



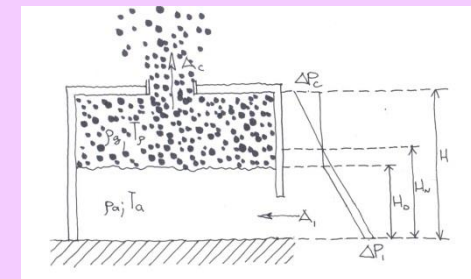
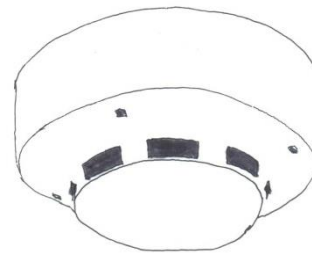
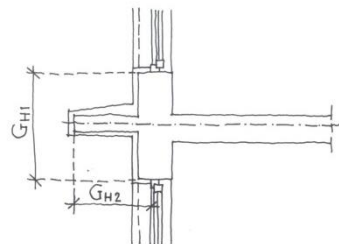
# A mérnöki módszerek alkalmazásának lehetőségei a hő- és füstelvezetésben

Szikra Csaba tudományos munkatárs

BME Építészmérnöki Kar  
Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

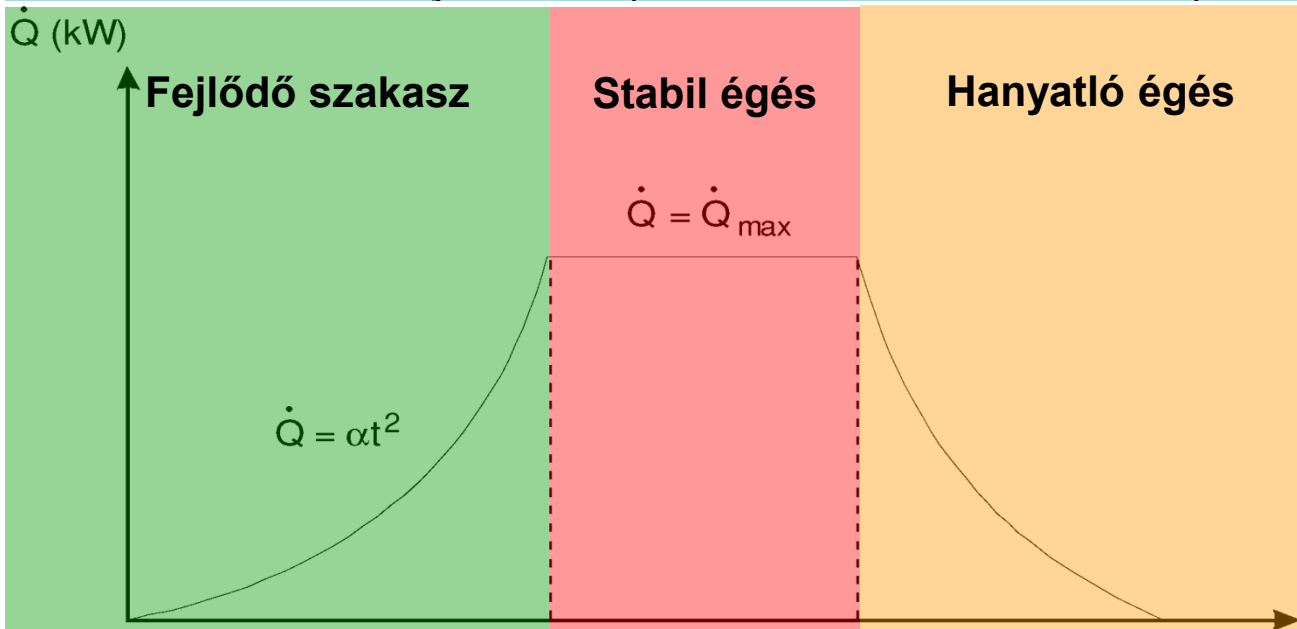
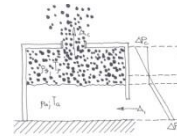
[szikra@egt.bme.hu](mailto:szikra@egt.bme.hu),

2013.



# Zárt téri tüzek lefolyása

Tűz teljesítményének időbeli változása (modell)



## Módszerek:

- (1) Éghető anyagok alapján (táblázatok)
- (2) Ajánlások: tipikus  $\alpha$  értékekre (pl.: lakások közepes; szállodai szoba gyors stb.)

	$\alpha$ (kW/s <sup>2</sup> )
Nagyon gyors	0.190
Gyors	0.047
Közepes	0.012
Lassú	0.003

## Jellemzői:

$Q_{\max}$ ,  $t_s$   
**Függ:**  
Éghető anyag mennyisége, fajtája, rendelkezésre álló oxigén (ÉAV, SZÉV)

**Módszerek:**  
számítás

## Hanyatló égés

## Jellemzői:

Csökkenő teljesítmény, általában ÉAV

## Módszerek:

Mivel a vizsgálatok során leginkább az első 10..30perc a lényeges ennek a szakasznak a vizsgálata már nem szükséges, továbbra is  $Q_{\max}$  feltételezéssel élünk

## Mérnöki módszer: mértékadó teljesítménygörbe meghatározása

Nincs kidolgozott módszer, a mérnök döntése, melyhez figyelembe veszi az épület (és szerkezet) (1)jellemzőit, (2)használati módját, (3)benne lévő anyagokat, ezek alapján dönt a modellben használt éghető anyag mennyiségéről és az égés sebességéről.

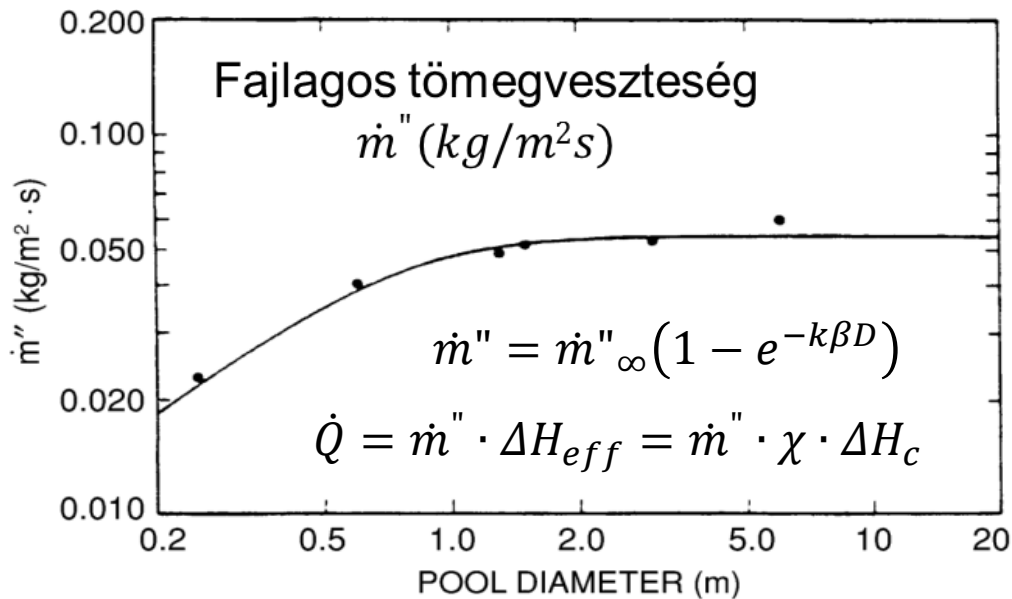
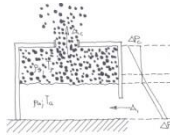
## Eredmény:

az alkalmazott mértékadó teljesítménygörbe (design fire)



# Zárt téri tüzek lefolyása

## A stabil égés modellje szabadfelszíni tüzekre



**Mérnöki módszer:**  
 Mérésen alapuló  
 tapasztalati egyenletek  
 származtatása

A kifejlesztett modell  
 paramétereit  
 anyagjellemzők

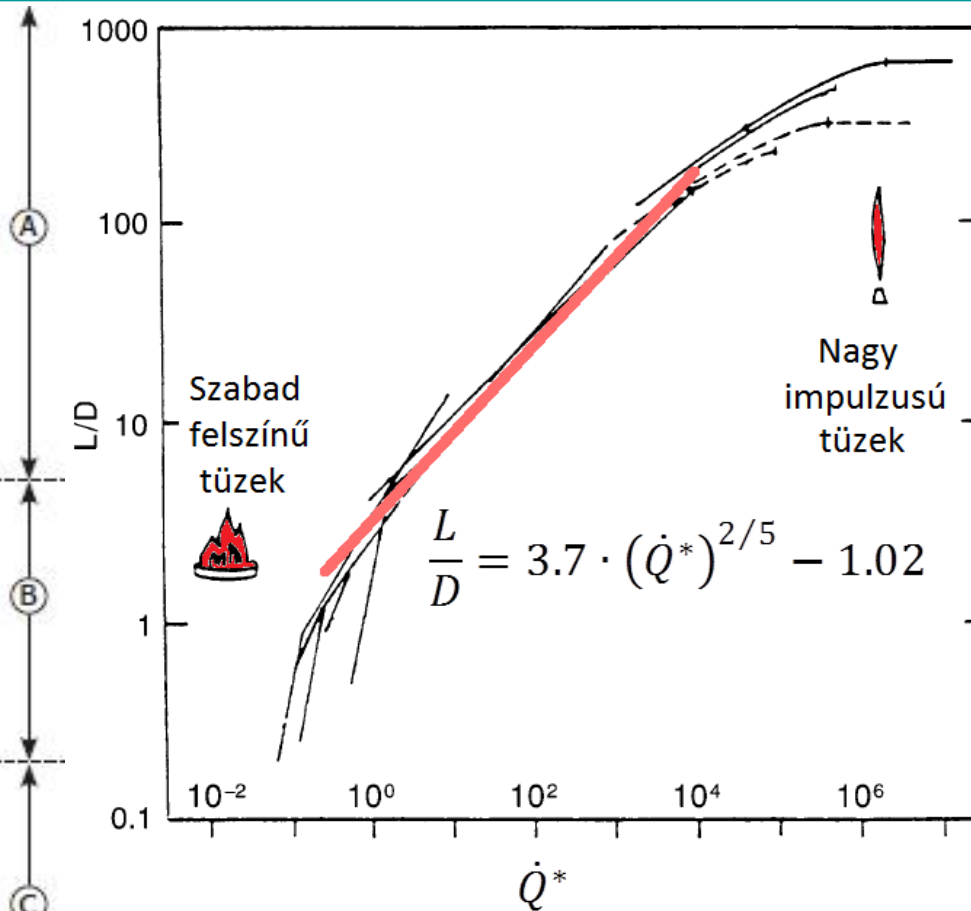
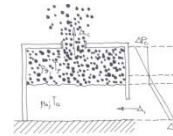
**Eredmény:**  
 A tűz teljesítményének  
 meghatározása

**Alkalmazási példa:**  
 Minden további mérnöki  
 számításnak szükséges  
 paramétere

Anyag	Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	$\dot{m}''_{\infty}$ (kg/s·m <sup>2</sup> )	$\Delta H_c$ (MJ/Kg)	$k\beta$ (1/m)	Anyag	Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	$\dot{m}''_{\infty}$ (kg/s·m <sup>2</sup> )	$\Delta H_c$ (MJ/Kg)	$k\beta$ (1/m)
Motorbenzin (gasolin)	740	0,055	43,7	2,1	Folyékony H <sub>2</sub>	70	0,017	120,0	6,1
Benzin	740	0,048	44,7	3,6	LPG (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	585	0,017	46,0	1,4
Kerozin	820	0,039	43,2	3,5	Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	796	0,017	20,0	N/A
Transzformátor olaj	760	0,039	46,4	0,7	Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	794	0,015	26,8	N/A
Tüzelő olaj (nehéz)	940-1000	0,035	39,7	1,7	Aceton	791	0,041	25,8	1,9
Nyersolaj	830-880	0,022-0,045	42,5-42,7	2,8	Polisztirol (nem habosított)	1050	0,034	39,7	N/A



# Lángmodellek (Heskestad féle modell)



$$L(m) = 0.235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02 \cdot D$$
 Lángteljesítmény  $Q(kW)$ ,  
 Egyenértékű átmérő  $D(m)$

**Mérnöki módszer:**  
 Hasonlóságelmélet alkalmazása, a mérési eredmények kiterjesztése, általánosítása

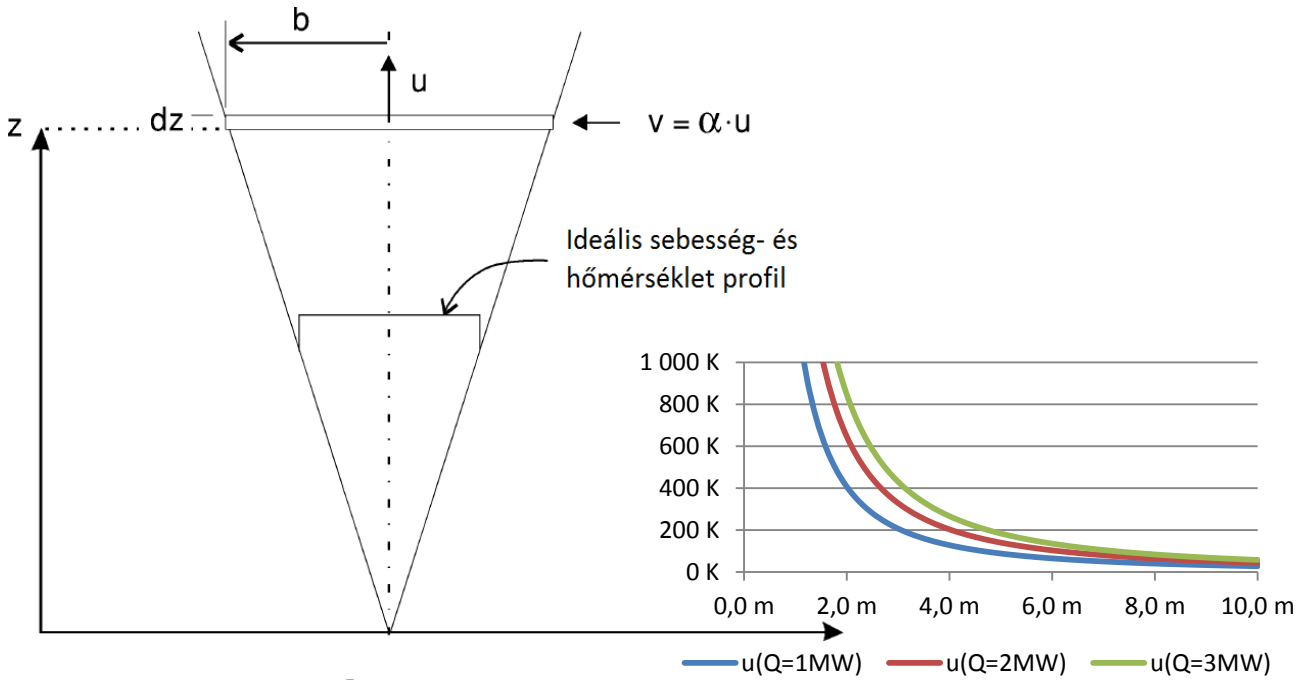
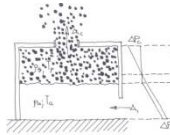
**Eredmény:**  
 A közepes lángmagasság

**Alkalmazási példák:**  
 Szerkezeti integritás vizsgálatok  
 Bemelő paramétere a későbbi számításoknak (pl.: csóva egyenleteinek érvényesség tartomány vizsgálatához)



# Tűzcsóva-modellek

## Ideális csóva egyenlete



### Modell eredményei:

Feláramló sebesség csóvában:

$$u = 1.94 \cdot \left[ \frac{g}{c_p \cdot T_\infty \cdot \rho_\infty} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\dot{Q}}{z} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Hőmérsékletnövekedés a csóvában:

$$\Delta T = 5.0 \cdot \left[ \frac{T_\infty}{g \cdot c_p^2 \cdot \rho_\infty^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{3}} \cdot z^{-\frac{5}{3}}$$

Feláramló tömeg:

$$\dot{m}_p = 0.20 \cdot \left[ \frac{\rho_\infty^2 \cdot g}{c_p \cdot T_\infty} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \dot{Q}^{\frac{1}{3}} \cdot z^{\frac{5}{3}}$$

### Mérnöki módszer:

A fizikai folyamatok főbb jellemzőinek feltárása

Egyszerűsítő feltételek következményeinek vizsgálata (a modell érvényességi tartománya)

### Eredmény:

A csóva főbb jellemzői. Feláramlás közepes sebessége, tömegárama.

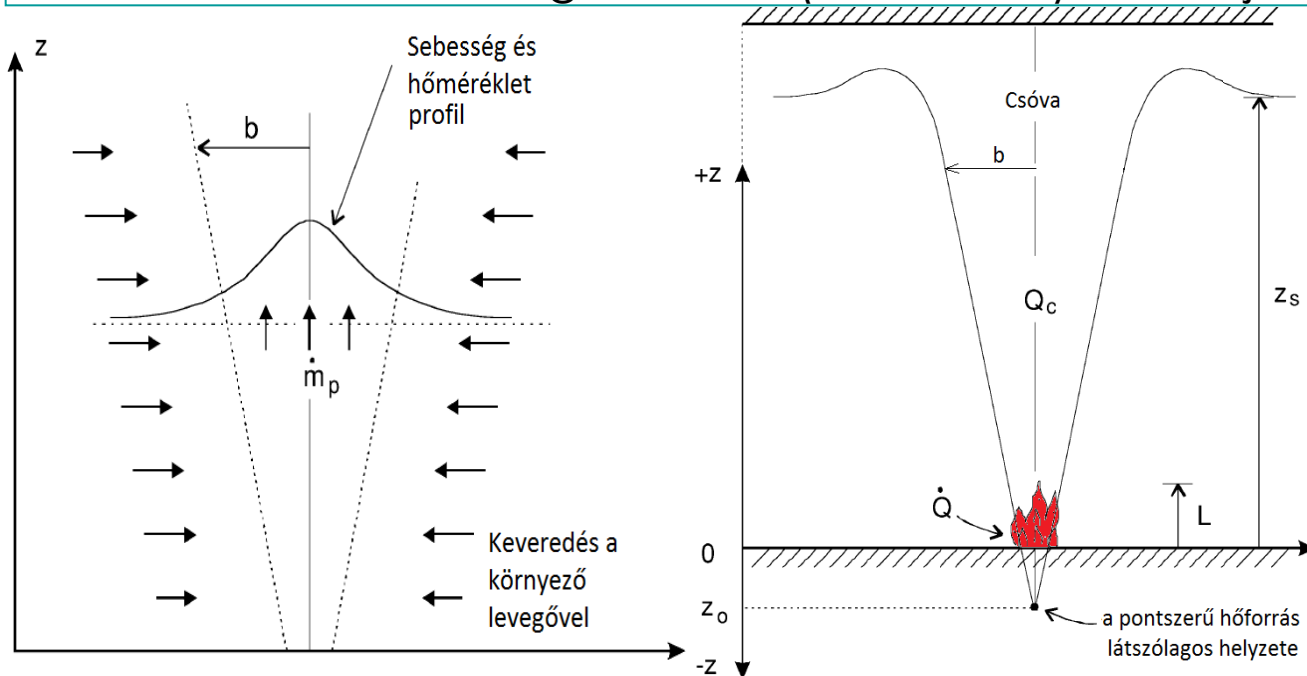
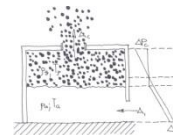
### Alkalmazási példa:

- A tűz hőszállító-képességének vizsgálata,
- Füsttel telt réteg hőmérséklete



# Tűzcsóva-modellek

## Valóságos csóva (Heskestad) modellje



- Mérnöki módszer:**  
Az ideális csóva egyenleteinek tapasztalati úton történő pontosítása
- Eredménye:**  
A csóva valóságos jellemzői (feláramlás, sebesség, hőmérséklet, terület)
- Alkalmazási példa:**
- Hő-érzékelők (sprinkler, hő-maximum stb.) viselkedése adott helyen
  - A csóva útjában lévő szerkezeti elemek, csövek, villamos berendezések stb. vizsgálata
  - Későbbi vizsgálatok bemenő adata, a feláramlás tömege

**Modellek eredményei:**  
Hőmérsékletnövekedés a

csóva tengelyében:

$$\Delta T_0 = 23.5 \cdot \dot{Q}_c^{\frac{2}{3}} \cdot (z - z_0)^{-\frac{5}{3}}$$

Feláramló sebesség a csóva tengelyében:

$$u_0 = \left( \frac{\dot{Q}_c}{z - z_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Feláramló tömeg:

$$\dot{m}_p = 0.071 \cdot \dot{Q}_c^{\frac{1}{3}} \cdot z^{\frac{5}{3}} + 1.92 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c$$

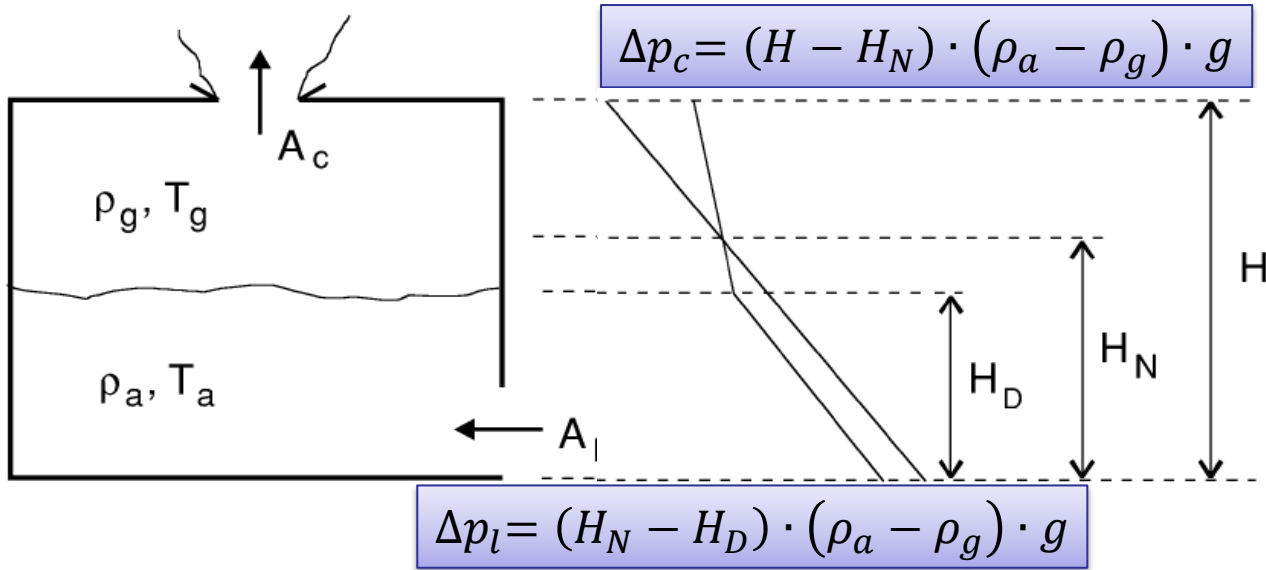
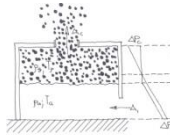
Csóva szétterülése:

$$b(m) = 0.12 \cdot \sqrt{T_0/T_\infty} \cdot (z - z_0)$$



# Zónamodellek

A hő- és füstelvezetés méretezéséhez



## Mérnöki módszer

### Hő- és füstelvezetés méretezési feladat

(1)

Adott a füstmentes levegőréteg magassága (tervezési követelmény pl.: 2,5m a padlószinttől), keressük a szükséges nyílásméretet

(2)

Adott nyílásméreték esetén keressük a füstmentes réteg magasságát

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

$$\dot{m} = CAv\rho = CA\rho \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

$$\dot{m}_l = C_d A_l \rho_a \sqrt{\frac{2(H_N - H_D)(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}}$$

$$\dot{m}_c = C_d A_c \rho_g \sqrt{\frac{2(H - H_N)(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_g}}$$

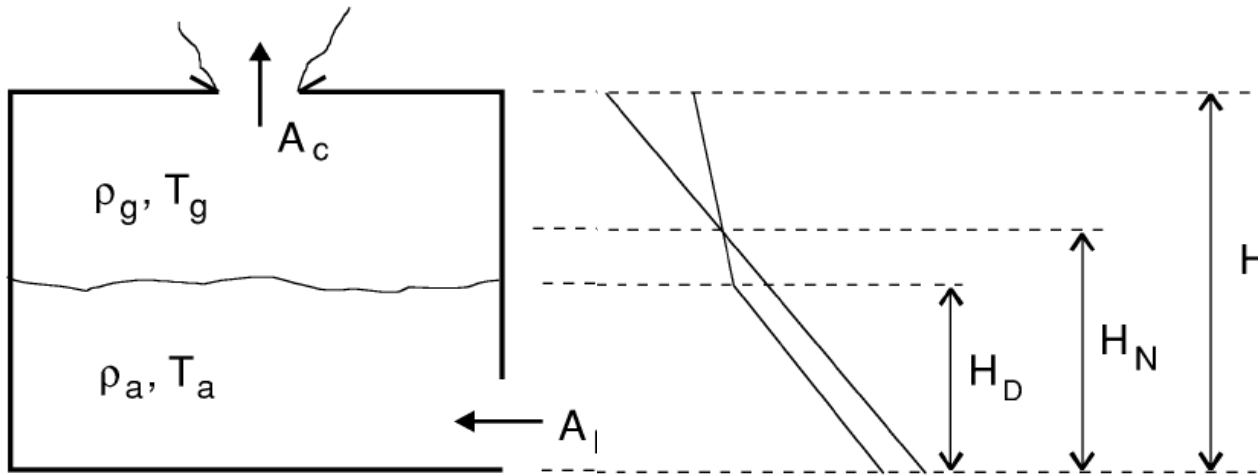
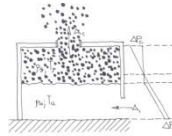
$$\dot{m}_c = \dot{m}_l$$

$$H_N = \frac{A_l^2 c_{vl} \rho_a H_D + A_c^2 c_{vc} \rho_g H}{A_l^2 c_{vl} \rho_a + A_c^2 c_{vc} \rho_g}$$



# Számítási példa

A hő- és füstelvezetés statikus modellje



$$\dot{m}_l = \dot{m}_p = C_d A_l \rho_a \sqrt{\frac{2(H_N - H_D)(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}} \quad \text{Egyszerűsítő feltétel:} \quad \dot{m}_c = \dot{m}_l = \dot{m}_p$$

$$5.6 = 0.7 \cdot 5 \cdot 1.16 \sqrt{\frac{2 \cdot (H_N - 2.5) \cdot (1.16 - 0.945)g}{1.2}} \rightarrow H_N = 4,34m$$

$$\dot{m}_c = \dot{m}_p = C_d A_c \rho_g \sqrt{\frac{2 \cdot (H - H_N) \cdot (\rho_a - \rho_g)g}{\rho_g}}$$

$$5.6 = 0.7 \cdot A_c \cdot 0.945 \sqrt{\frac{2 \cdot (6 - 4.34) \cdot (1.16 - 0.945)g}{0.945}} \rightarrow A_c = 3,1m^2$$

**Egy csarnokban 2m<sup>2</sup> területen transzformátorolaj terül szét, meggyullad.**

A helyiség belmagassága H=6m. A füstmentes levegőréteg tervezett magassága H<sub>D</sub>=3,0m. A padló szintjén a nyílás mérete A<sub>l</sub>=3.1m<sup>2</sup>. Az átfolyási tényező C<sub>d</sub>=0,7.

A földém alatt megengedett maximális hőmérséklet: T<sub>g</sub>=100°C (ρ<sub>g</sub>=0.945kg/m<sup>3</sup>); 3,0m magasan a zónába lépő tömegáram m<sub>p</sub>=5,6kg/s (1,6MW) t<sub>a</sub>=30°C

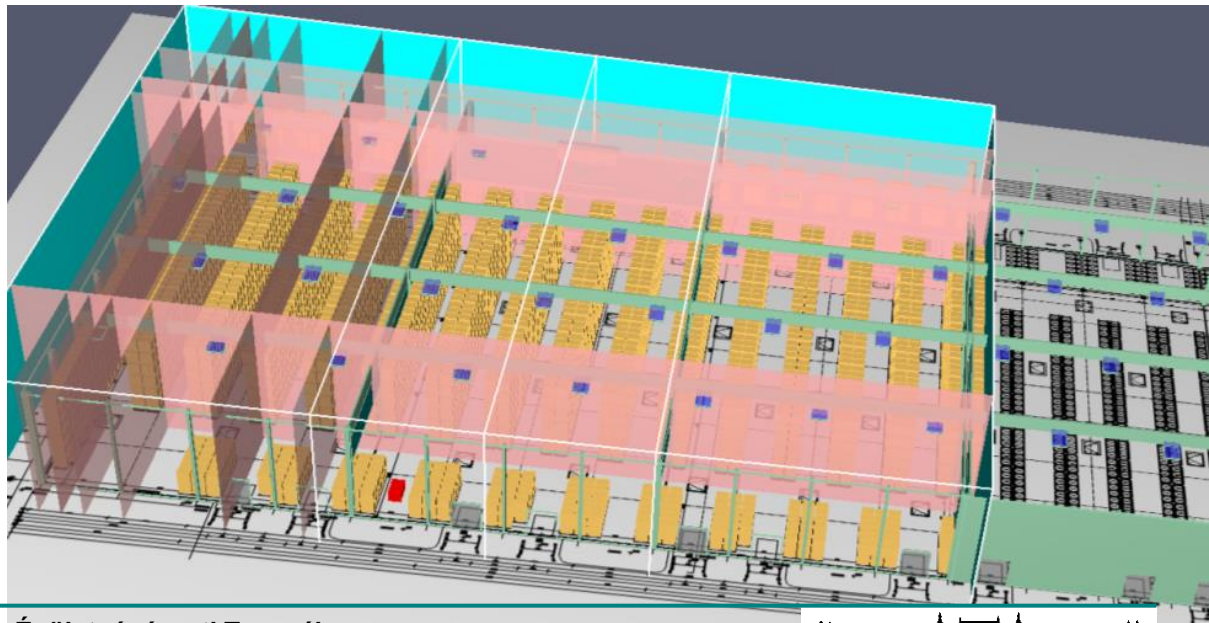
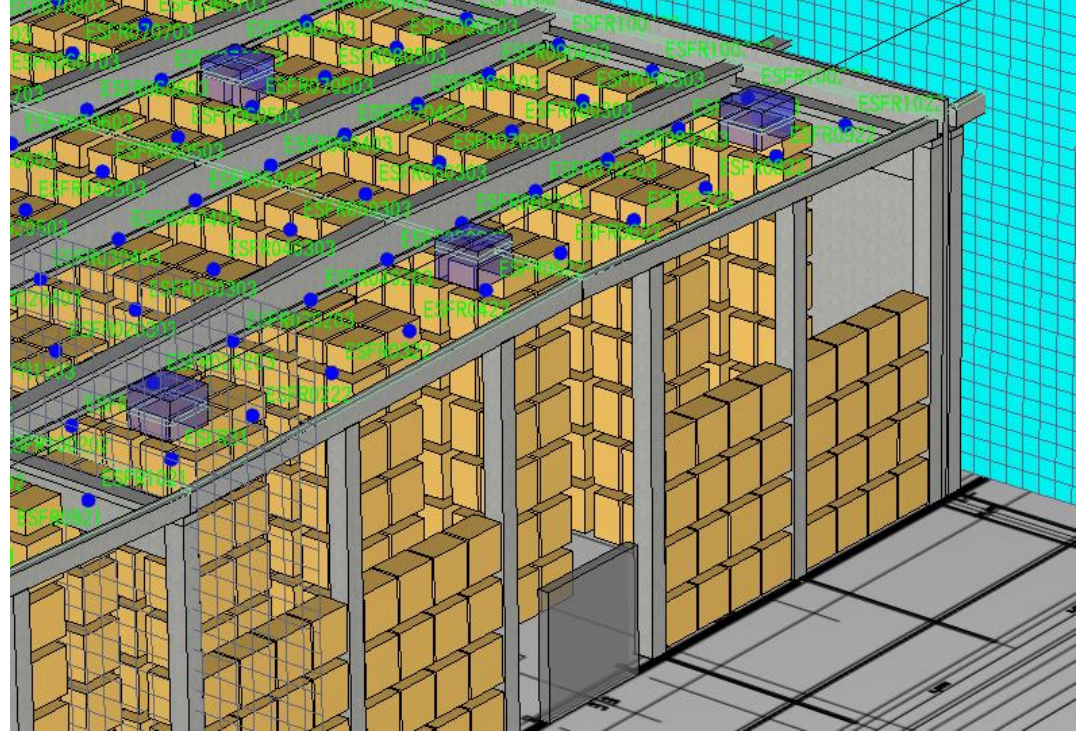
**Keressük a füstelvezető kupola szükséges méretét**





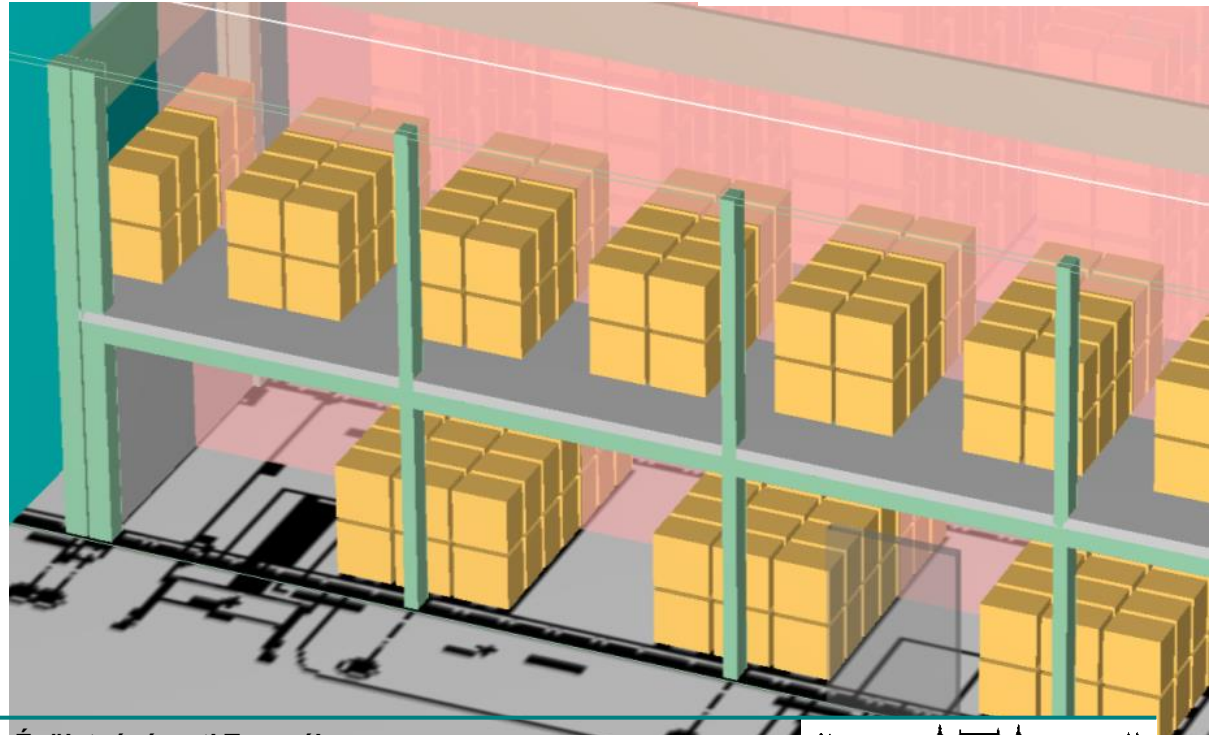
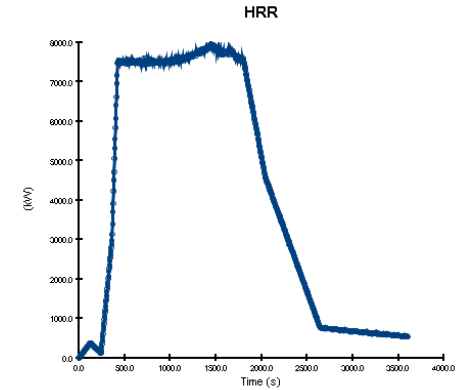
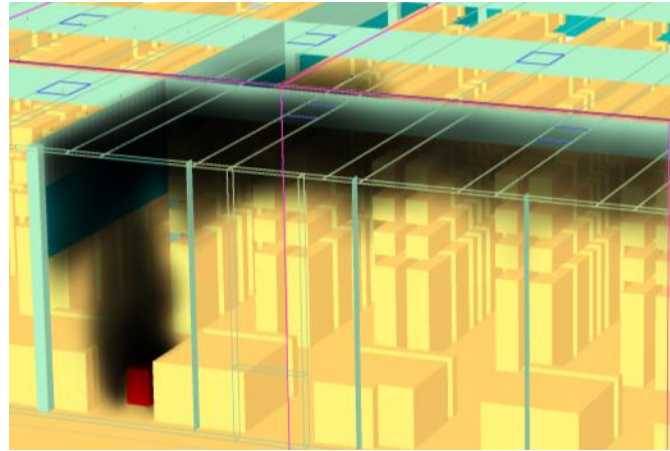
# CELLAMODELLEK

- 3D-s modellek: épületszerkezet és annak hőtani tulajdonságai,
- Tűz, ismert hőfejlődéssel ( $W/m^2$ ),
- Tűzgörbék modellezése,
- Gravitációs és gépi szellőzés (hő és füstelvezetés),
- Füstterjedés,
- Sugárzással szétterjedő hő és tűz,
- Piroízis modellek,
- Eltűnő éghető anyagok,
- Lebegő és hulló részecskék a levegőben:
  - Füst
  - Vízcsepp
  - Éghető cseppek,
- Aktív eszközök a tűzben
  - Oltóberendezések
  - Tűzjelző berendezések
- Oltás, lángelfojtás
- Eszközök vezérlése
  - Kapuk, füstelvezetők,
  - Vezérlések (bármit)

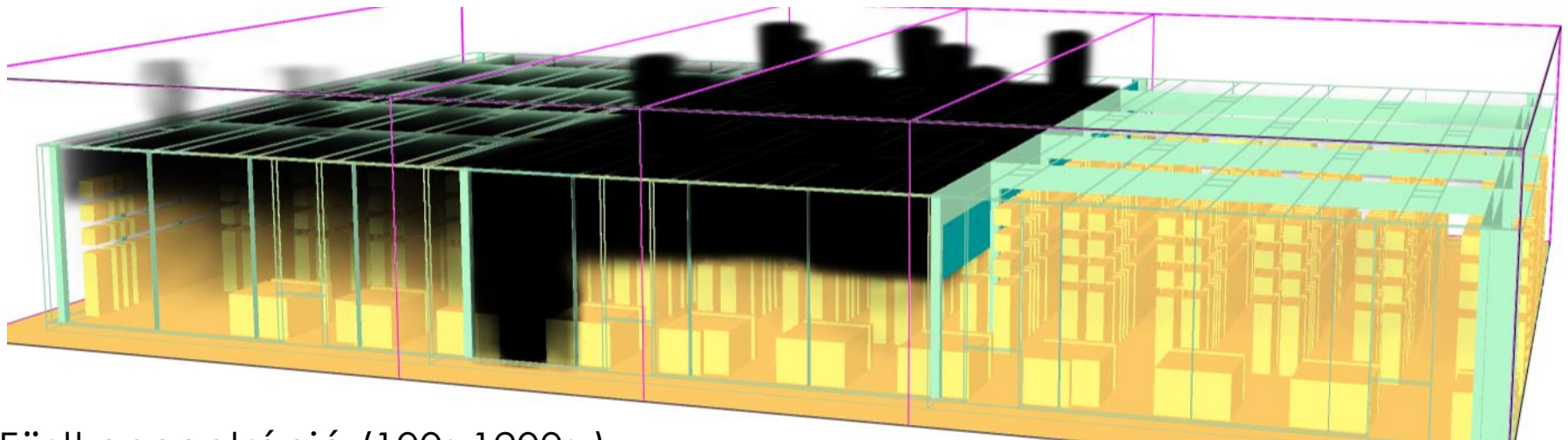
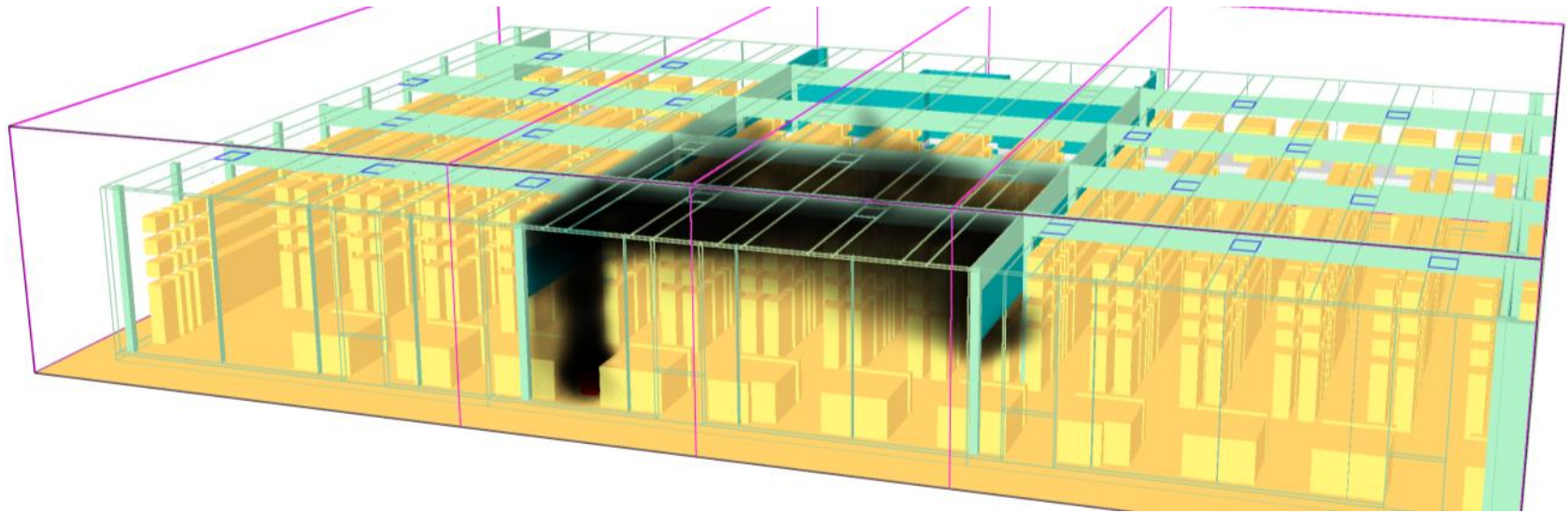


# CFD SZIMULÁCIÓHOZ SZÜKSÉGES PARAMÉTEREK

- Épületszerkezet (anyagok hőtani tulajdonságaival),
- Geometria,
- Tárolt anyagok (kubus, összetétel),
- Passzív tűzvédelmi eszközök,
- Tűzjelző berendezés,
- Oltó berendezés,
- Tűzvédelmi terv,
  - Kiürítési idő,
  - Passzív védelmi eszközök (hő- és füstelvezetés vezérlése),
  - Oltóberendezések vezérlései
  - Légtechnika vezérlései
- Mértékadó tűzteljesítmény-görbe
- Vizsgálati idő
- CFD szimuláció



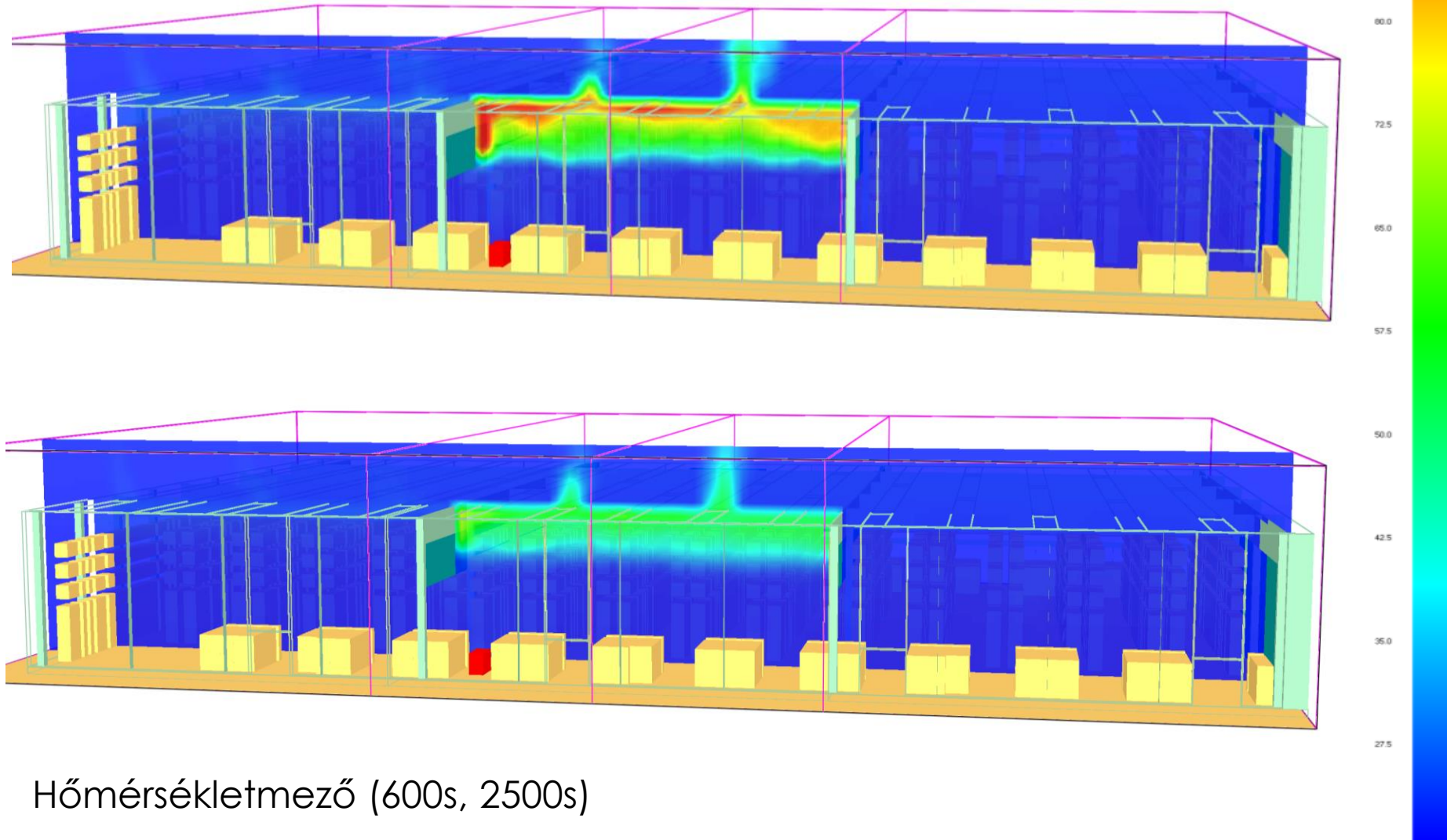
# LEHETSÉGES EREDMÉNYEK



Füstkoncentráció (100s,1200s )



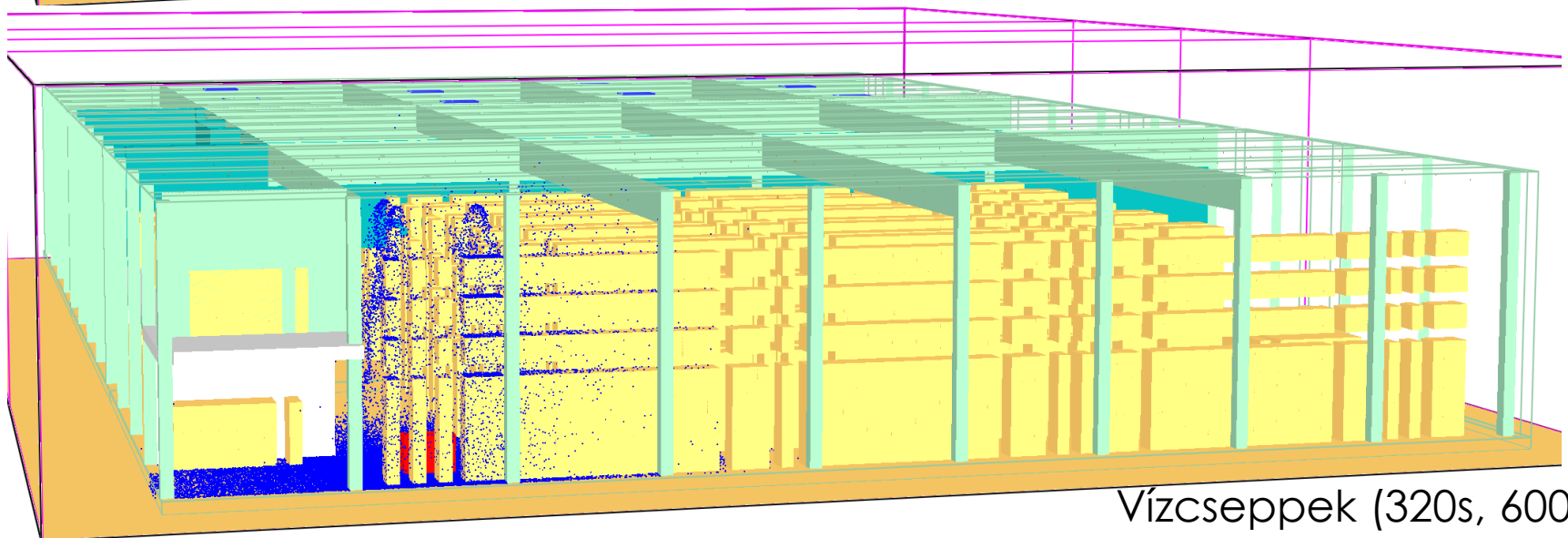
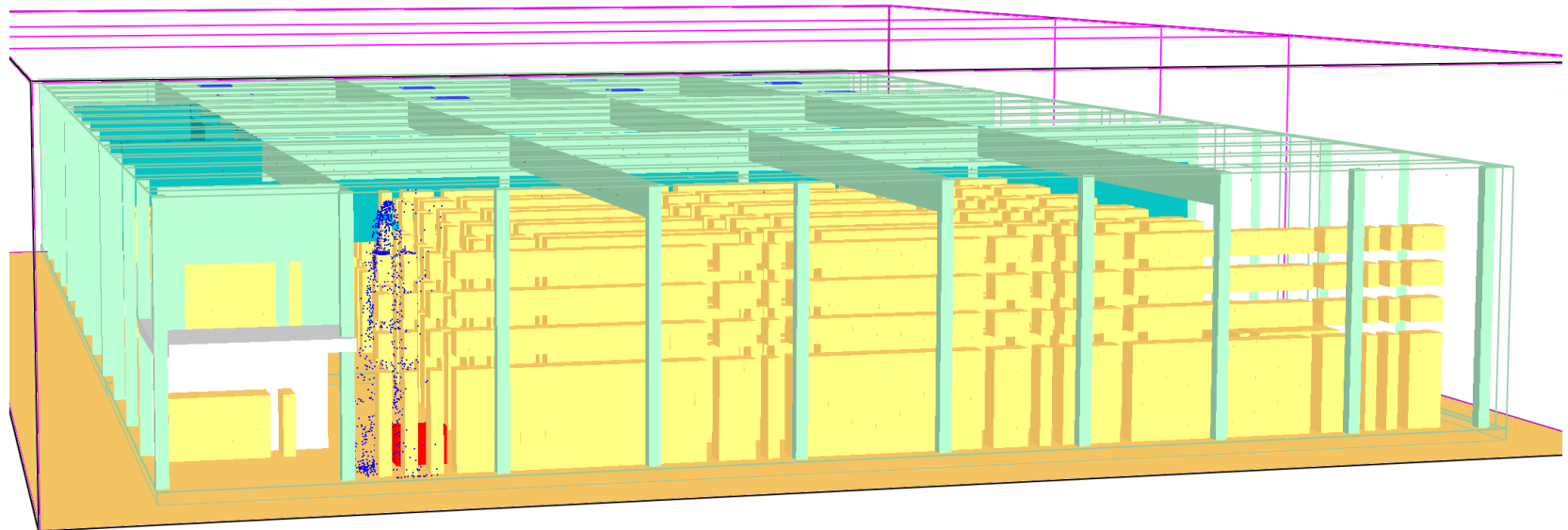
# LEHETSÉGES EREDMÉNYEK



Hőmérsékletmező (600s, 2500s)



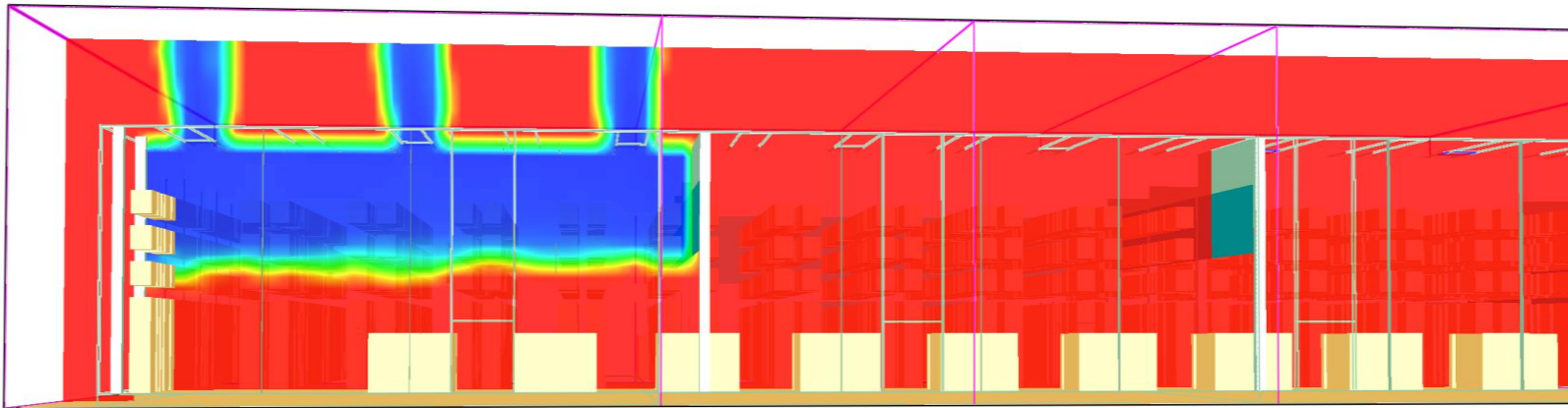
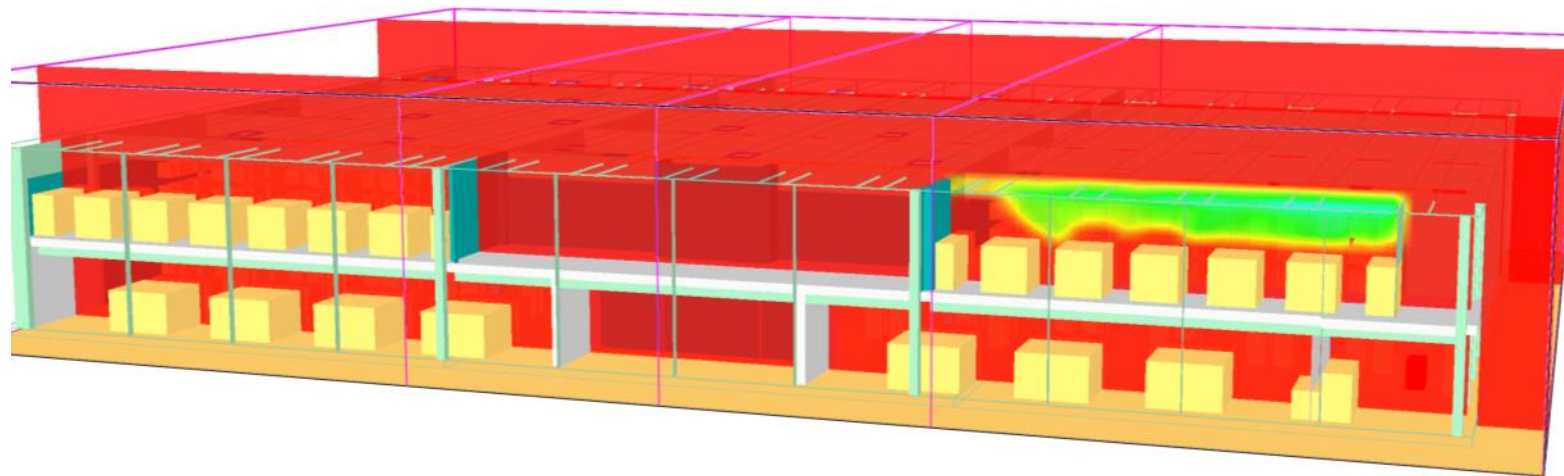
# LEHETSÉGES EREDMÉNYEK



Vízcseppek (320s, 600s )



# LEHETSÉGES EREDMÉNYEK



Látótávolság (m) 120s, 600s



# HŐ- ÉS FÜSTELVEZETÉS MÉRETEZÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

	Előnyök	Hátrányok	Jellemző alkalmazás
OTSZ (preszkriptív módszer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Egyszerű méretezés</li> <li>Nem igényel különleges szoftvert és speciális ismereteket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 600 m<sup>2</sup> füstszakaszra optimalizálva</li> <li>Legfeljebb 15 m belmagasságig</li> </ul>	Kis- és közepes méretű csarnokoknál alkalmazzuk
Zónamodellek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nem igényelnek különleges szoftvereket</li> <li>A preszkriptív módszereknél pontosabb eredményt adnak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bonyolultabb számítás</li> <li>Alapos mérnöki tudást igényelnek (a szakirodalom angol nyelvű)</li> <li>Egyszerű belső terű épületekre alkalmasak</li> <li>Nem alkalmasak az egyéb aktív tűzvédelmi berendezések működésének figyelembe vételére</li> </ul>	Ma már csak egyszerű épületeknél és a hő- és füstelvezetés elméleti alapjainak megértésére alkalmazzák őket (Magyarországon nem terjedtek el)
Cellamodellek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tetszőleges épület modellezhető velük</li> <li>Alkalmasak az aktív tűzvédelmi berendezések működésének modellezésére</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alapos mérnöki tudást igényelnek (a szakirodalom angol nyelvű)</li> <li>Speciális hardver- és szoftverigény, hosszú futási idő</li> <li>Előzőek miatt költségesek</li> </ul>	Nagyméretű, nagy belmagasságú vagy egyéb okokból különleges épületeknél alkalmazzuk





# Köszönöm a figyelmet!

Szakra Csaba tudományos munkatárs  
BME Építészmérnöki Kar  
Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék  
[szikra@egt.bme.hu](mailto:szikra@egt.bme.hu),  
2013.

