

Acélszerkezetek tűzvédelmi tervezése workshop

Dr. Jármai Károly
Miskolci Egyetem



LOCAFI+

Lokális tűznek kitett függőleges acélelem hőmérséklet vizsgálata,
disszemináció

Szerződés szám n° 754072

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.1. A Virtuális tömör láng koncepciója

A láng modellezése

1. lépés: A tűz felszínét egyenértékű alakzattá alakítjuk át

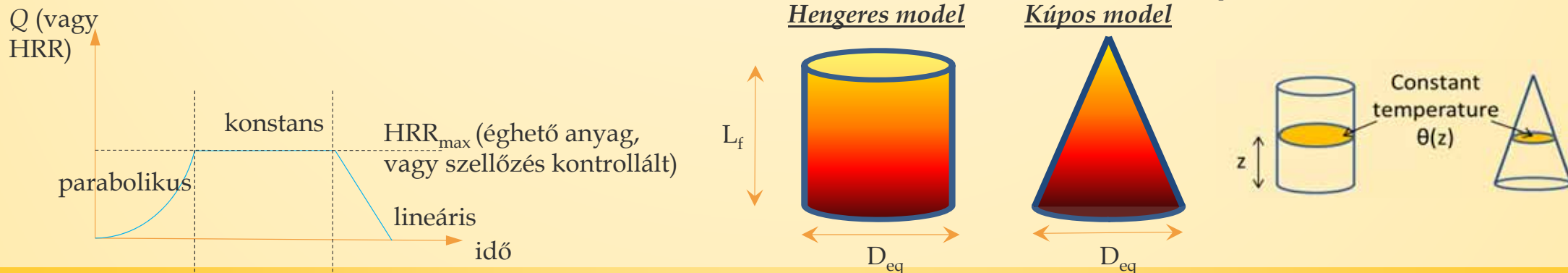
$$D_{fire} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

2. lépés: A hőleadás sebességének alakulását az EN 1991-1-2 E melléklet szerint számítják (növekvő fázis, fennsík, bomlási fázis)

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

3. lépés: Az L_f lánghosszat az EN 1991-1-2 C melléklet alkalmazásával számítjuk ki

4. lépés: A tűz hatását virtuális szilárd lánggal, kúp alakú vagy hengeres alakban ábrázolja, ami D_{eq} és L_f által definiált

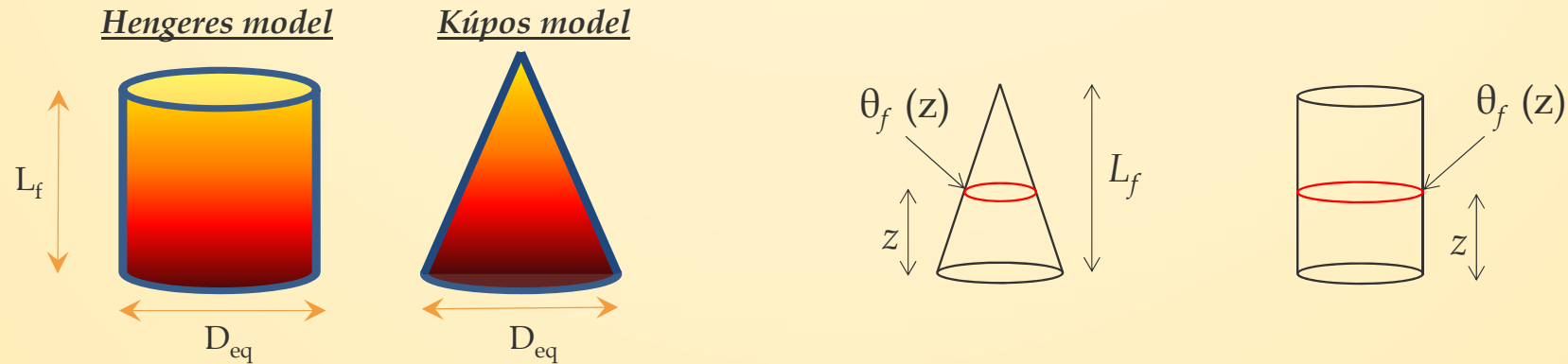


4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.1. A Virtuális tömör láng koncepciója

A láng modellezése

Ha a láng nem ér a mennyezetig, ($L_f < H_{\text{ceiling}}$ vagy nincs mennyezet)



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

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

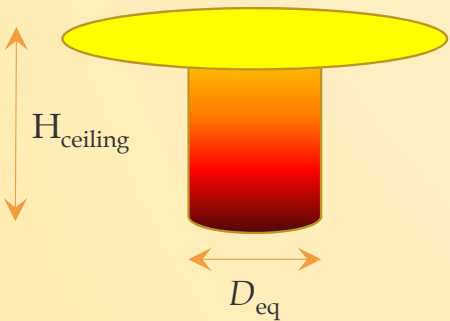
4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.1. A Virtuális tömör láng koncepciója

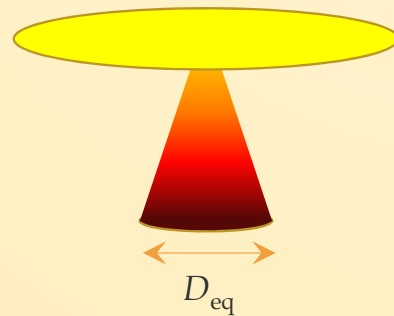
A láng modellezése

Ha a láng nem ér a mennyezetig, $L_f < H_{ceiling}$

Hengeres model

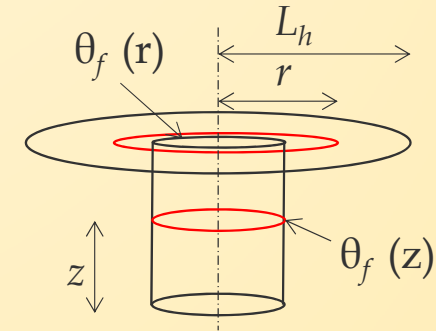
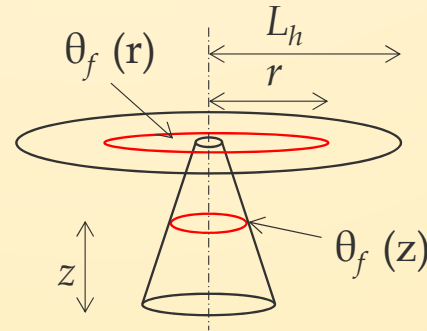


Kúpos model



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

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



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

$\kappa(r)$ Hasemi által számítva

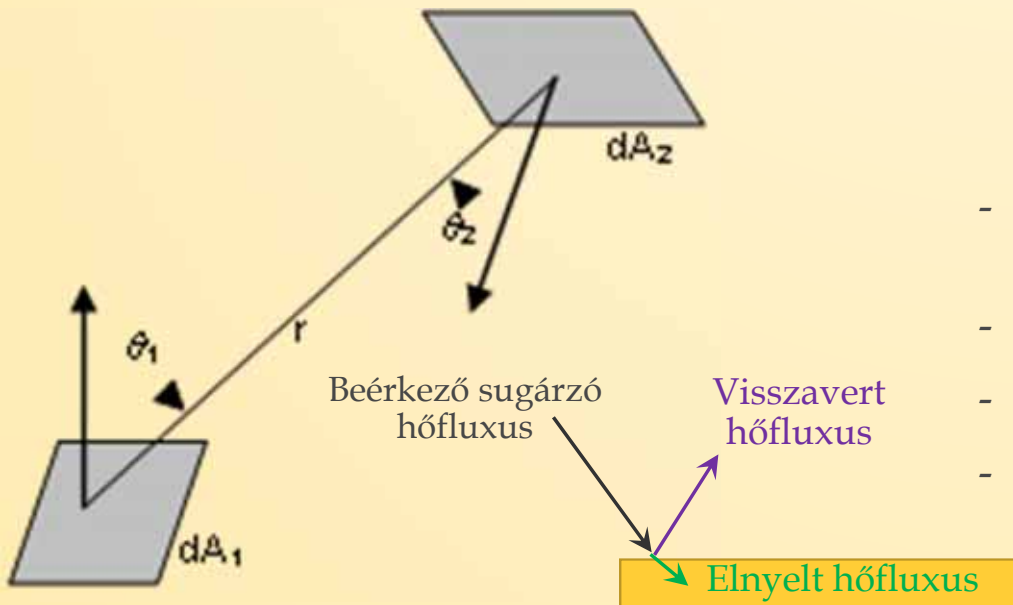
$\theta_f(r)$ kielégíti $\kappa(r) = \sigma\left((\theta_f(r) + 273)^4 - 293^4\right) + 35(\theta_f(r) - 20)$

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.2. Geometriai módszer a változó hőfluxusra

A sugárzó hőfluxus meghatározása

A sugárzó hőfluxus egy adott sugárzó felülettől távozik dA_1 és egy adott felületre érkezik dA_2 :



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

- az emisszivitás ε_1 (a kibocsátó felületnél) 1-nek tekintett a tűznél
- Az elnyelési tényező α_2 függ a fogadó felület jellemzőitől
- Kirchoff törvény : elnyelés (α) = kibocsátás (ε)
- Acélokra, $\varepsilon = \alpha = 0.7$

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

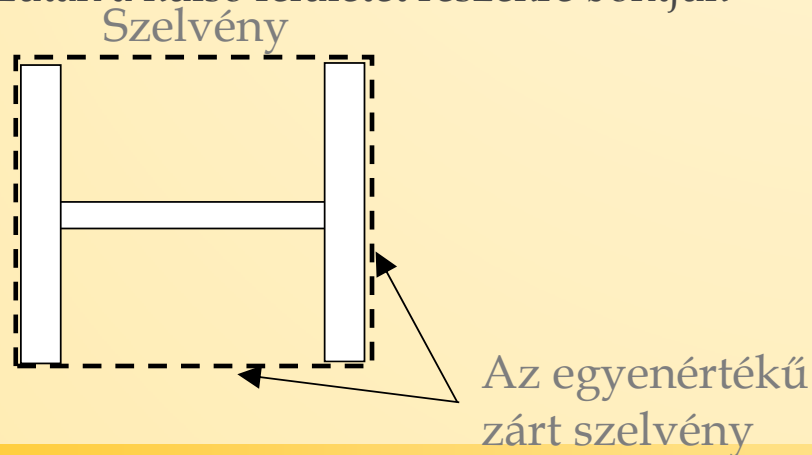
4.2. Geometriai módszer a változó hőfluxusra

A függőleges elem modellezése

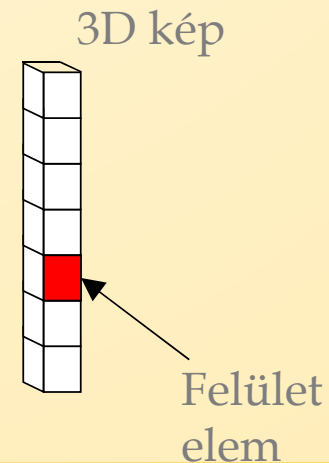
A konkáv szelvények árnyékhatást okoznak → Egyszerűsítés céljából a hőfluxusok konvex kerülettel kerülnek számításra

I- vagy H-szelvényeknél a szerkezeti elemet zárt szelvénné konvertáljuk (összhangban az EN 1991-1-2 Annex G-vel)

Ezután a külső felületet részekre bontjuk



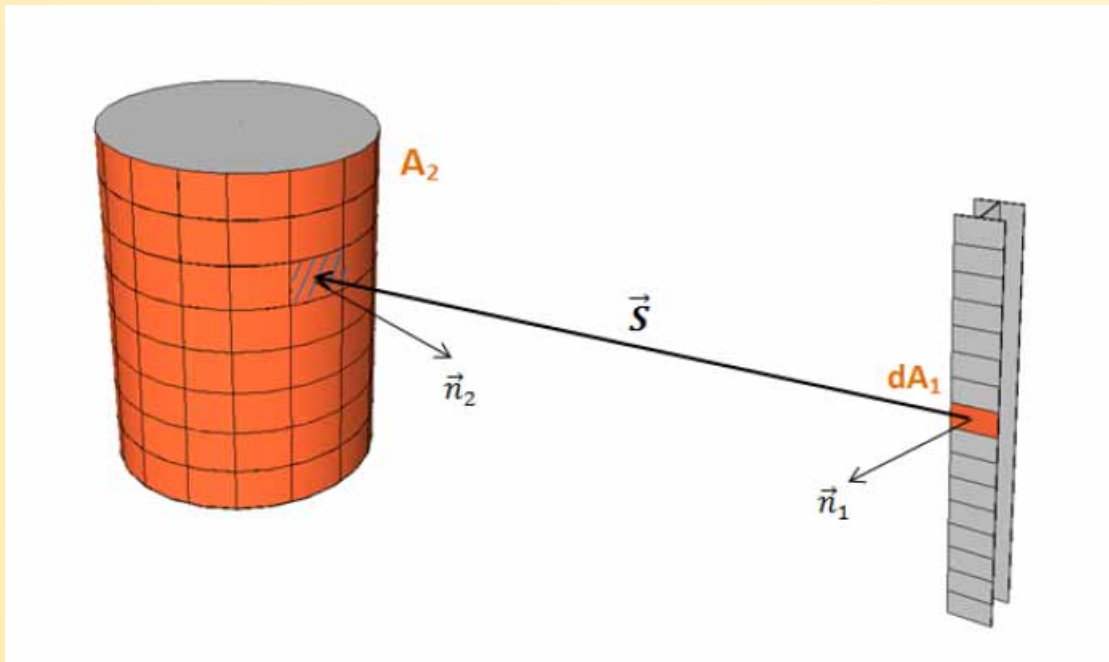
A függőleges elem modelle



4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.2. Geometriai módszer a változó hőfluxusra

Numerikus integrálás



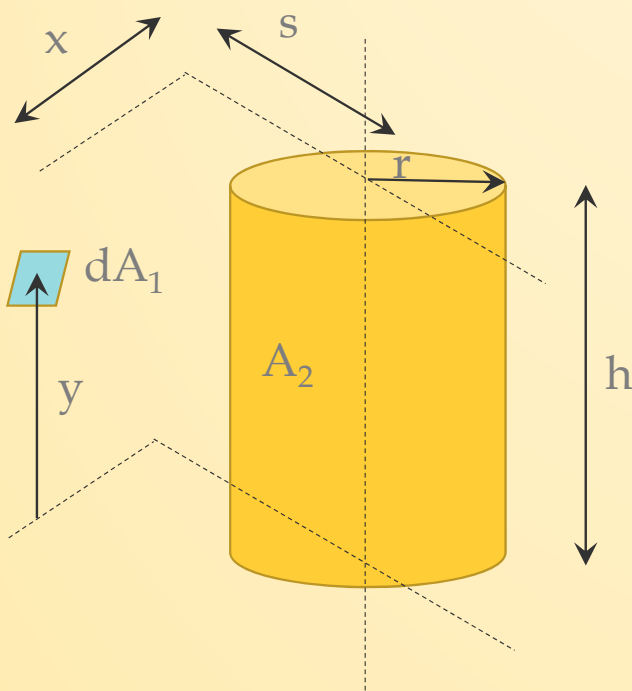
$$F_{d1-2} \simeq \frac{-1}{\pi} \sum_i \frac{(\vec{S} \cdot \vec{n}_1)(\vec{S} \cdot \vec{n}_2)}{S^4} \Delta A_i$$

- Minden "független" hőszugárzás számításra kerül (minden időlépésben).
- Programot igényel a tényleges alkalmazáshoz.
- Megengedi a nem egyenletes feltételeket (sugárzó hőfluxus) a szelvény kerületén.

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

Arányosítás a véges felület és a hengerfelület között



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

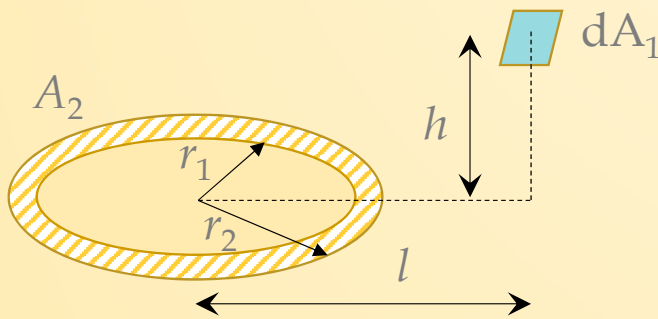
$$\begin{aligned} S &= s/r \\ X &= x/r \\ H &= h/r \\ A &= X^2 + Y^2 + S^2 \\ B &= S^2 + X^2 \\ C &= (H - Y)^2 \end{aligned}$$

Csak akkor érvényes, ha a dA_1 által definiált sík nem érinti a hengert !

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

Arányosítás a végtelen felület és a gyűrűfelület között



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

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

Csak akkor érvényes, ha $l > r_2$!

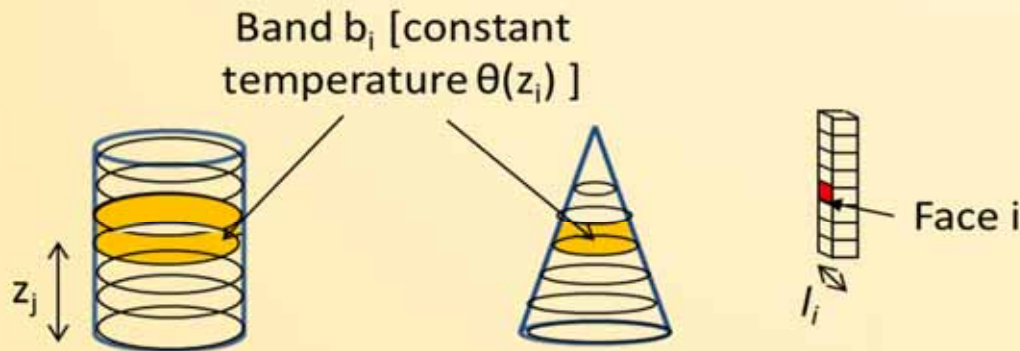
4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

A tűz szétbontása hengerekre és gyűrűkre

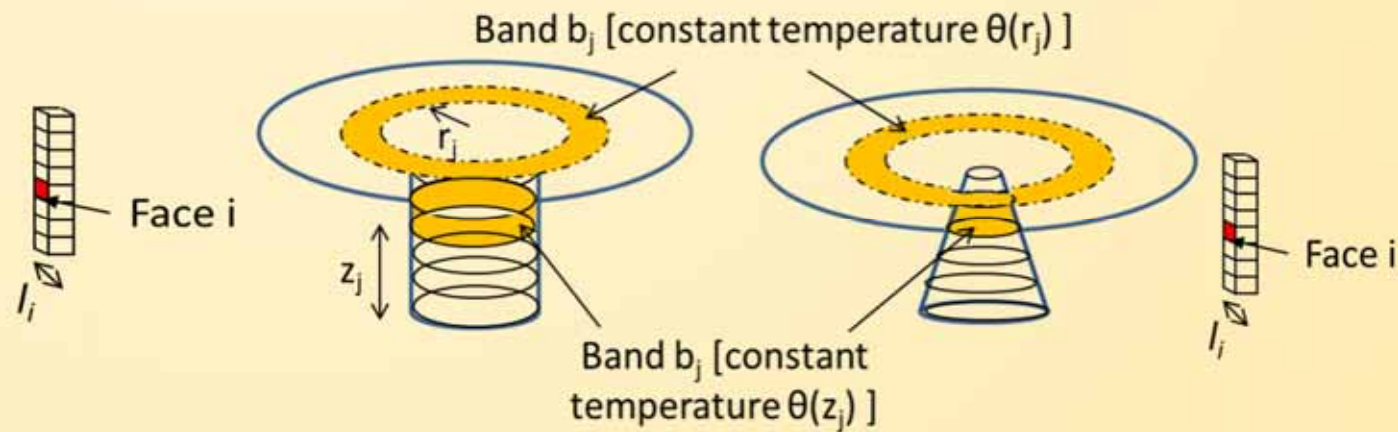
Ha a tűz nem éri el a mennyezetet

$(L_f < H_{ceiling}$ vagy nincs mennyezet)



Ha a tűz nem éri el a mennyezetet

$(L_f > H_{ceiling})$

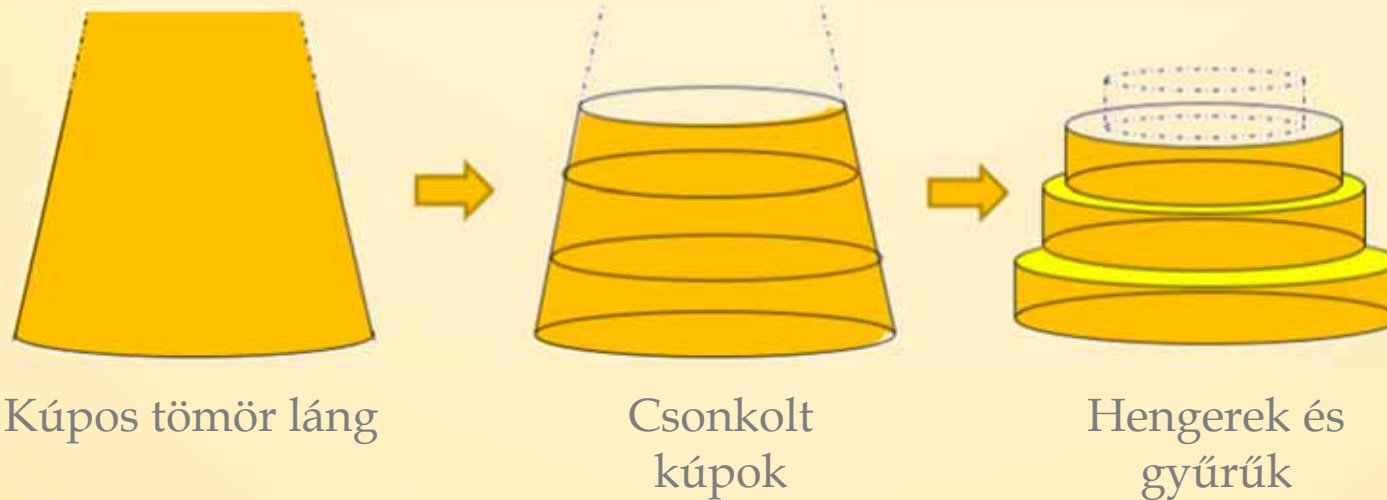


Megjegyzés : a gyűrű hatása valóban kicsi, kivéve, ha az elem a gyűrűben található

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

A tűz széttagolása hengerekké és gyűrűkké (1. adaptáció)



! Elhanyagolva a gyűrűk hatását, alulbecsüljük a beérkezett hőfluxust és előfordulhat, hogy a beérkezett hőfluxus nullával egyenlő a tűz fölött !

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

A tűz széttagolása hengerekké és gyűrűkké (2. adaptáció)

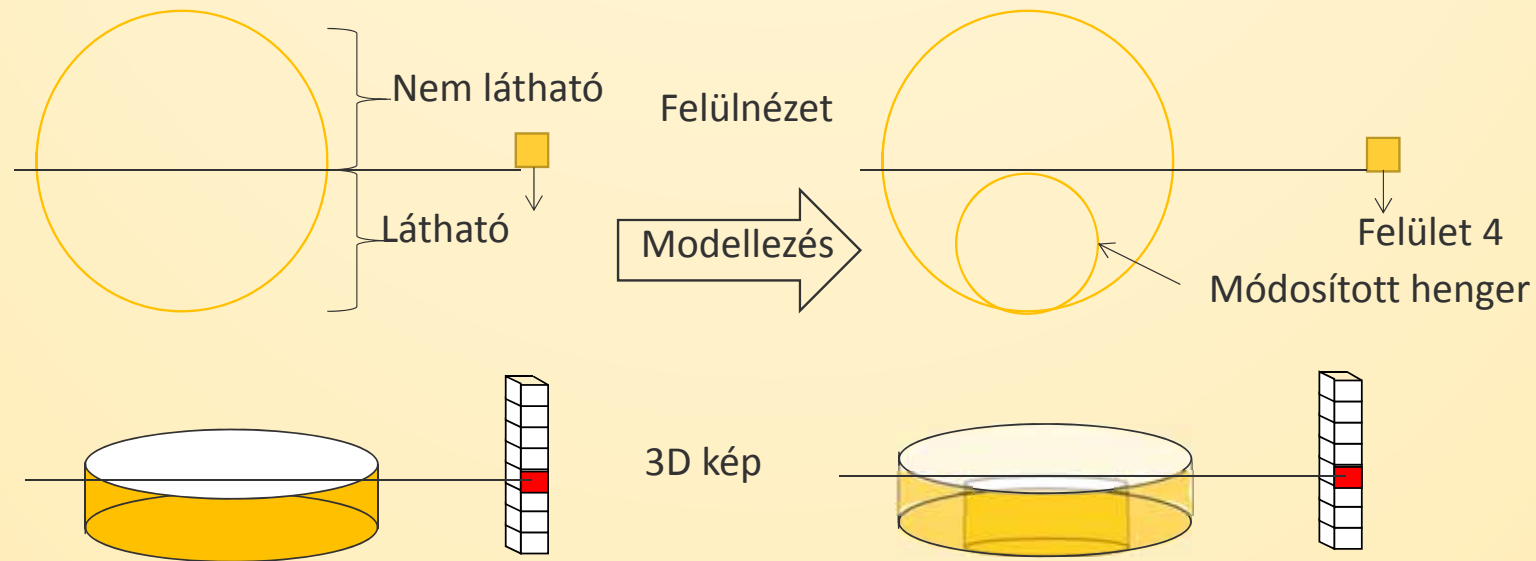


! A hengerre vonatkozó összefüggés nem érvényes, ha fogadó felület érinti a hengert !

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

A tűz szétagolása hengerekké és gyűrűkké (2. adaptáció)

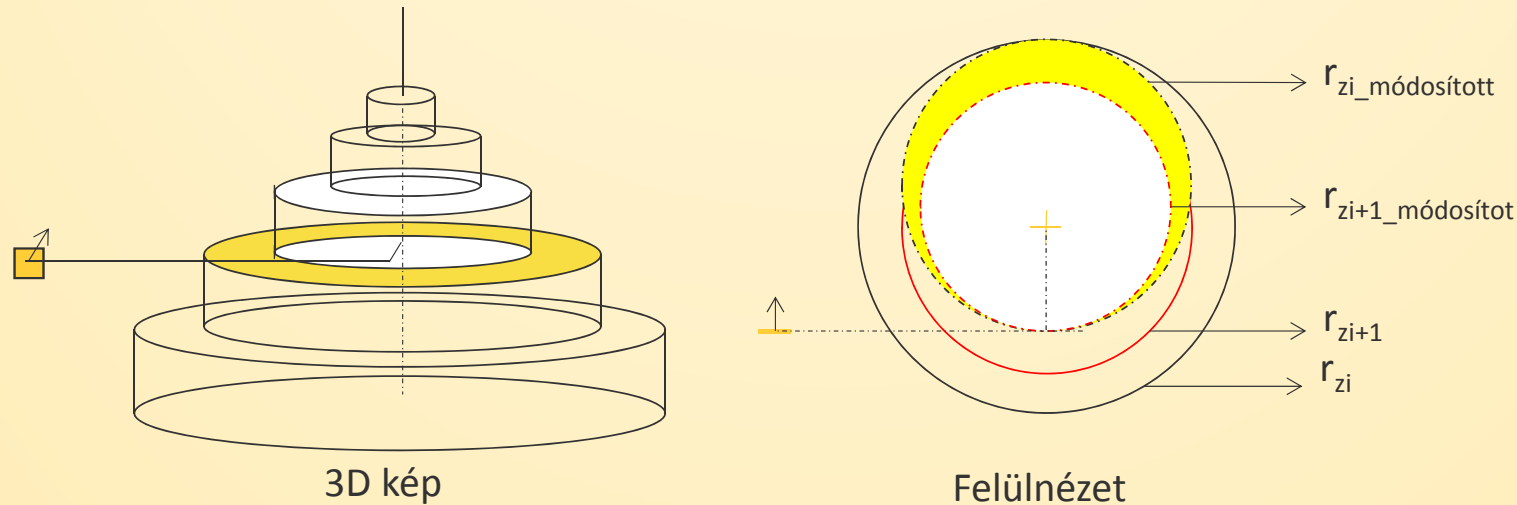


Ebben az esetben az eredeti henger módosításra került, a módosított henger a látható zónában van.

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

A tűz szétagolása hengerekké és gyűrűkké (3. adaptáció)



A gyűrű egy része « rejtett » a fölötte lévő henger által → Redukált zónát kell figyelembe venni (a biztonság javára térünk el, ha eltekintünk a redukálástól...)

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

További megjegyzések

- A henger javasolt szélessége 50 cm
- A mennyezet alatti elemeknél a hővezetést ki kell számítani → Hasemi
- Több tűz esetén a hőfluxus számítását minden tűzre el kell végezni. A teljes megkapott hőfluxus limitált 100 kW/m²-ban $\dot{h}_{tot} = \min(\dot{h}_{rad_section} + \dot{h}_{conv}; 100000)$ [W.m⁻²]
- Az elem hőmérséklet számítása az elem hőegyensúlya alapján történik

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

ρ , C_p és A_m/V a sűrűség [kg.m⁻³], a fajhő [J.kg⁻¹.K⁻¹] és a masszivitási tényező [m⁻¹] az elemnél

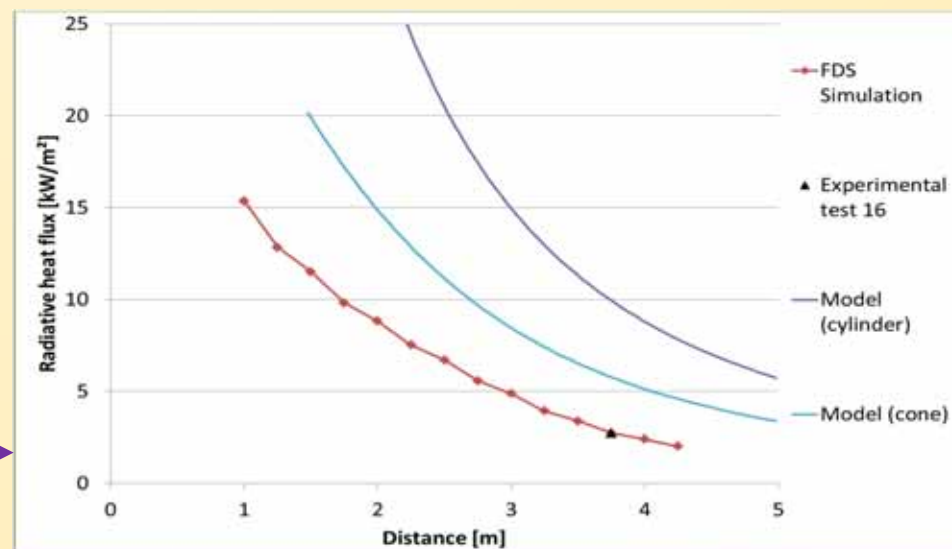
4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

Modell hitelesítés a liège-i tesztek alapján (és FDS modellezéssel)

- A mérők 3.75 m-re voltak a tűztől (magasság : 1.75 m)
- A mérők orientációja : merőleges a tűz-mérő tengelyre

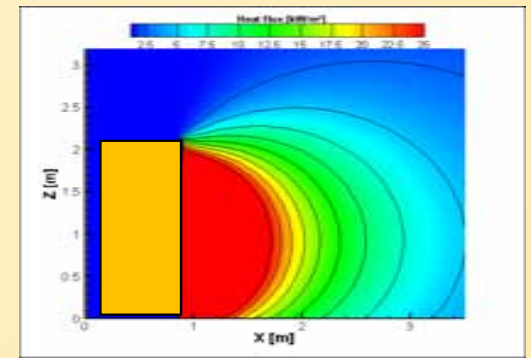
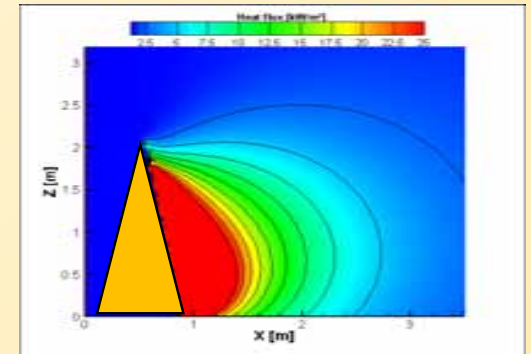
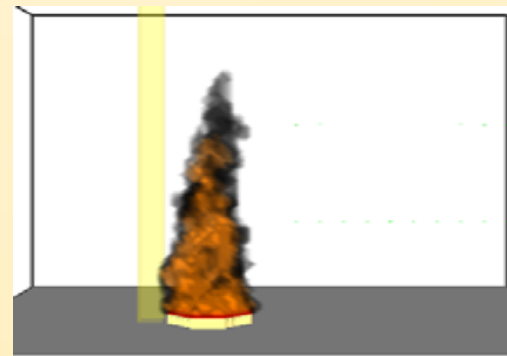
Átmérő	Kísérleti fő érték	Teszt szám	Hengeres tűz	Kúpos tűz
[m]	[kW/m ²]	[-]	[kW/m ²]	[kW/m ²]
0.60	0.31	1 to 4	1.20	0.74
1.00	0.73	5 to 8	3.23	1.95
1.40	1.36	9 to 14	6.19	3.67
1.80	2.12	15 to 18	9.95	5.78
2.20	3.39	19 to 22	14.55	8.30



4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

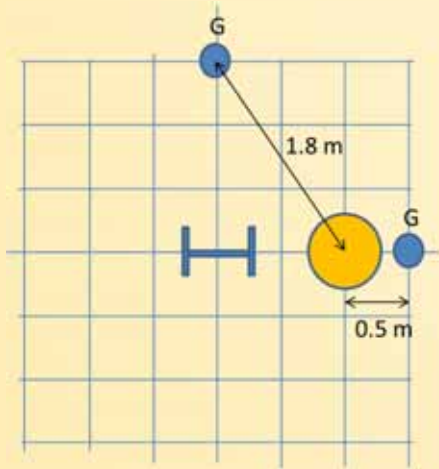
Modell hitelesítés az ulster-i tesztek alapján (és FDS modellezés)



4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

Modell hitelesítés az ulster-i tesztek alapján (és FDS modellezés)

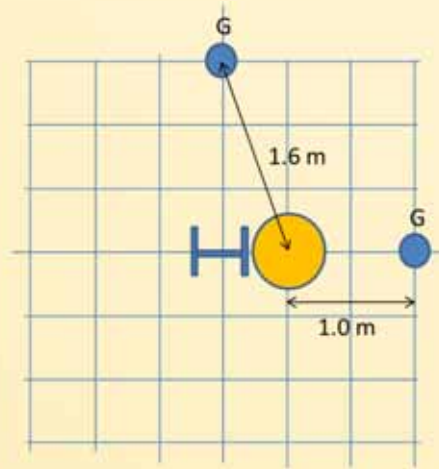


1a teszt

1 tálca

$D = 0.7 \text{ m}$

Mérők 0.5/1.8 m



1b teszt

1 tálca

$D = 0.7 \text{ m}$

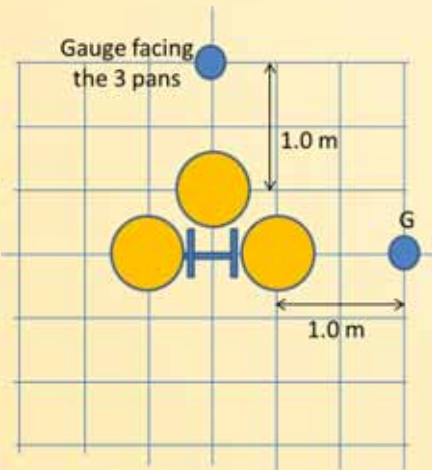
Mérők 1.0/1.6 m

Mérő elhelyezkedés		Kísérleti fő érték	FDS szimuláció	Hengeres tűz	Kúpos tűz
Magasság	Távolság				
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. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

Modell hitelesítés az ulster-i tesztek alapján (és FDS modellezés)

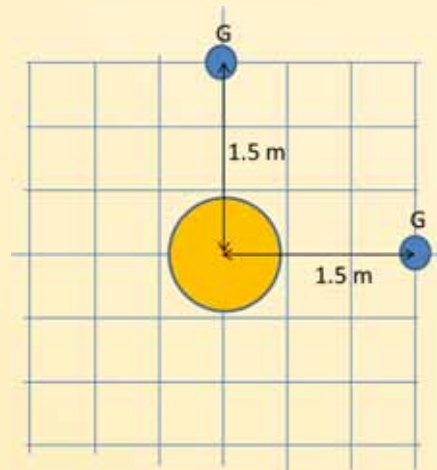


3. teszt

3 tálca

$D = 0.7 \text{ m}$

Mérők 1.0 m



5. teszt

1 tálca

$D = 1.6 \text{ m}$

Mérők 1.5 m

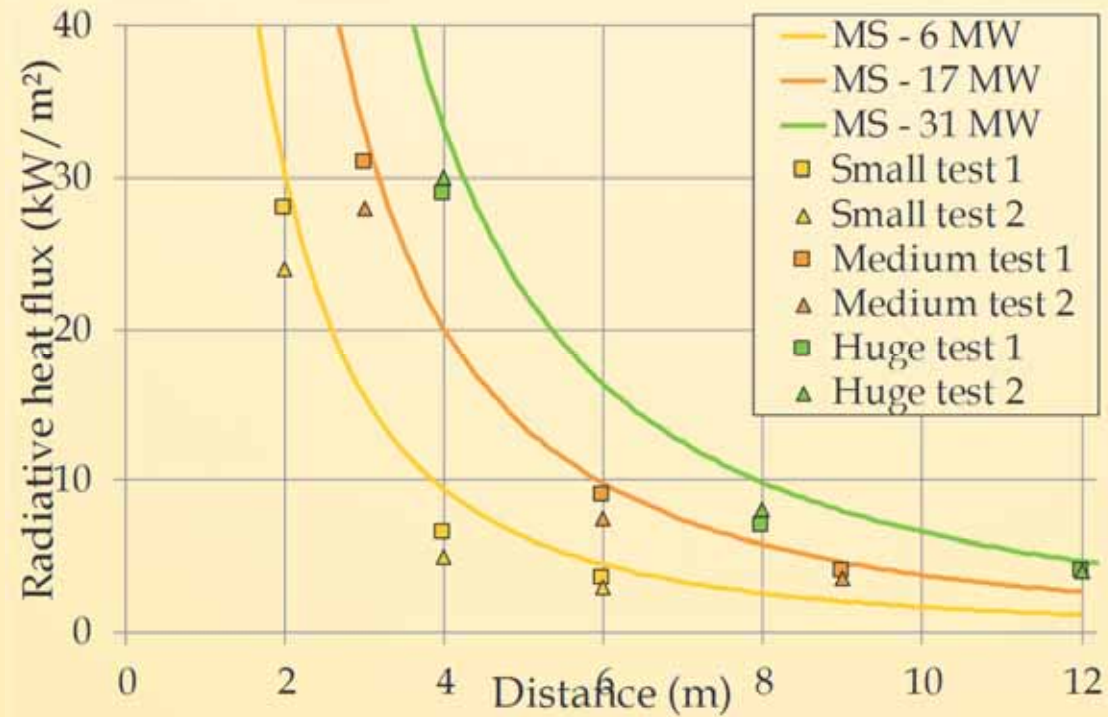
Mérő elhelyezkedés		Kísérleti fő érték	FDS szimuláció	Hengeres tűz	Kúpos tűz
Magasság	Távolság				
m	m	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²
1.0	<u>1.0</u>	31.0	26.6	66.3	37.4
1.0	<u>1.0</u>	24.3	21.6	62.0	34.6
2.0	<u>1.0</u>	15.0	17.7	40.9	16.2
2.0	<u>1.0</u>	13.0	13.6	38.5	15.9

Mérő elhelyezkedés		Kísérleti fő érték	FDS szimuláció	Hengeres tűz	Kúpos tűz
Magasság	Távolság				
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. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.3. Egyszerűsített modell

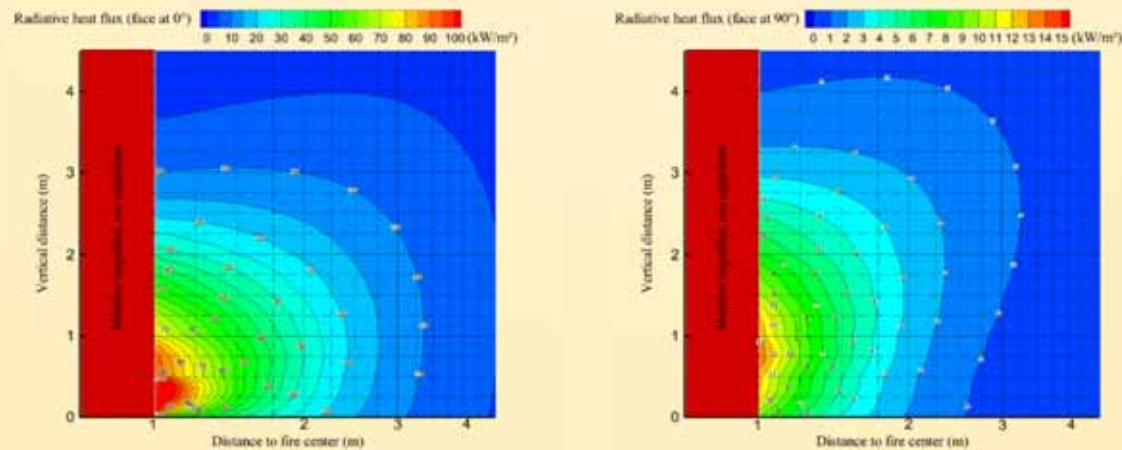
Modell hitelesítés nagy átmérőkre (LCPP tesztek)



4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.4. Kontúr görbék

- Új eredményeket ad a SAFIR és OZone alkalmazások hitelesítéséhez,
- Gyors és megbízható eredményeket ad széles konfigurációra (előtervezés) és interpolációval még szélesebb konfigurációra alkalmazható,
- Referencia eredményeket ad az analitikus módszerek alkalmazásának hitelesítésére gyakorlati szakembereknek (táblázatok és szoftver formában)

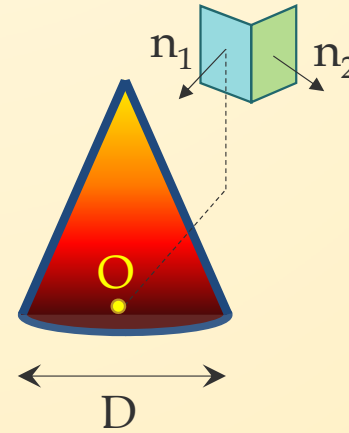


$D = 2\text{m}$, $\text{RHR} = 500 \text{ kW/m}^2$, $\theta = 0^\circ$ (bal) vagy $\theta = 90^\circ$ (jobb)

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.4. Kontúr görbék

- Minden nomogramot a következő jellemez :
 - A tűz átmérője (m)
 - A felszabaduló hő: RHR (kW/m^2)
 - A fogadó felület orientációja ($^\circ$)
- A nomogramok csak sugárzás eseténre használhatók. Nem használhatók :
 - A tűzön belül \rightarrow HESKESTAD
 - A mennyezet szintjén \rightarrow HASEMI
- Feltételezzük, hogy a tűz kibocsátási tényező 1.0



Véges felület 1 : $\theta = 0^\circ$
Véges felület 2 : $\theta = 90^\circ$

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.4. Kontúr görbék

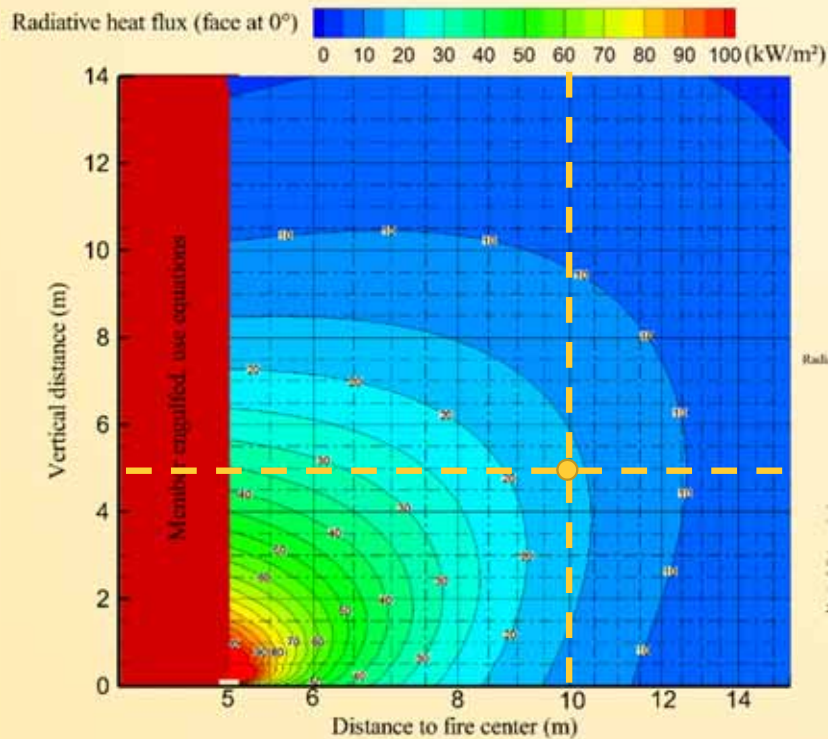
Teszt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D (m)	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
HRR (kW/m ²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	1500	250	500	1000	1500
Teljesítmény (MW)	0.8	1.6	3.1	4.7	1.8	3.5	7.1	10.6	3.1	6.3	12.6	18.8
Case	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D (m)	6	6	6	6	8	8	8	9	9	9	10	10
HRR (kW/m ²)	250	500	1000	1500	250	500	1000	250	500	750	250	500
Teljesítmény (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

A módszer alkalmazási célja (Annex C, EN 1991-1-2) : $D \leq 10 \text{ m}$; $Q \leq 50 \text{ MW}$

→ A választott konfigurációk a számítási módszer alkalmazási tartományát lefedik

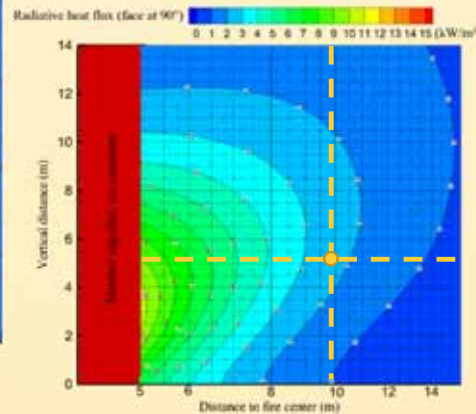
4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.4. Kontúr görbék



- Lokális tűz karakterisztikák :
 - $D = 10$ m
 - RHR : 500 kW/m^2
- Cél állapot
 - $Z = 5$ m
 - $X = 10$ m
 - Orientáció : 0°

Megkapott
hőfluxus = 16 kW/m^2



- Cél állapot
 - $Z = 5$ m
 - $X = 10$ m
 - Orientáció : 90°

Megkapott
hőfluxus = 2.4 kW/m^2

4. Analitikus módszer és ellenőrzés

4.5. Összefoglalás

- LOCAFI projekt a Virtual Solid Flame koncepcióját vezeti be.
- A hőmérséklet eloszlás a Virtual Solid Flame kerületén az EN 1991-1-2 Annex C (Heskestad, Hasemi) egyenletein alapul.
- A sugárzó hőfluxus változása az EN 1991-1-2 Annex G konfigurációs paraméterén alapul.
- Az egyszerűsített módszer matematikai egyenleteken alapul, a sugárzó hőfluxust véges hengeres vagy gyűrű felületek segítségével számolja.
- A hővezetés fluxusát külön kell kiszámolni. Habár a hővezetés fluxusának jelentős hatása csak azon esetekben van, melyek megtalálhatók az EN 1991-1-2 Annex C -ben (az elemek tűzbe borítottak, vagy a mennyezetig érnek).