



LOCAFI+

Temperaturberäkning av pelare utsatt för lokal brand

Grant Agreement n° 754072

4. Analytisk metod

4. Analytisk metod

4.1. Solid flamma

Modelling av flammen

Steg 1: Flammen utgörs av en disk med ekvivalent yta

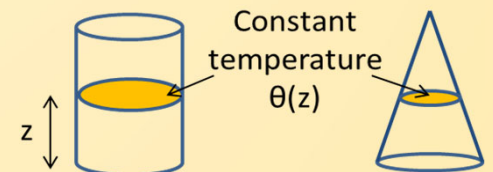
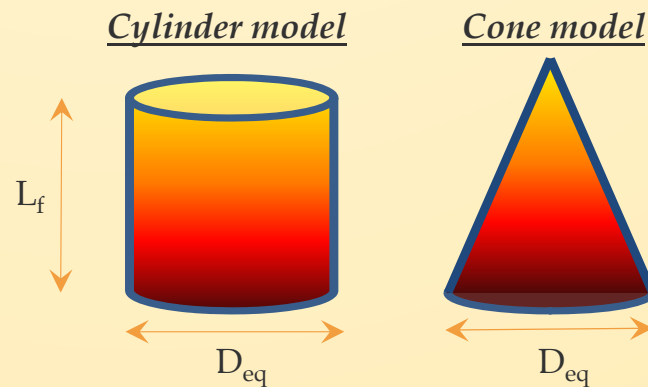
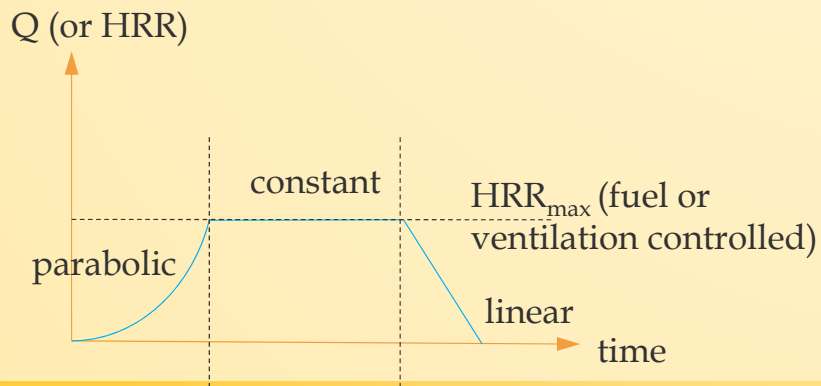
$$D_{fire} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

Steg 2: HRR beräknas

Steg 3: Flamlängd L_f beräknas mha bilaga C i EN 1991-1-2

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

Steg 4: Branden representeras av en konisk eller cylindrisk flamma, definierad av D_{eq} och L_f

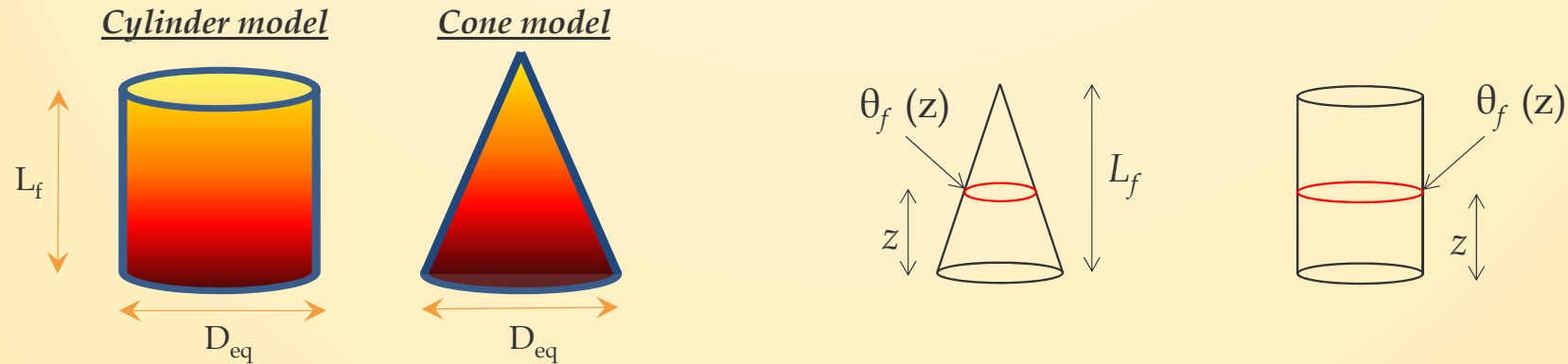


4. Analytisk metod

4.1. Solid flamma

Modellering av flammen

Om flammen inte slår i taket ($L_f < H_{\text{ceiling}}$ eller om det inte finns något tak)



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

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

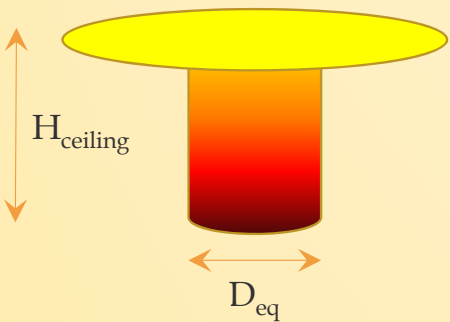
4. Analytisk metod

4.1. Solid flamma

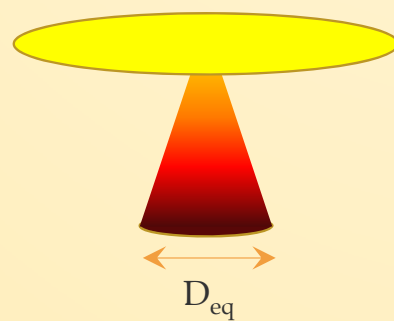
Modellering av flamman

Om flamman slår I taket ($L_f > H_{ceiling}$)

Cylinder model

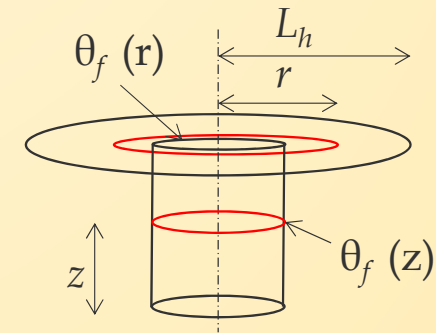
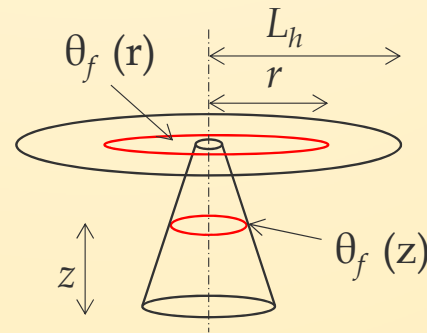


Cone model



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

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



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

$\dot{h}(r)$ calculated from Hasemi

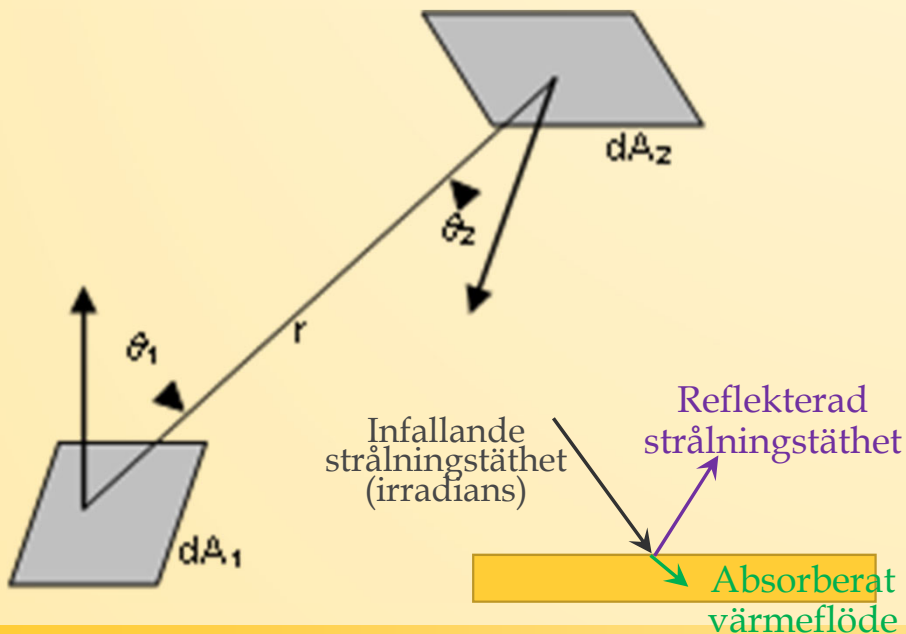
$$\theta_f(r) \text{ satisfies to } \dot{h}(r) = \sigma((\theta_f(r) + 273)^4 - 293^4) + 35(\theta_f(r) - 20)$$

4. Analytisk metod

4.2. Geometri

Strålningsutbyte mellan flamma och yta

Strålningstätheten från en given strålände yta dA_1 mottagen av ytan dA_2 är :



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

- Emissiviteten ε_1 antas vara 1 för flammen
- α_2 beror på ytegenskaper
- Kirchoffs Lag : $(\alpha) = (\varepsilon)$
- Stål, $\varepsilon = \alpha = 0.7$

4. Analytisk metod

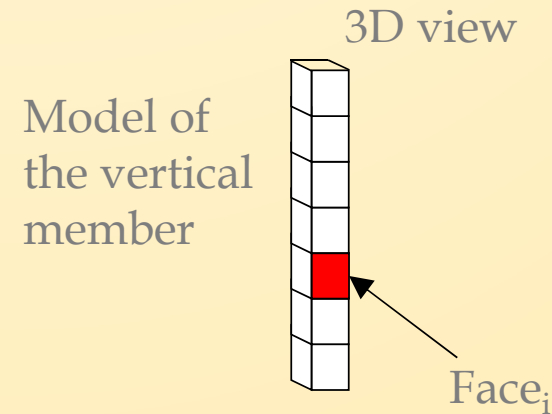
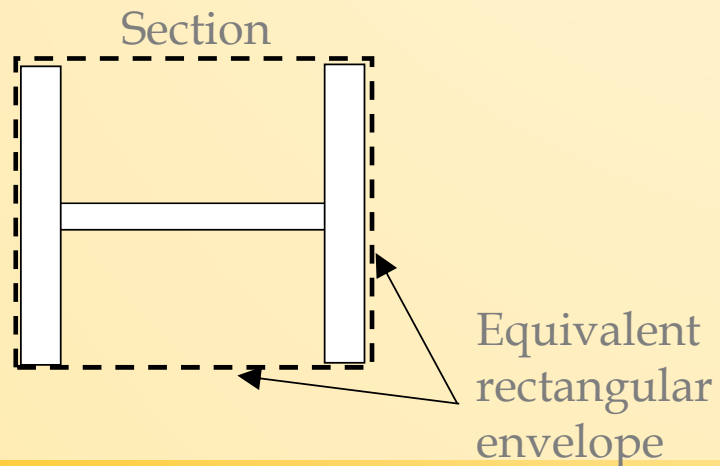
4.2. Geometri

Modellering av pelare

För många balkprofiler förekommer **skuggeffekter** → Förenklat kan man beräkna profilen som om den hade den streckade linjens geometri

För I- or H-profiler blir tvärsnittsytan då rektangulär, (på samma sätt som I bilaga G i EN 1991-1-2)

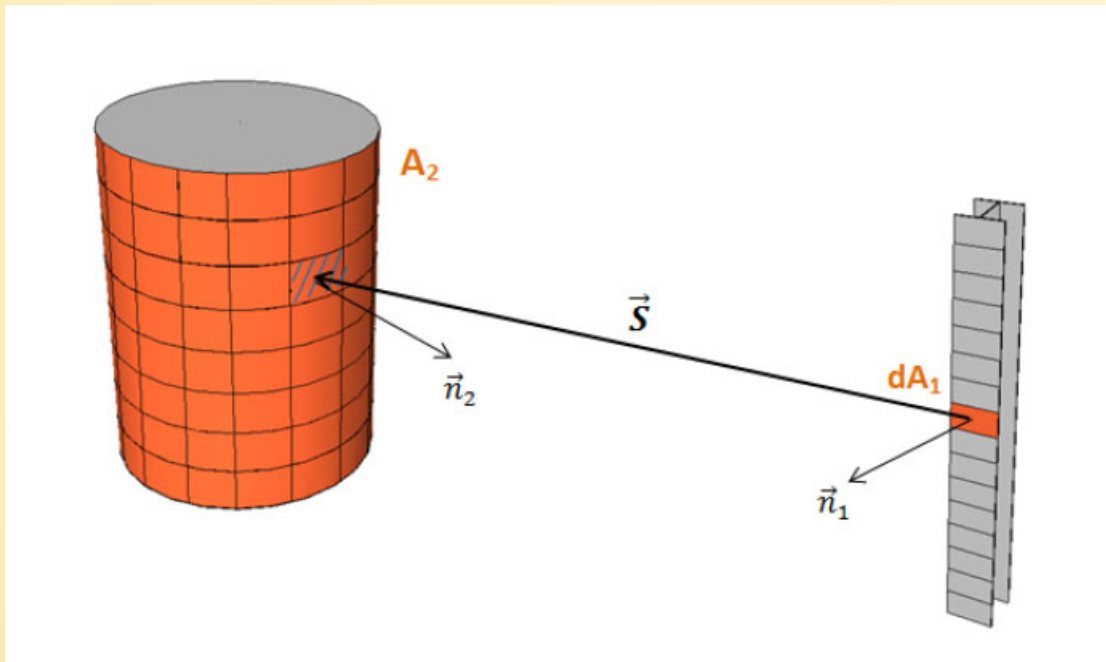
Rektangeln delas sedan upp i sina fyra ytor



4. Analytisk metod

4.2. Geometri

Numerisk integration



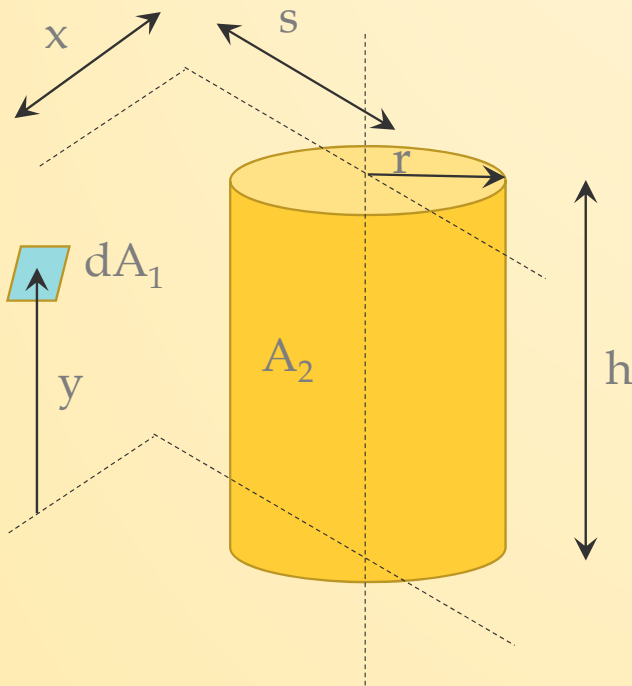
$$F_{d1-2} \simeq \frac{-1}{\pi} \sum_i \frac{(\vec{S} \cdot \vec{n}_1)(\vec{S} \cdot \vec{n}_2)}{S^4} \Delta A_i$$

- Varje individuellt strålningsutbyte beräknas för sig och för varje tidssteg.
- Kräver ett beräkningsprogram

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Synfaktor mellan en liten yta och en cylinder



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

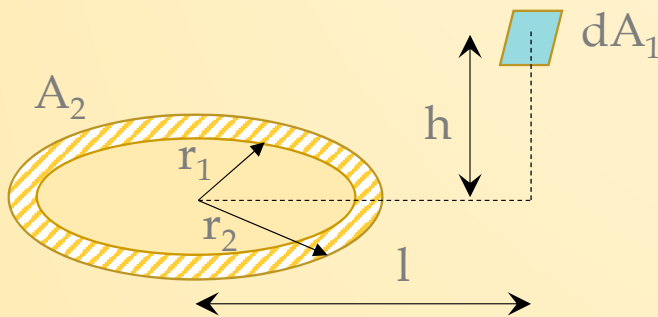
$$\begin{aligned} S &= s/r \\ X &= x/r \\ H &= h/r \\ A &= X^2 + Y^2 + S^2 \\ B &= S^2 + X^2 \\ C &= (H - Y)^2 \end{aligned}$$

Valid only if the plane defined by dA_1 does not intersect the cylinder !

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Synfaktor mellan en liten yta och en ring



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

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

Valid only if $l > r_2$!

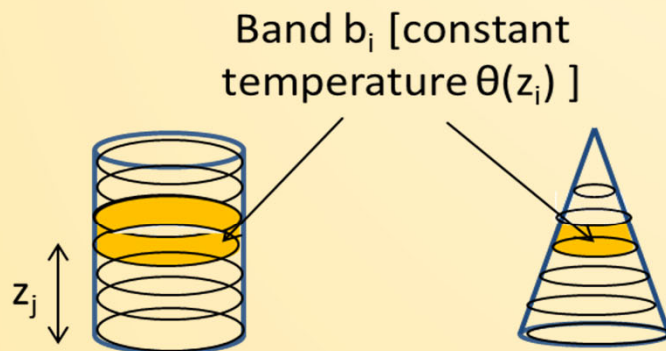
4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Dela upp flammen i cylindrar och ringar

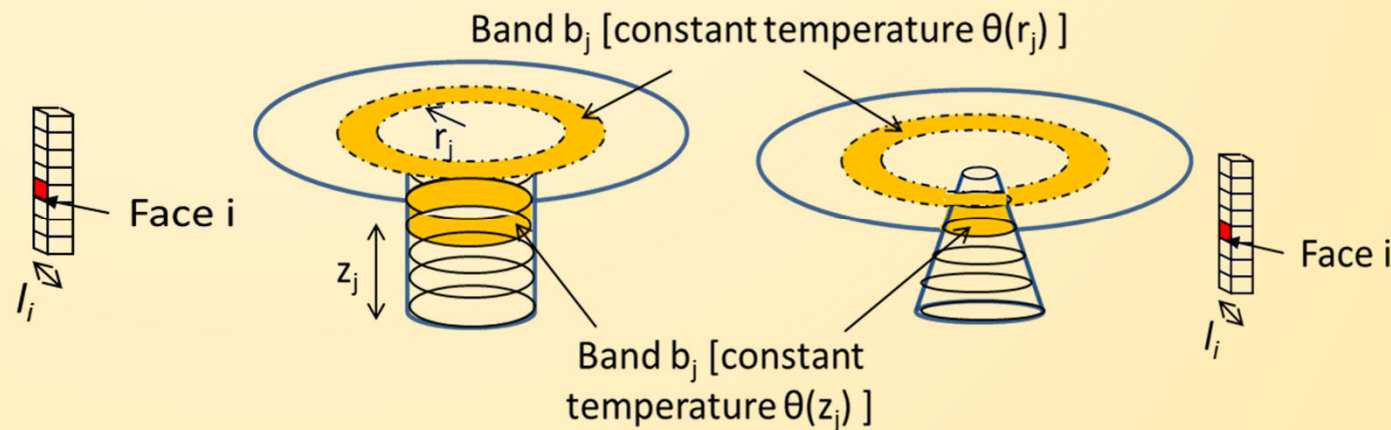
Om flammen inte slår i taket

$(L_f < H_{\text{ceiling}}$ or no ceiling)



Om flammen slår i taket

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

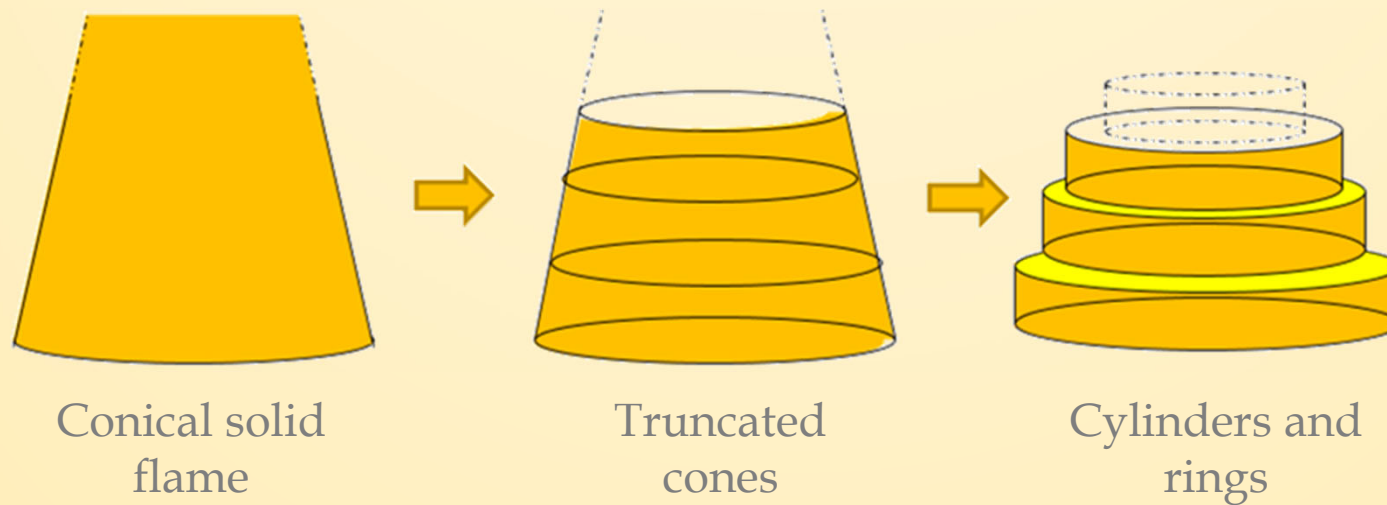


Note : the contribution of the ring is really low, except if the member is situated in the ring

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Uppdelning av flamman i cylindrar och ringar



! By neglecting the contribution of rings, we underestimate the received flux and could even obtain a received flux equal to 0 above the fire !

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Uppdelning av flaman I cylindrar och ringar

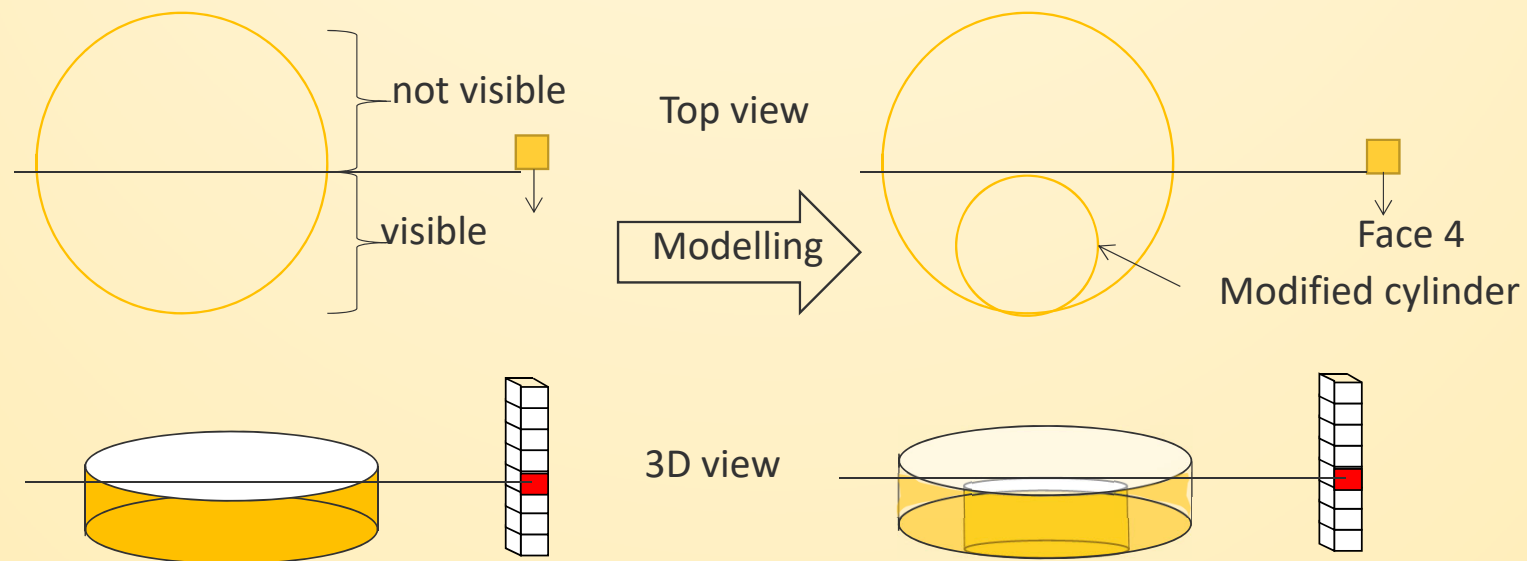


! The formula for cylinder is not valid if the receiving surface intersect the cylinder !

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Uppdelning av flammen i cylindrar och ringar

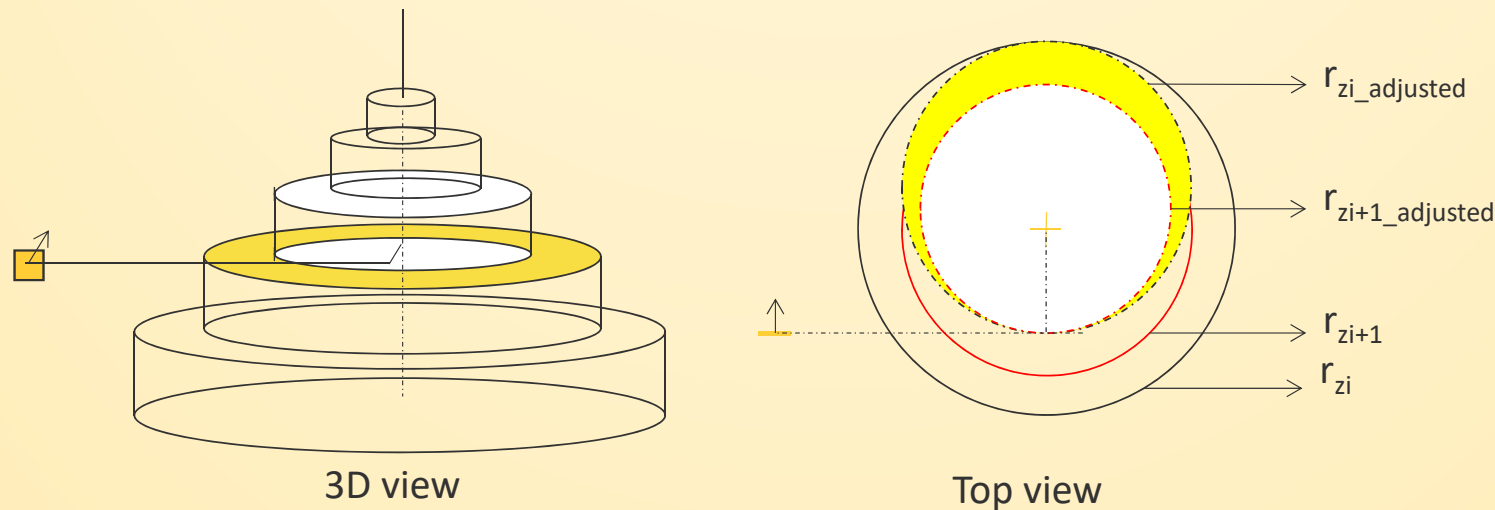


In this case, initial cylinder transformed into a modified cylinder in the visible zone

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Uppdelning av flaman I cylindrar och ringar



A portion of rings is « hidden » by the cylinder situated above → A reduced zone should be considered (safe-sided to ignore this reduction...)

4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Kommentarer

- Recommenderad cylindersida är 50 cm
- Konvektion ska tas med i beräkningarna → Hasemi

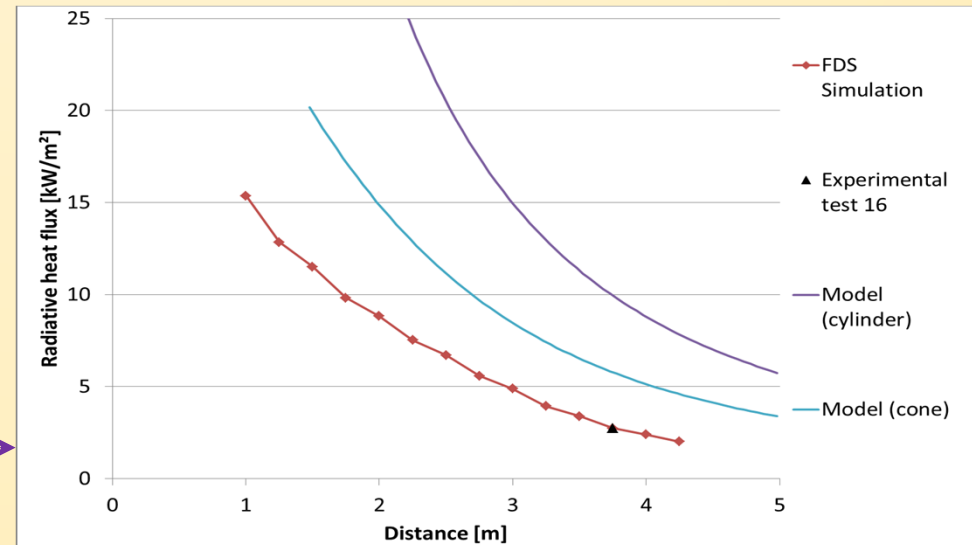
4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Liège-tester

- Gauge placerad 3.75 m från branden (höjd : 1.75 m)
- Riktning: mot branden

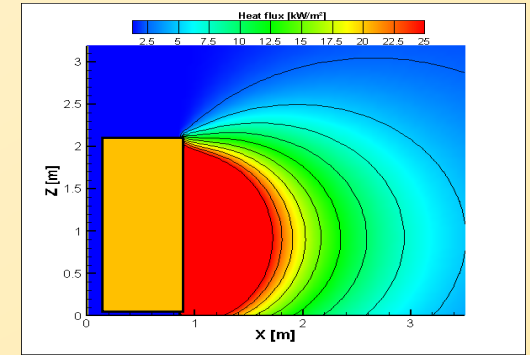
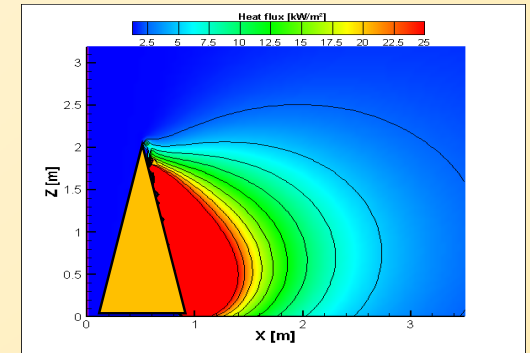
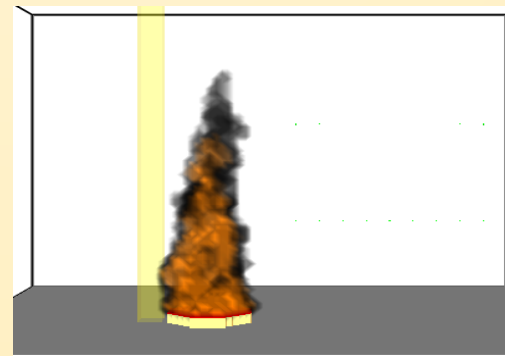
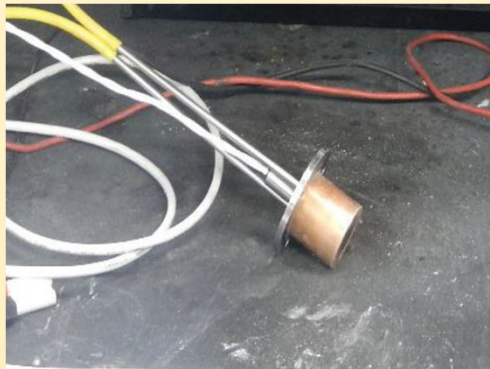
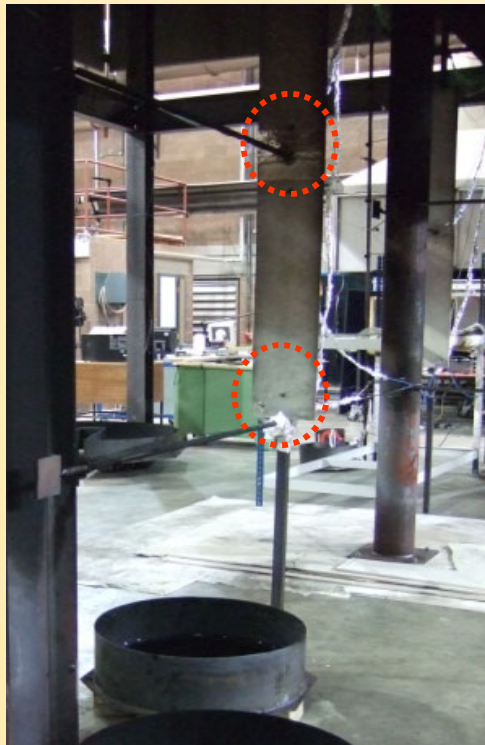
Diam.	Experiment mean value	Tests no	Cylinder flame	Conic flame
[m]	[kW/m ²]	[-]	[kW/m ²]	[kW/m ²]
0.60	0.31	1 to 4	1.20	0.74
1.00	0.73	5 to 8	3.23	1.95
1.40	1.36	9 to 14	6.19	3.67
1.80	2.12	15 to 18	9.95	5.78
2.20	3.39	19 to 22	14.55	8.30



4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

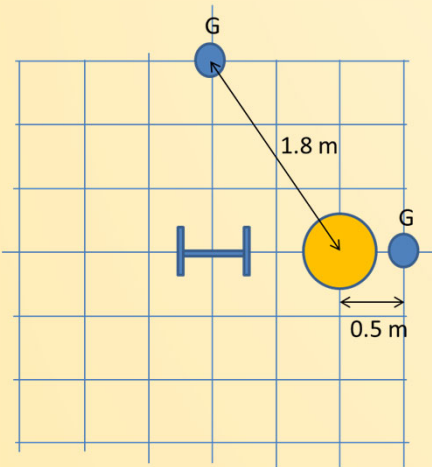
Ulster-test



4. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Ulster-test

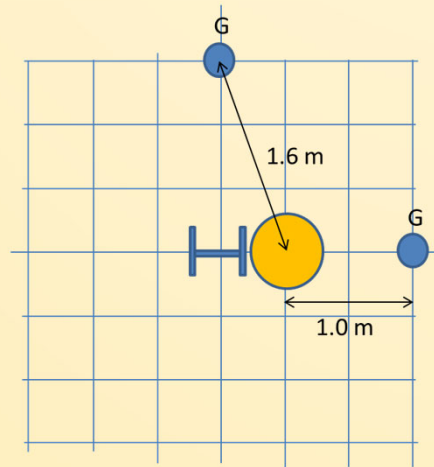


Case 1a

1 pan

$D = 0.7 \text{ m}$

Gauges at 0.5/1.8 m



Case 1b

1 pan

$D = 0.7 \text{ m}$

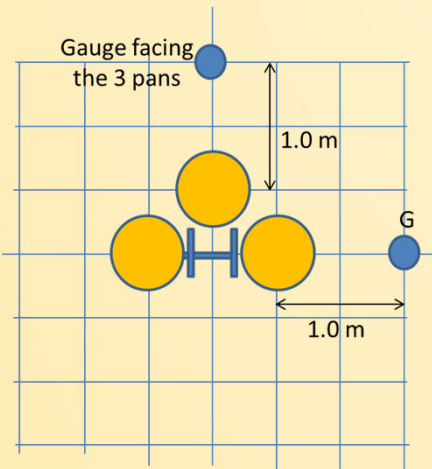
Gauges at 1.0/1.6 m

Gauge location		Experiment mean	FDS Simulation	Cylinder flame	Conic flame
Height	Distance				
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. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

Ulster-test

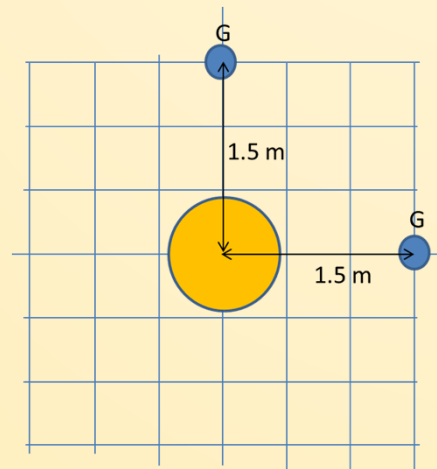


Case 3

3 pans

$D = 0.7 \text{ m}$

Gauges at 1.0 m



Case 5

1 pan

$D = 1.6 \text{ m}$

Gauges at 1.5 m

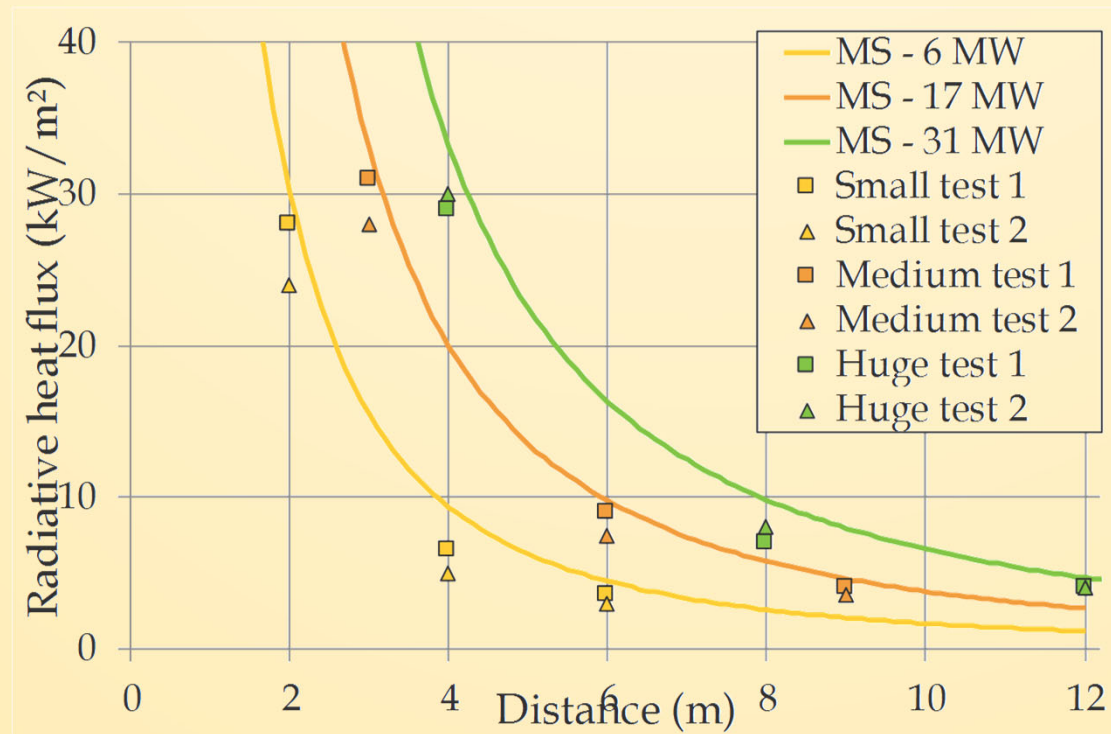
Gauge location		Experiment mean	Simulation mean	Cylinder flame	Conic flame
Height	Distance				
m	m	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²
1.0	<u>1.0</u>	31.0	26.6	66.3	37.4
1.0	<u>1.0</u>	24.3	21.6	62.0	34.6
2.0	<u>1.0</u>	15.0	17.7	40.9	16.2
2.0	<u>1.0</u>	13.0	13.6	38.5	15.9

Gauge location		Experiment mean	Simulation mean	Cylinder flame	Conic flame
Height	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. Analytisk metod

4.3. Beräkningsmodell

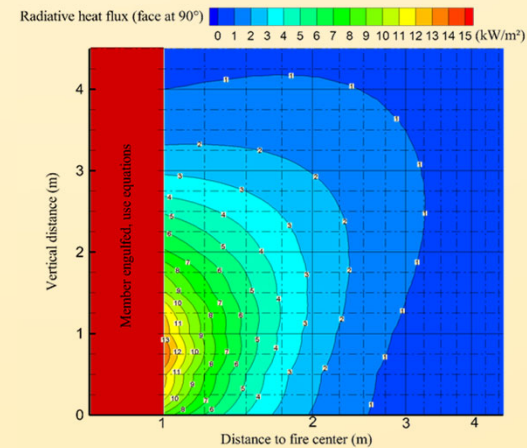
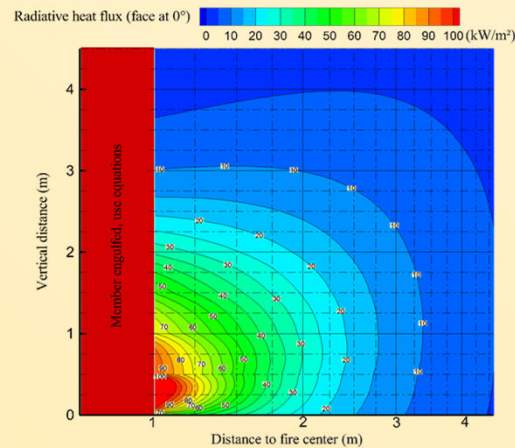
Stora diametrar (LCP-test)



4. Analytisk metod

4.4. Konturkurvor

- Tillhandahåller snabba resultat för ett antal konfigurationer
- Tillhandahåller referensresultat för validering med andra beräkningsmodeller.

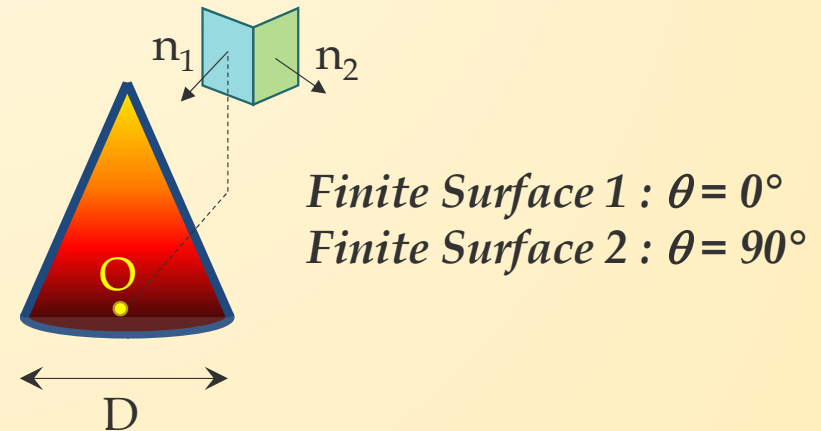


$D = 2\text{m}$, $\text{RHR} = 500 \text{ kW/m}^2$, $\theta = 0^\circ$ (left) or $\theta = 90^\circ$ (right)

4. Analytisk metod

4.4. Konturkurvor

- Varje plot begränsas av:
 - Brandens diameter (m)
 - Angiven HRR (kW/m^2)
 - Vinkelförhållandet mellan ytorna ($^\circ$)
- Plotten tar bara hänsyn till strålning. Använd inte:
 - I branden \rightarrow HESKESTAD
 - Vid taket \rightarrow HASEMI
- Antar att flamman har en emissivitet på 1.0



4. Analytisk metod

4.4. Konturkurvor

Case	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
Power (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

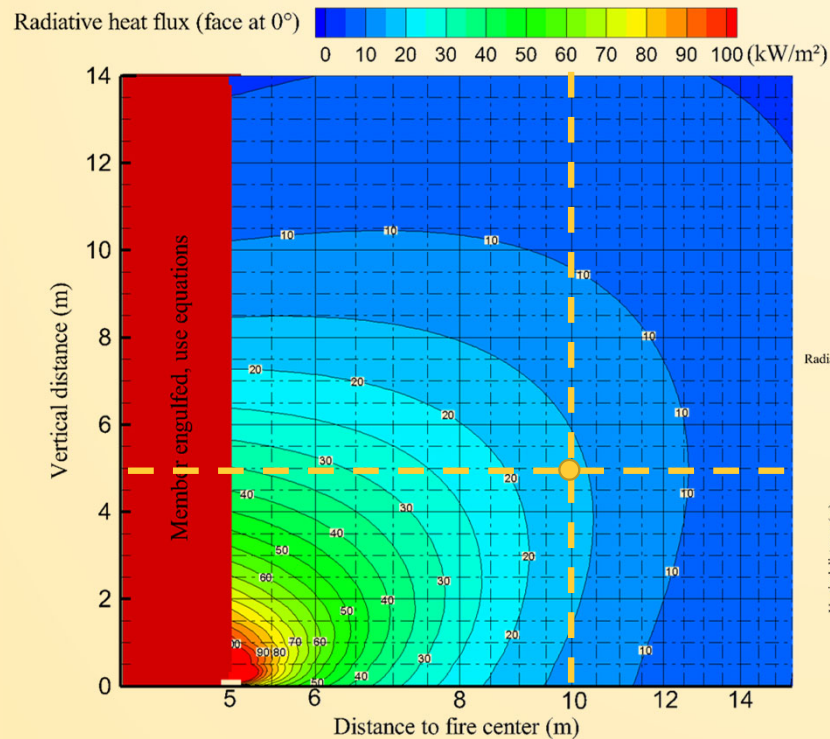
Case	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D (m)	6	6	6	6	8	8	8	9	9	9	10	10
HRR (kW/m ²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	250	500	750	250	500
Power (MW)	7.1	14.1	28.3	42.4	12.6	25.1	50.3	47.7	15.9	31.8	19.6	39.3

Scope of application of the method (idem Annex C of EN 1991-1-2) : $D \leq 10 \text{ m}$; $Q \leq 50 \text{ MW}$

→ The chosen configurations cover the field of application of the calculation method

4. Analytisk metod

4.4. Konturkurvor



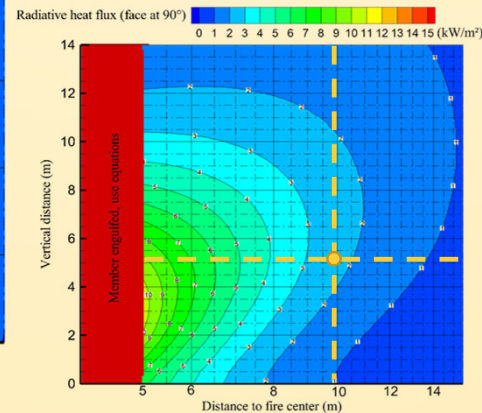
➤ Den lokala brandens egenskaper:

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

➤ Läge:

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

Received Flux
= 16 kW/m^2



➤ Läge:

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

Received Flux
= 2.4 kW/m^2

4. Analytisk metod

4.5. Slutsatser

- LOCAFI's beräkningsmodell antar en solid flamma.
- Temperaturen på den solida flammans yta beräknas enligt EN 1991-1-2 bilaga C (Heskestad, Hasemi).
- Synfaktorer mm beräknas enligt EN 1991-1-2 bilaga G.
- Beräkningsmodellen delar upp flammen i cylindrar och ringar.
- Konvektiva effekter beräknas separat, men dessa tas hänsyn till i EN 1991-1-2 bilaga C