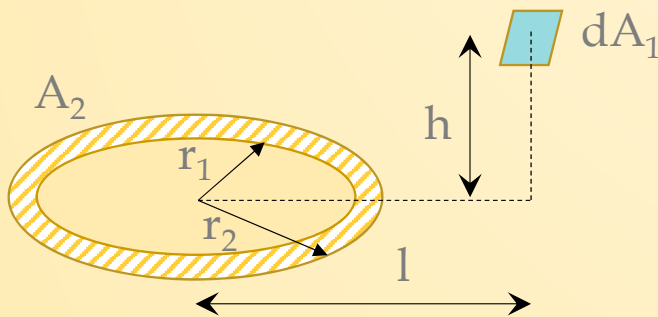
$$\begin{aligned} S &= s/r \\ X &= x/r \\ H &= h/r \\ A &= X^2 + Y^2 + S^2 \\ B &= S^2 + X^2 \\ C &= (H - Y)^2 \end{aligned}$$

Velja le, če ravnina, ki jo določa A_1 ne preseka valja!

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Konfiguracijski faktor med infinitezimalno ploskvijo in valjem A3



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

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

Velja le, če $l > r_2$!

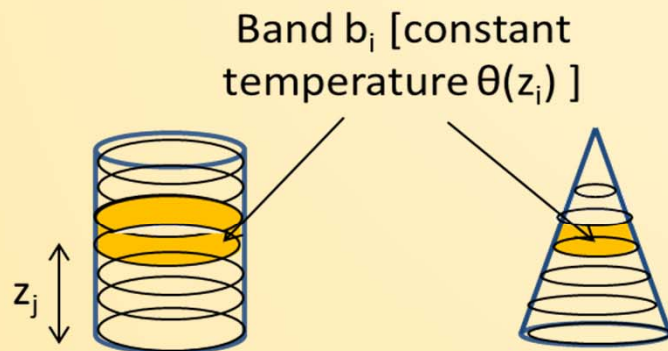
4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Razdelitev plamena v niz valjev in kolobarjev

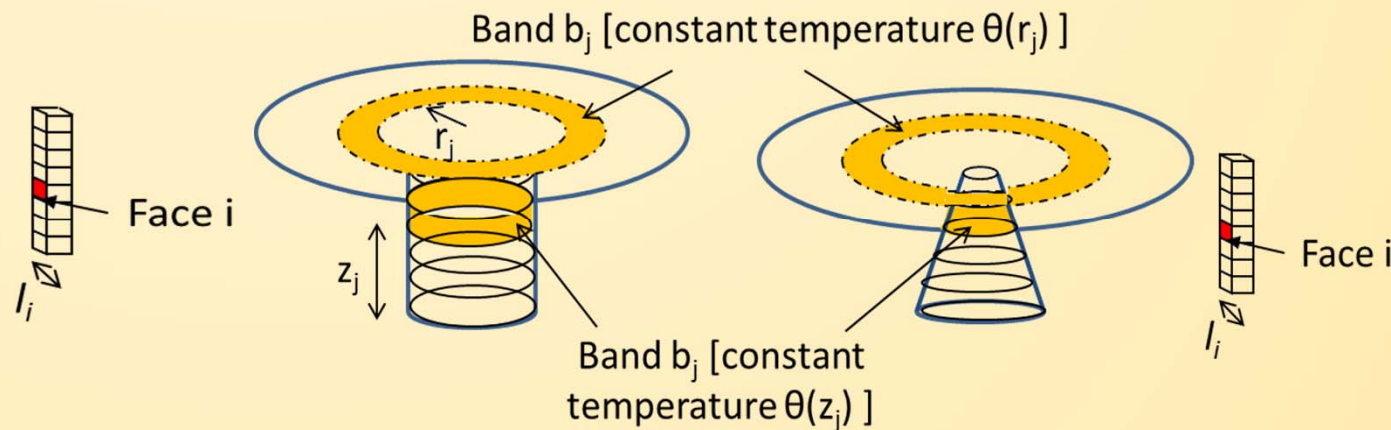
Če plamen ne doseže stropa

($L_f < H_{\text{ceiling}}$ ali brez stropa)



Če plamen doseže strop

($L_f > H_{\text{ceiling}}$)

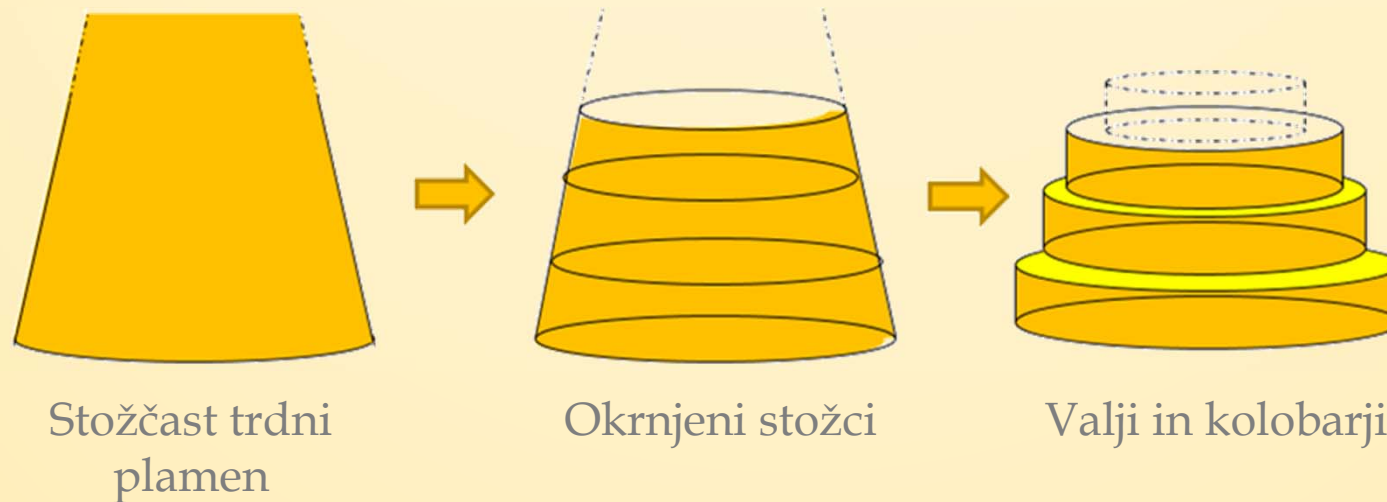


Opomba : vpliv kolobarja je relativno majhen razen, če se element nahaja znotraj njega → upoštevati samo za elemente na nivoju stropa

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Razdelitev plamena v niz valjev in kolobarjev (Prilagoditev 1)

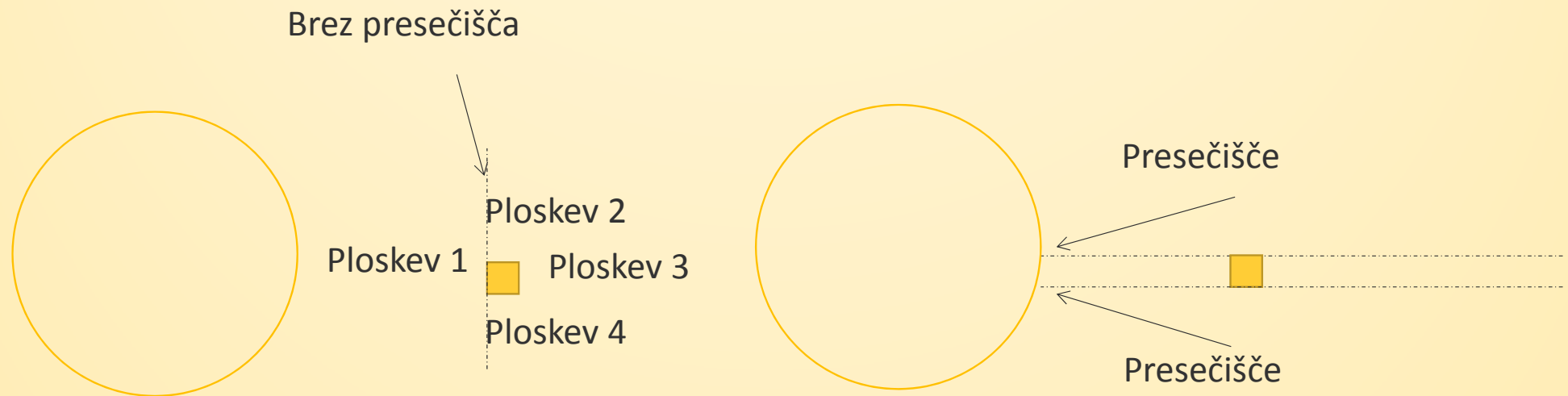


! Z zanemarjenjem prispevka kolobarjev podcenimo skupni toplotni tok in lahko celo dosežemo, da je skupni toplotni tok enak 0 nad ognjem !

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Razdelitev plamena v niz valjev in kolobarjev (Prilagoditev 2)

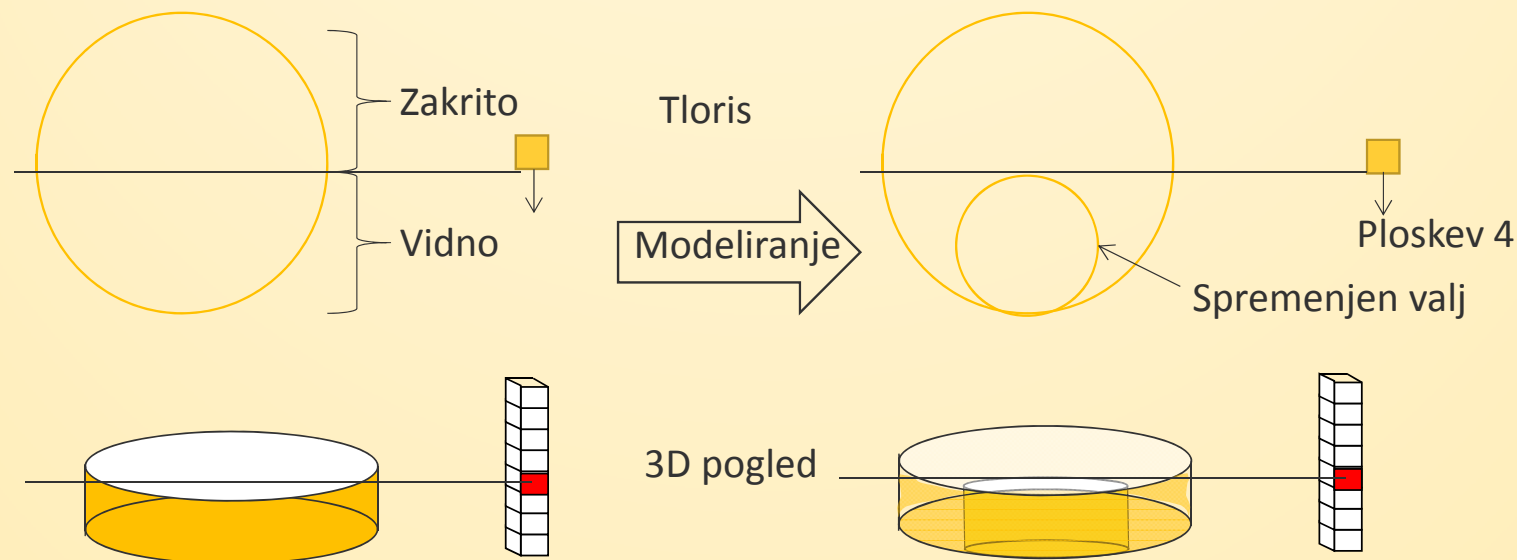


! Enačba za valj ni veljavna, če ravnina prejemne površine preseka valj !

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Razdelitev plamena v niz valjev in kolobarjev (Prilagoditev 2)

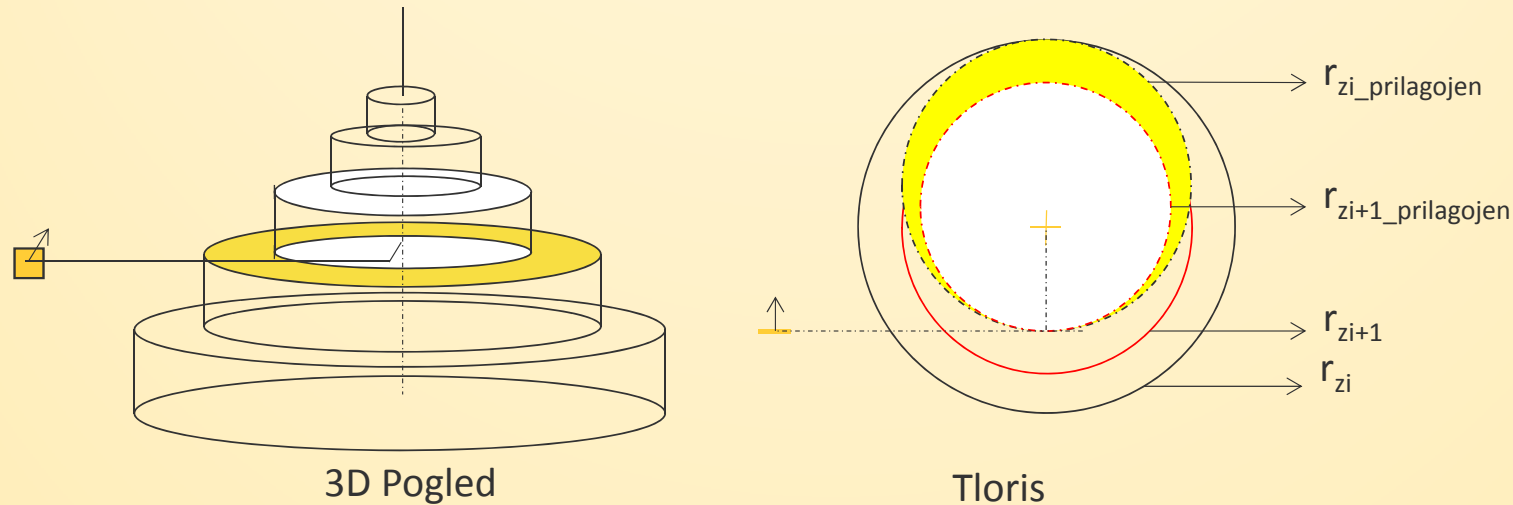


V tem primeru, se začetni valj v vidnem območju spremeni v spremenjen valj

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Razdelitev plamena v niz valjev in kolobarjev (Prilagoditev 3)



Del kolobarjev je « zakrit » z valji zgoraj → Upoštevati je potrebno zmanjšano območje (varna stran, če ne upoštevamo tega zmanjšanja...)

4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Dodatne opombe

- Priporočena širina valja 50 cm
- Za elemente, ki se nahajajo pod stropom je potrebno upoštevati vpliv konvekcije → Hasemi
- Za več požarov, se toplotni tokovi posameznega požara seštevajo. Skupni toplotni tok je omejen z zgornjo mejo 100 kW/m^2 $\dot{h}_{tot} = \min(\dot{h}_{rad_section} + \dot{h}_{conv}; 100000) [\text{W m}^{-2}]$
- Temperatura elementa je določena s toplotnim ravnotežjem elementa:

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

ρ_a, c_a , in A_m/V so gostota $[\text{kg.m}^{-3}]$, specifična toplota $[\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ in faktor masivnosti elementa $[\text{m}^{-1}]$

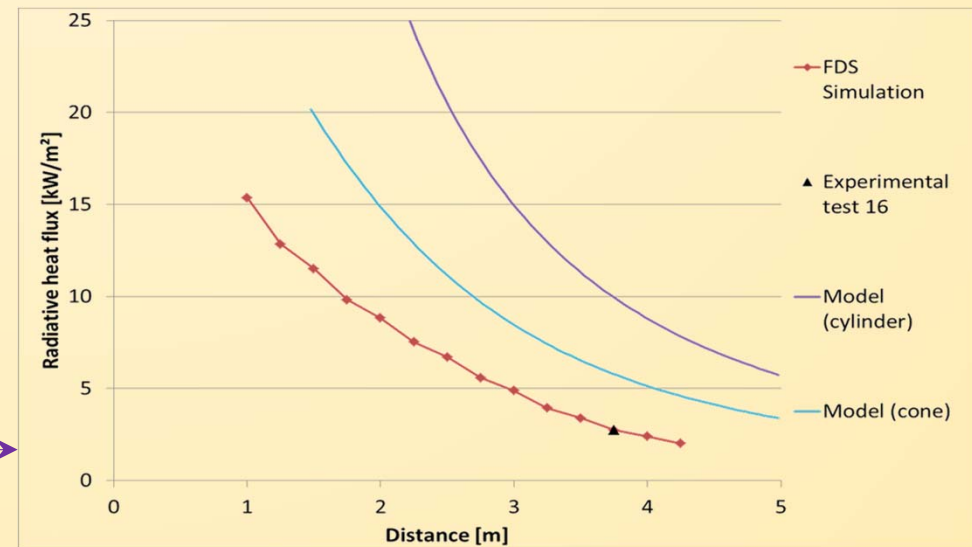
4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Validacija modela na podlagi Liège testov (in modeliranje v FDS)

- Merilec postavljen na razdalji 3.75 m od izvora požara (višina : 1.75 m)
- Orientacija merilca : pravokotno na os požar-merilec

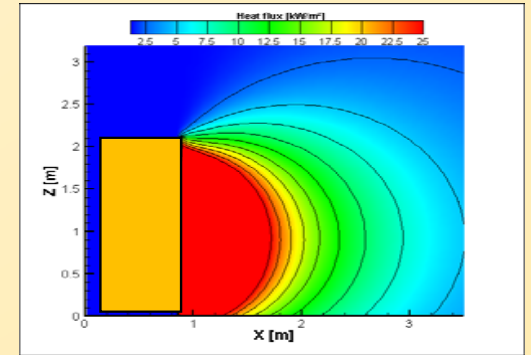
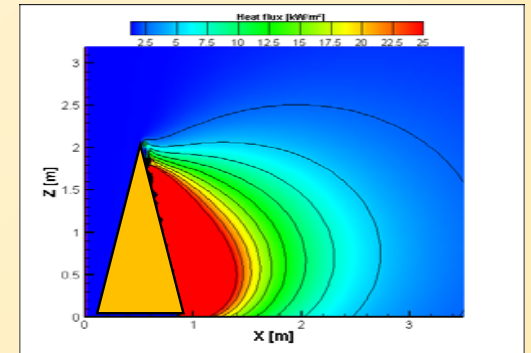
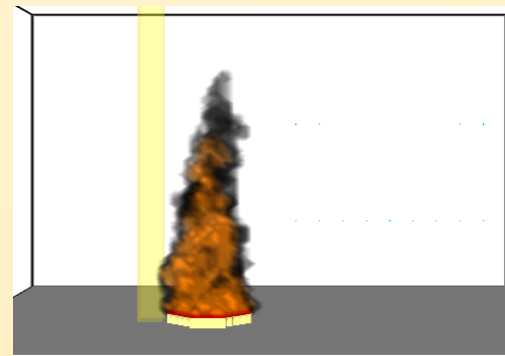
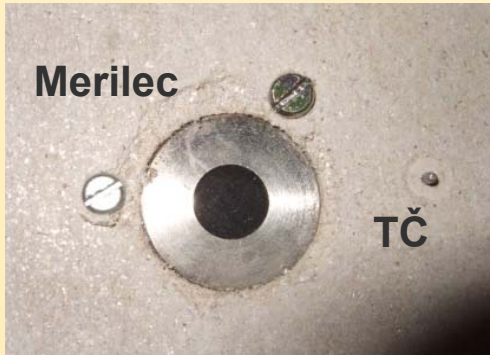
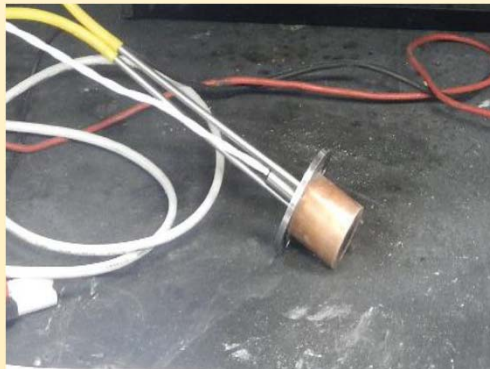
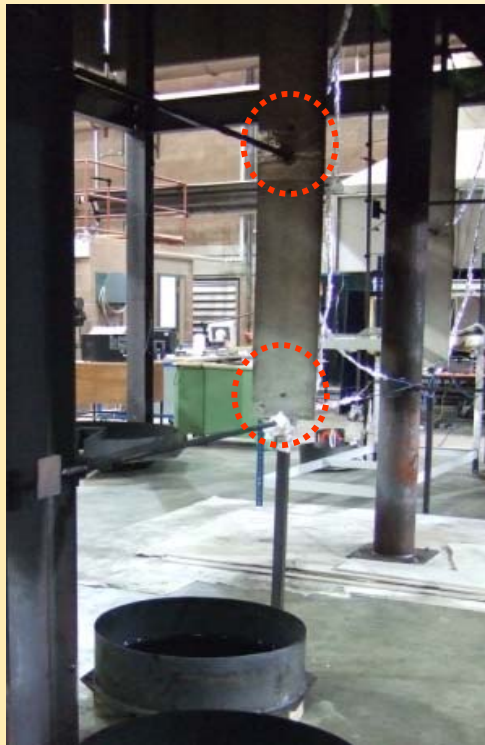
Premier	Izmerjena povprečna vrednost	Št. Testa	Valjasti plamen	Stožčasti plamen
[m]	[kW/m ²]	[-]	[kW/m ²]	[kW/m ²]
0.60	0.31	1 to 4	1.20	0.74
1.00	0.73	5 to 8	3.23	1.95
1.40	1.36	9 to 14	6.19	3.67
1.80	2.12	15 to 18	9.95	5.78
2.20	3.39	19 to 22	14.55	8.30



4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

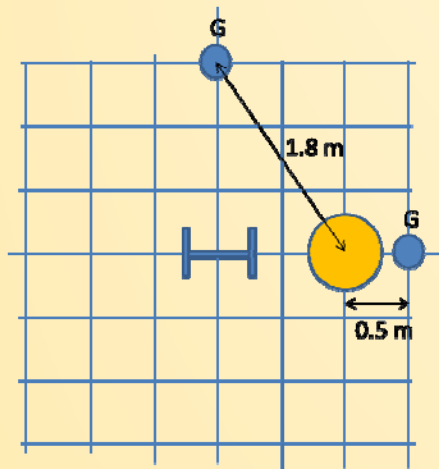
Validacija modela na podlagi Ulster testov (in modeliranje s FDS)



4. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Validacija modela na podlagi Ulster testov (in modeliranje s FDS)

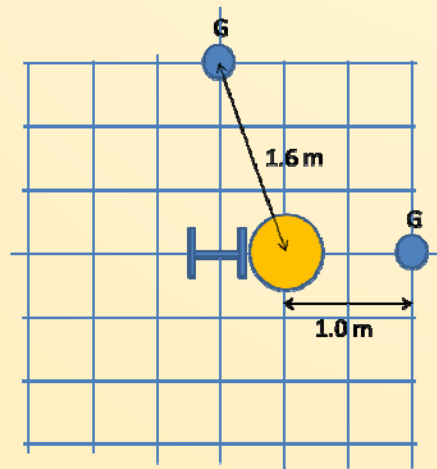


Primer 1a

1 bazen

$D = 0.7 \text{ m}$

Merilci na 0.5/1.8 m



Primer 1b

1 bazen

$D = 0.7 \text{ m}$

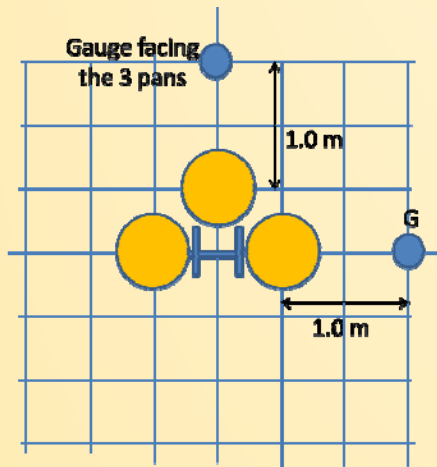
Merilci na 1.0/1.6 m

Lokacija merilcev		Izmerjena povprečna vrednost	FDS Simulacije	Valjasti plamen	Stožčasti plamen
Višina	Razdalja				
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. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

Validacija modela na podlagi Ulster testov (in modeliranje s FDS)

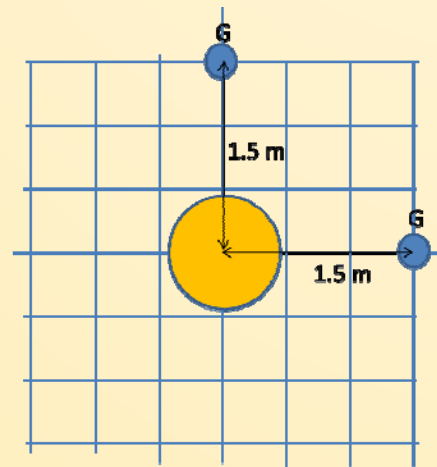


Primer 3

3 bazeni

$D = 0.7 \text{ m}$

Merilci na 1.0 m



Primer 5

1 bazen

$D = 1.6 \text{ m}$

Merilci na 1.5 m

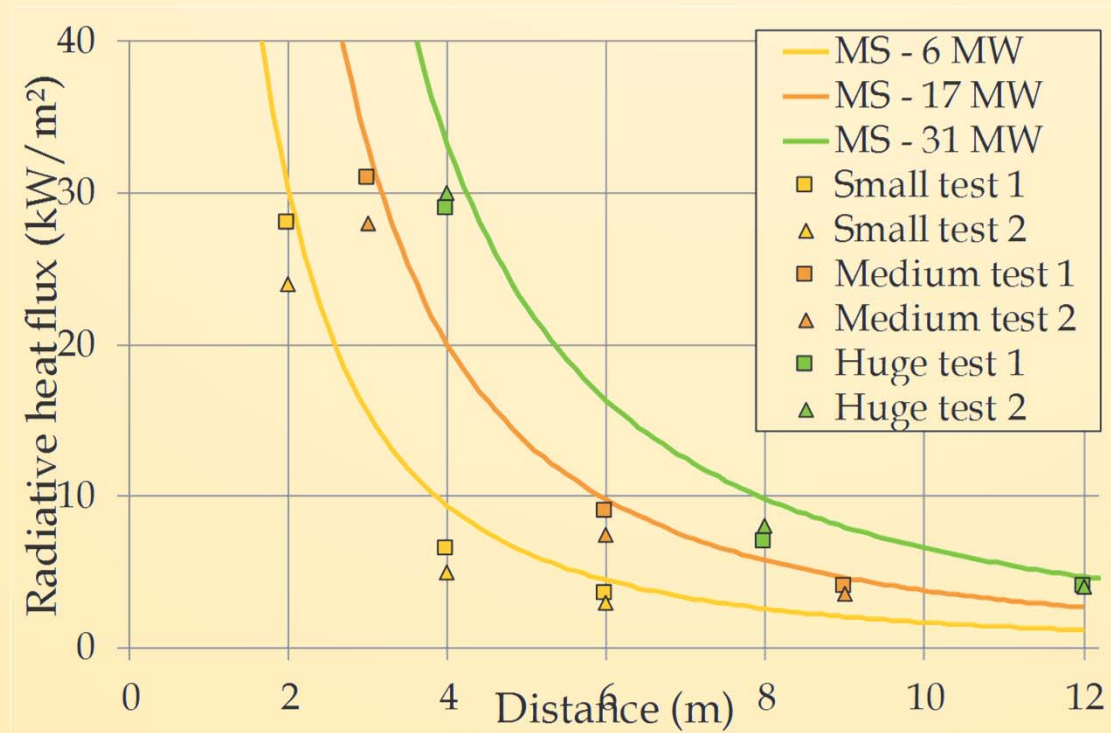
Lokacija merilcev		Izmerjena povprečna vrednost	Povprečna vrednost simulacij	Valjasti plamen	Stožčasti plamen
Višina	Distance				
m	m	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²
1.0	<u>1.0</u>	31.0	26.6	66.3	37.4
1.0	<u>1.0</u>	24.3	21.6	62.0	34.6
2.0	<u>1.0</u>	15.0	17.7	40.9	16.2
2.0	<u>1.0</u>	13.0	13.6	38.5	15.9

Lokacija merilcev		Izmerjena povprečna vrednost	Povprečna vrednost simulacij	Valjasti plamen	Stožčasti plamen
Višina	Distance				
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. Analitične metode in validacija

4.3. Poenostavljen model

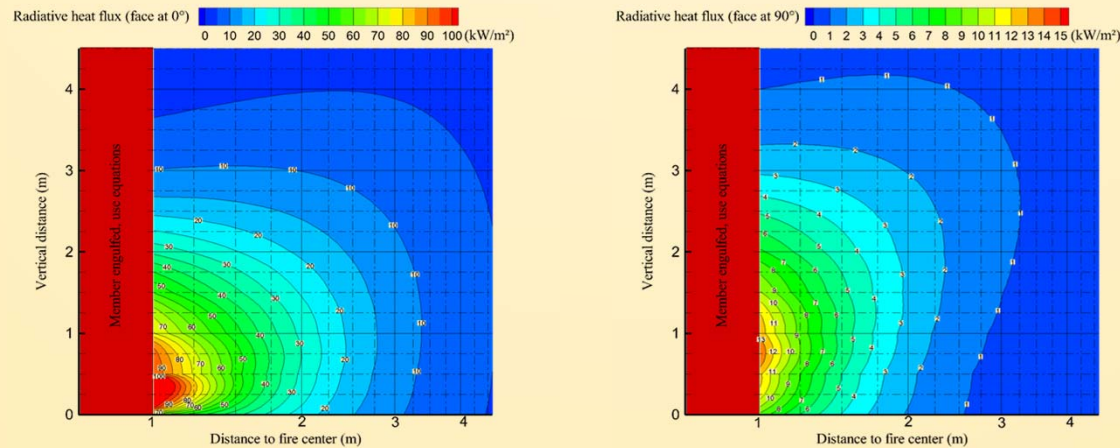
Validacija modela za velike premere (LCPP testi)



4. Analitične metode in validacija

4.4. Izolinije

- Podajajo nov niz rezultatov za validacijo uporabe programa SAFIR in OZone
- Podajajo hitre in varne rezultate za širok nabor konfiguracij, z interpolacijo možen še širši nabor konfiguracij
- Podajajo niz rezultatov referenčnih vrednosti za validacijo analitičnih metod, ki jih izvajajo projektanti (uporaba preglednic ali program)



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

4. Analitične metode in validacija

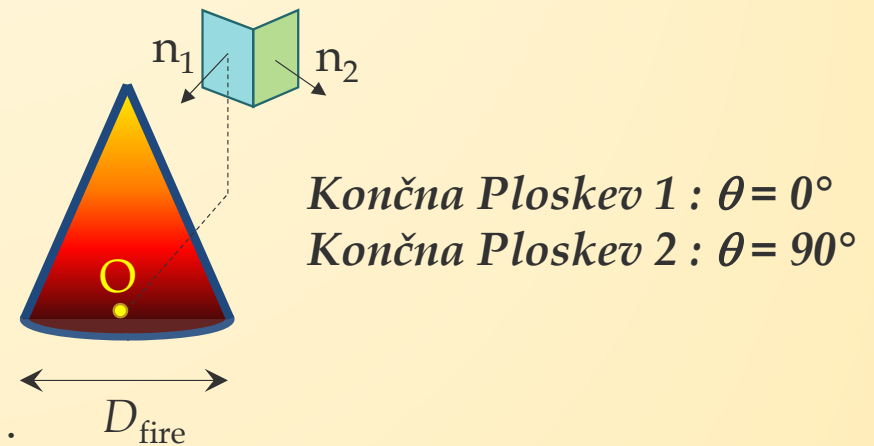
4.4. Izolinije

- Vsak graf izolinije (nomogram) je opisan:
 - s premerom požara (m)
 - z RHR (kW/m^2)
 - Z orientacijo ploskve, ki prejme toplotni tok ($^\circ$)

- Grafi zajemamo samo vpliv sevanja. Niso uporabni :
 - Znotraj požara \rightarrow HESKESTAD
 - Na nivoju stropa \rightarrow HASEMI

- Privzeto, da je faktor emisivnosti plamena enak 1.0

- Podaja skupen toplotni tok in ne absorbiran (potrebno pomnožit s faktorjem emisivnosti!)



4. Analitične metode in validacija

4.4. Izolinije

Primer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D_{fire} (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
Moč (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

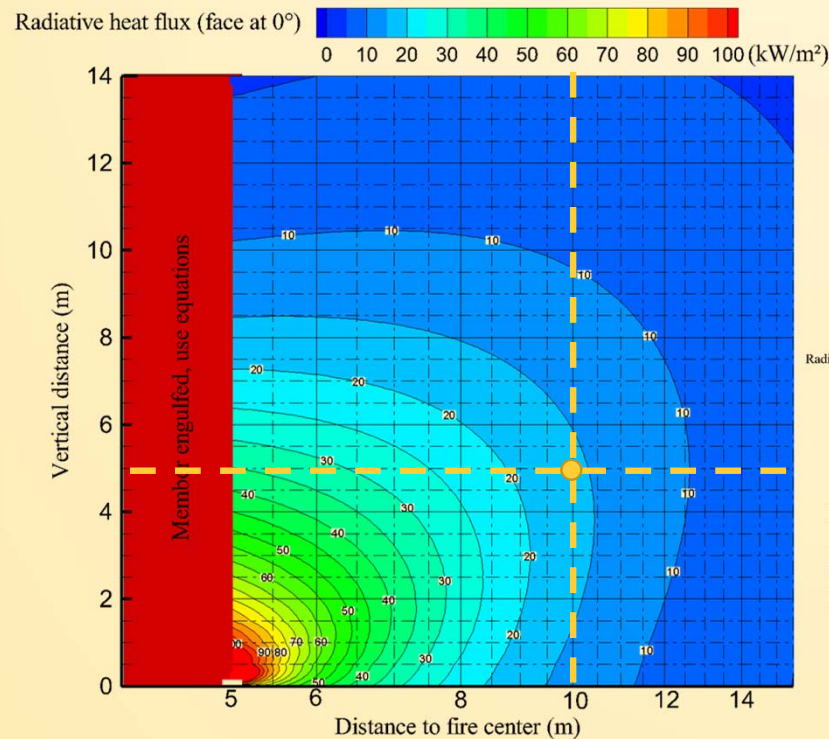
Primer	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D_{fire} (m)	6	6	6	6	8	8	8	9	9	9	10	10
HRR (kW/m ²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	250	500	750	250	500
Moč (MW)	7.1	14.1	28.3	42.4	12.6	25.1	50.3	47.7	15.9	31.8	19.6	39.3

Področje uporabe metode (Dodatek C v EN 1991-1-2) : $D_{\text{fire}} \leq 10 \text{ m}$; $Q \leq 50 \text{ MW}$

→ Izbrane konfiguracije zajemajo področja uporabe metod izračuna

4. Analitične metode in validacija

4.4. Izolinije



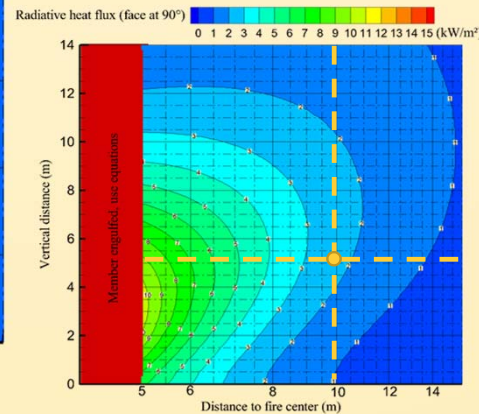
➤ Karakteristike lokaliziranega požara:

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

➤ Ciljni položaj

- $Z = 5 \text{ m}$
- $X = 10 \text{ m}$
- Orientacija : 0°

Skupni toplotni
tok = 16 kW/m^2



➤ Ciljni položaj

- $Z = 5 \text{ m}$
- $X = 10 \text{ m}$
- Orientacija : 90°

Skupni toplotni
tok = 2.4 kW/m^2

4. Analitične metode in validacija

4.5. Zaključki

- LOCAFI projekt uvaja nov koncept Navideznega Trdnega Plamena.
- Razporeditev temperatur po obodu Virtual Trdnega Plamen temelji na podlagi obstoječih enačb v EN 1991-1-2 Annex C (Heskestad, Hasemi).
- Izmenjava sevalnega toplotnega toka temelji na konfiguracijskem faktorju v EN 1991-1-2 Annex G.
- Poenostavljen model temelji na matematičnih enačbah za sevalni toplotni tok, ki ga prejme infinitezimalna ploskev od valja in kolobarja.
- Vpliv konvekcijskega toplotnega toka je potrebno izračunati posebej. Vendar ima konvekcijski toplotni tok pomemben vpliv le za konfiguracije, ki so že zajete v EN 1991-1-2 Dodatek C (elementi znotraj območja požara ali na nivoju stropa).