

TŰZESETEK VIZSGÁLATA FDS SZIMULÁCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

Szikra Csaba

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

Dr. Takács Lajos Gábor

BME Építészmérnöki Kar
Épületszerkezet-tani Tanszék



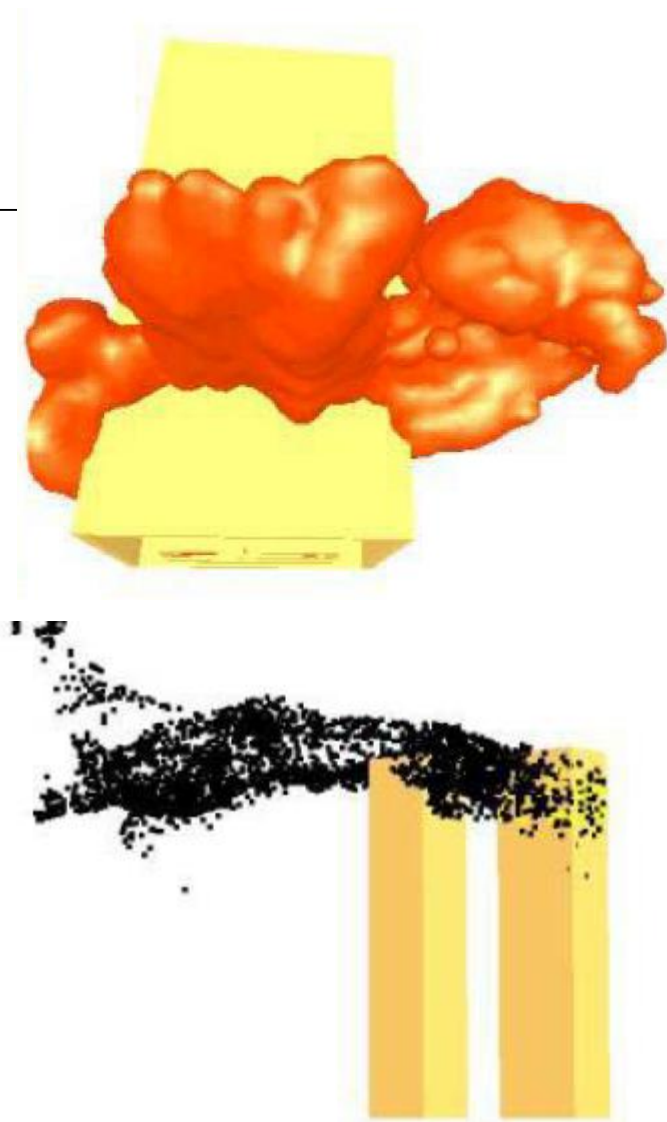
ELŐZMÉNYEK: WTC IKERTORNYOK MODELLEZÉSE - NIST, 2003

Célok:

- Matematikai modellel meghatározni a tűz lefolyását (HRR, termikus adatok)

Módszerek:

- FDS modell
- A megfigyelt csóvából, az épület károsodásaiból, a széladatokból az idő függvényében kikövetkeztették a tűz időben változó jellemzőit
- a legfontosabb adatok fényképekből és videókból származtak – kevés tárgyi bizonyíték maradt



Ronald G. Rehm, William M. Pitts, Howard R. Baum, David D. Evans, Kuldeep Prasad, Kevin B. McGrattan, Glenn P. Forney: **Initial Model for Fires in the World Trade Center Towers**. Building and Fire Research Laboratory, NIST, Maryland

ELŐZMÉNYEK: WTC IKERTORNYOK MODELLEZÉSE - NIST, 2003

Alapadatok:

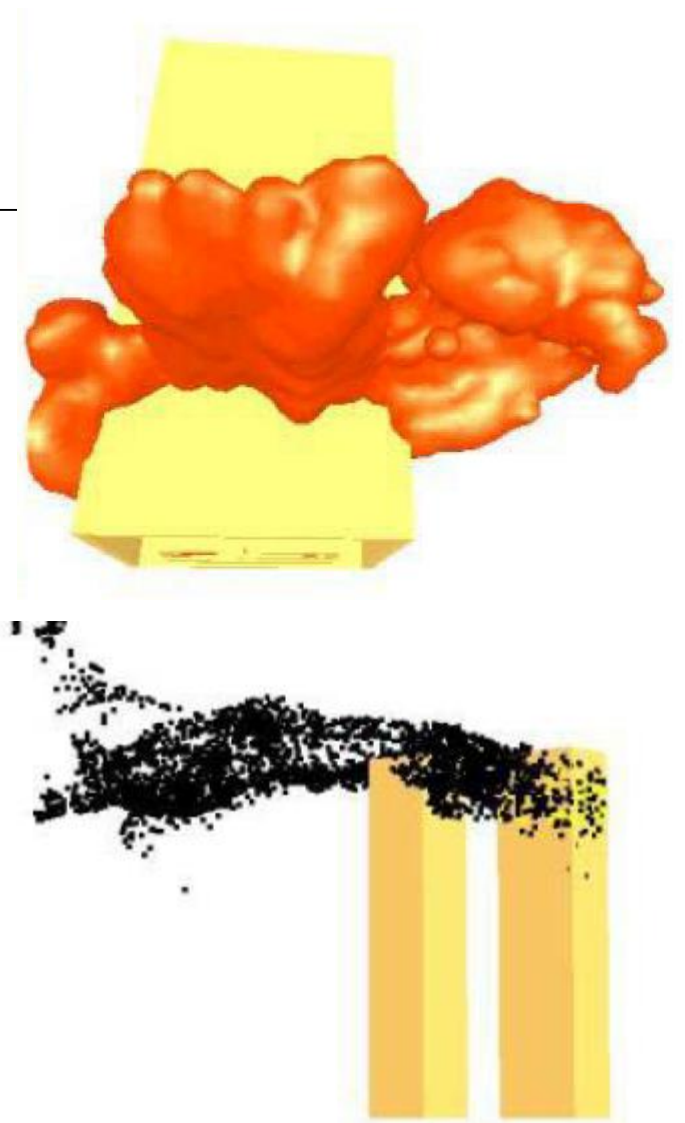
- Széladatok (5-10 m/s, északi irányból)
- Károsodások jellege, adatai (épület geometria), illetve annak időbeni lefolyása
- Északi torony: Boeing 767 – kb. 34.000 liter, déli torony: Boeing 767 – kb. 31.000 liter kerozin

Eredmények:

- HRRPUA a kerozinból egy szinten 2 MW/m²
- HRR: GW nagyságrendű

Eredmények: a bevitt adatok akkor közel megfelelőek, amikor a láng- és a füstkép, illetve a lángfrontterjedés sebessége (1 s alatt 60 m) azonos a felvételeken láthatóakkal (vizuális összehasonlítás)

Ronald G. Rehm, William M. Pitts, Howard R. Baum, David D. Evans, Kuldeep Prasad, Kevin B. McGrattan, Glenn P. Forney: **Initial Model for Fires in the World Trade Center Towers**. Building and Fire Research Laboratory, NIST, Maryland

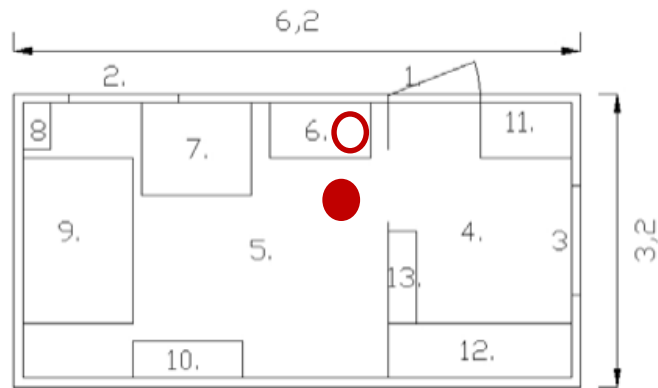


HAZAI ELŐZMÉNYEK: SZILÁGYI CSABA, 2007

A vizsgálat célja: a sparherd tetején vagy előtte, a szőnyegen keletkezett a tűz?

Modell:

- 30x30 cm méretű 1000 kW/m² gyújtóforrás (90 kW),
- 10x10x10 cellaháló, éghető anyagok definiálása



Külső kép

Belső kép a válaszfal felé



Szikra Csaba, Dr. Takács Lajos Gábor

Szilágyi Csaba tűzvédelmi mérnök, Szolnok
MVJÖ Hivatásos Tűzoltóság:

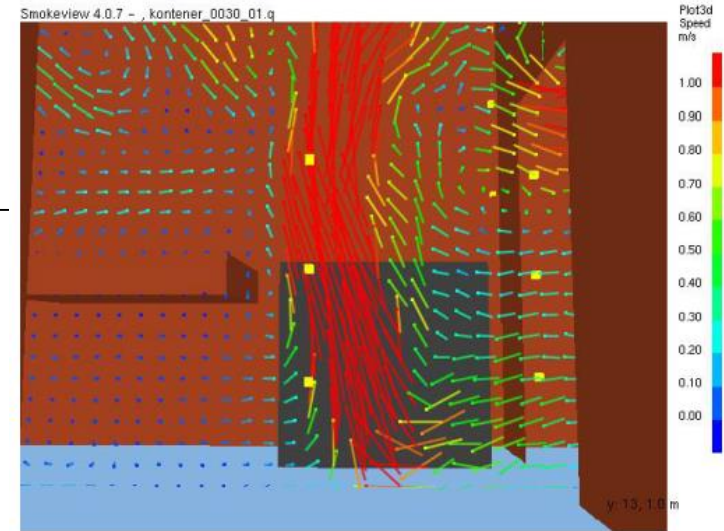
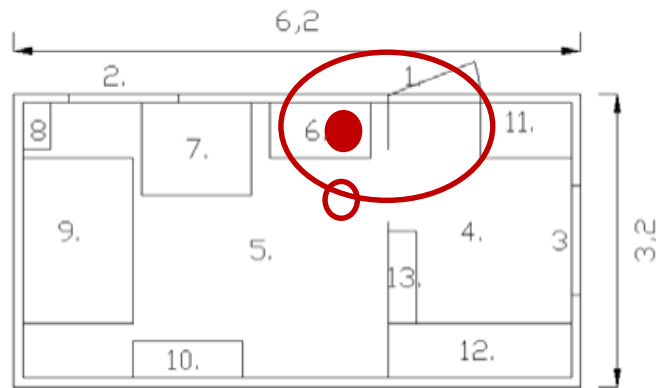
Tűzvizsgálat számítástechnikai támogatással
tanulmány, Védelem 2007/6 száma

HAZAI ELŐZMÉNYEK: SZILÁGYI CSABA, 2007

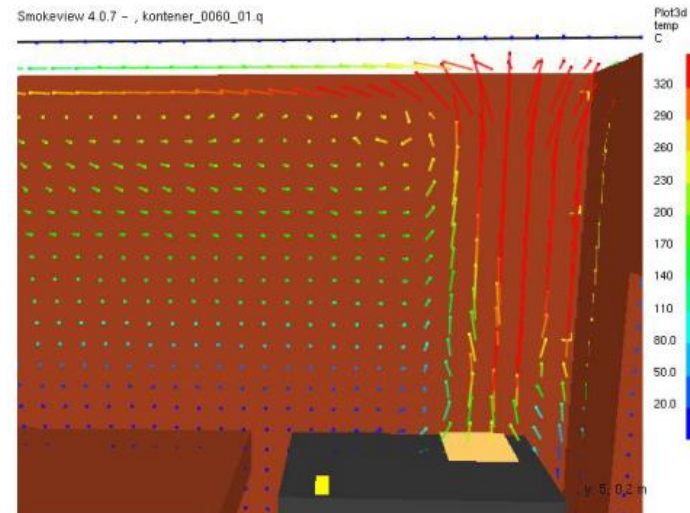
A vizsgálat célja: a sparherd tetején vagy előtte, a szőnyegen keletkezett a tűz?

Modell:

- 30x30 cm méretű 1000 kW/m² gyújtóforrás (90 kW),
- 10x10x10 cellaháló, éghető anyagok definiálása



Felül: a sparherd előtt a szőnyegen keletkező tűz, alul: a sparherd tetején keletkező tűz sebességvektorai



Szilágyi Csaba tűzvédelmi mérnök, Szolnok
MVJÖ Hivatásos Tűzoltóság:

Tűzvizsgálat számítástechnikai támogatással
tanulmány, Védelem 2007/6 száma

HAZAI ELŐZMÉNYEK: DEBRECEN, FÉNYESUDVAR 6. 2007. FEBRUÁR 26.



Tűzkeletkezés oka és módja: a tűzhelyen hagyott étel, a tűzhely mellett konyhai szagelszívó vezeték éghető aknafala meggyulladt



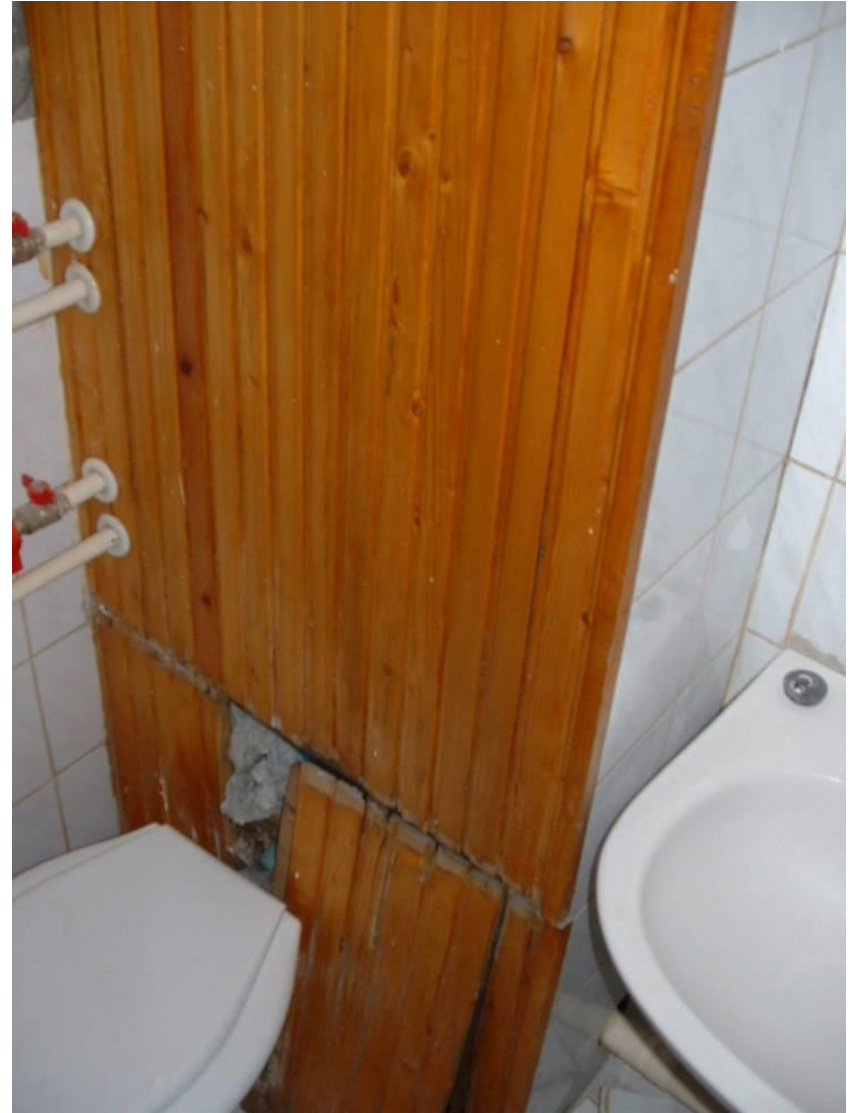
HAZAI ELŐZMÉNYEK:

DEBRECEN, FÉNYESUDVAR 6. 2007. FEBRUÁR 26.



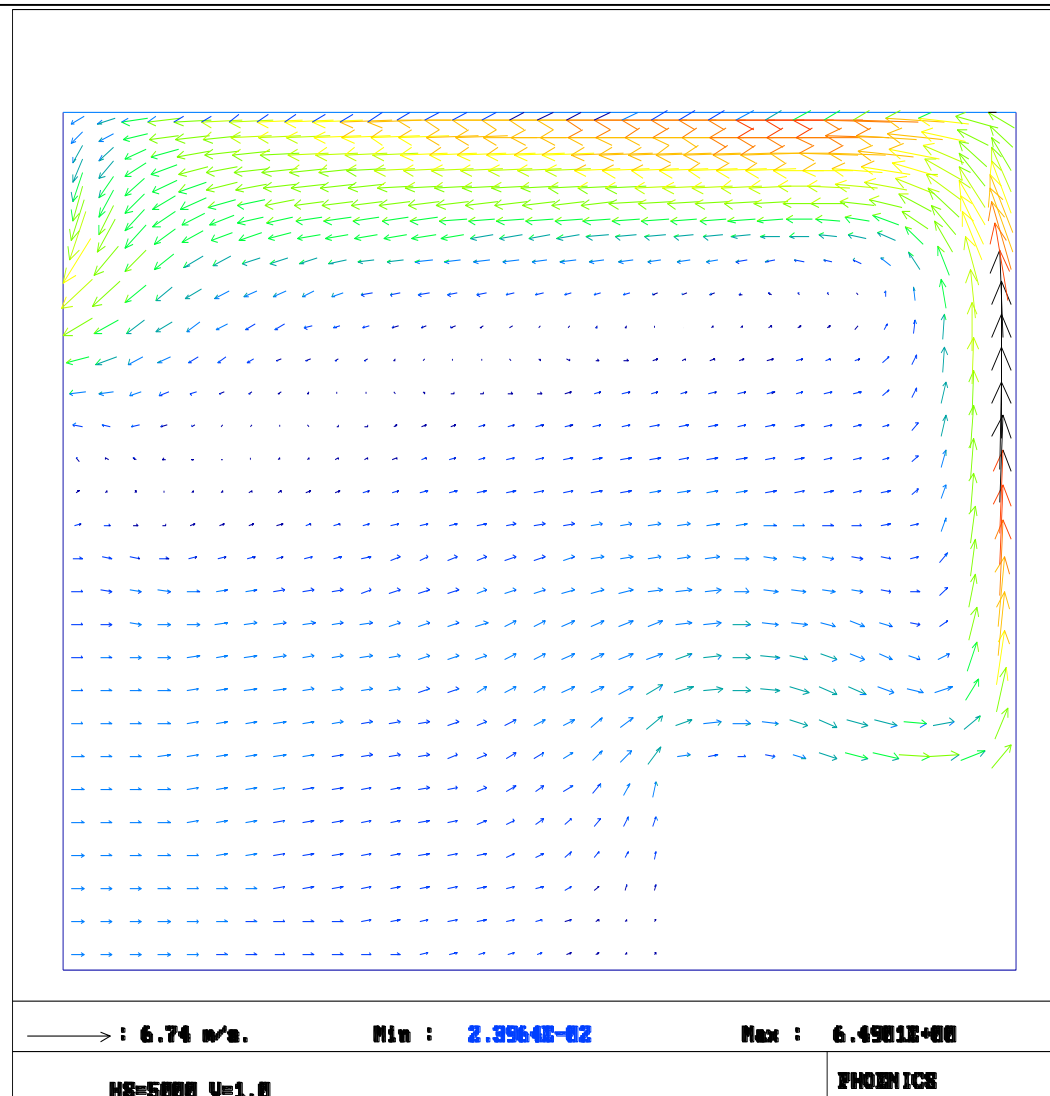
A tűzkeletkezési szint fölötti konyha két belső nézete. Az akna az aknafallal együtt megsemmisült (az elszívó mellékcsatornás gyűjtőkürtő alumíniumból készült és elolvadt, az éghető aknafal elégett)

HAZAI ELŐZMÉNYEK: DEBRECEN, FÉNYESUDVAR 6. 2007. FEBRUÁR 26.



HAZAI ELŐZMÉNYEK:

DEBRECEN, FÉNYESUDVAR 6. 2007. FEBRUÁR 26.



→ : 6.74 m/s.

Min : 2.3964E-02

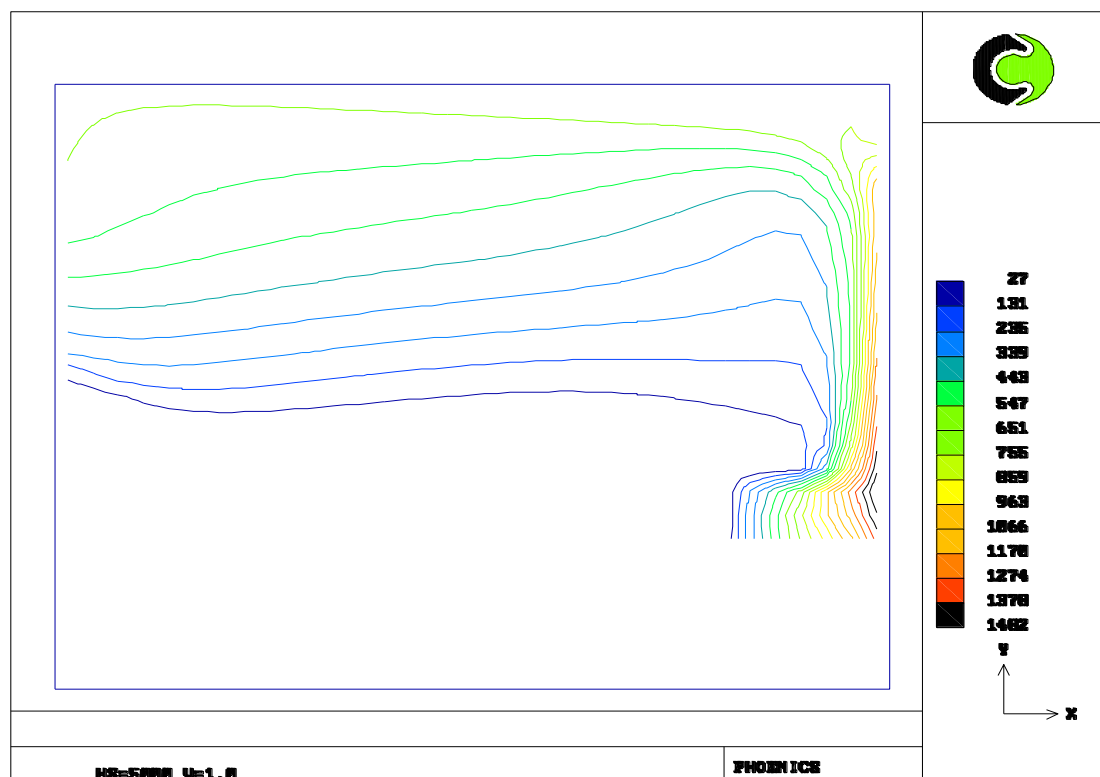
Max : 6.4901E+00

HS=5000 Q=1.0

FIDIC

HAZAI ELŐZMÉNYEK:

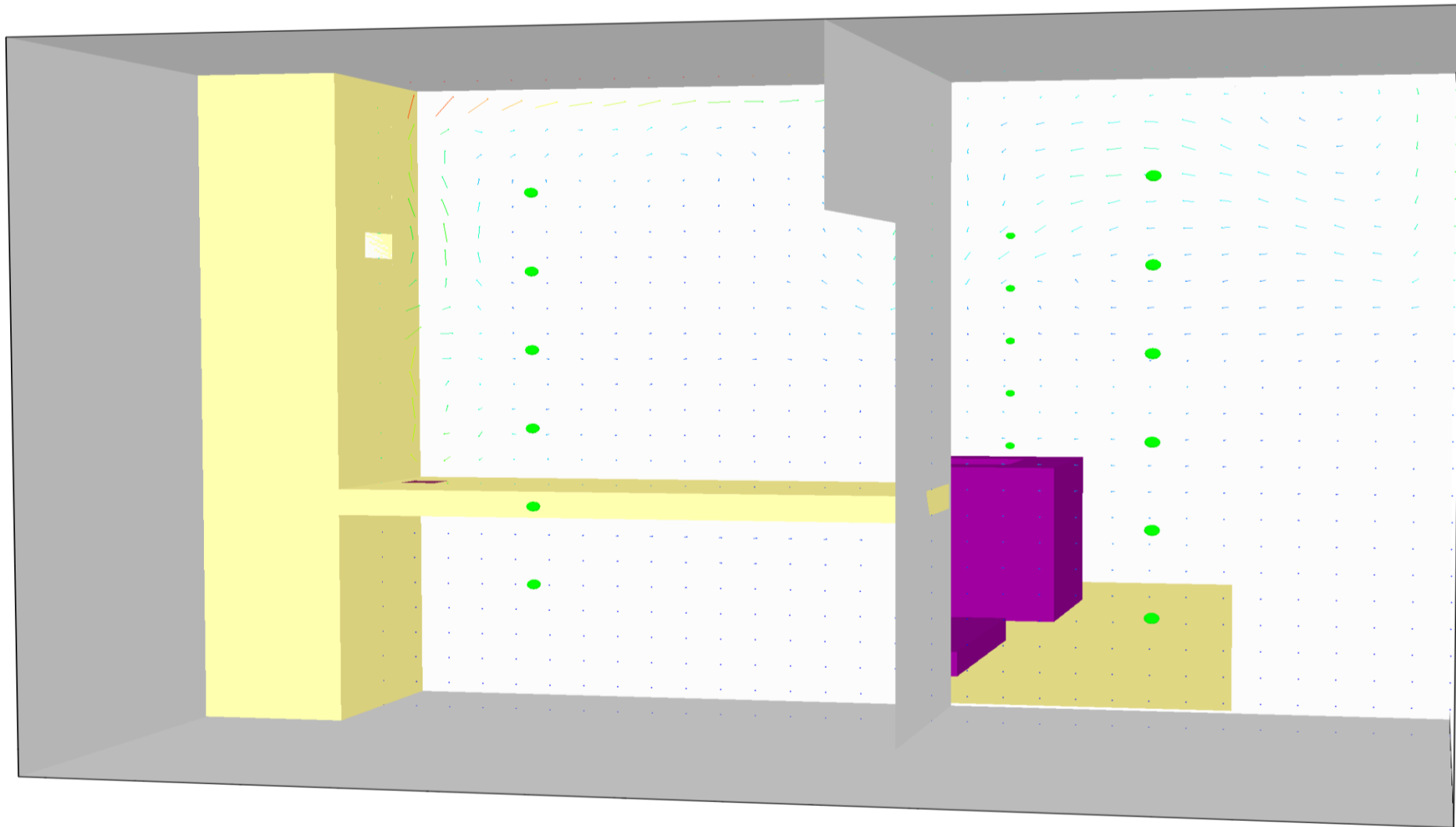
DEBRECEN, FÉNYESUDVAR 6. 2007. FEBRUÁR 26.



A fal mentén nagyjából 6 m/s-os feláramlás keletkezett. A feláramló levegő hőmérséklete az anemosztát elszívási környezetében kb. 850 °C volt. A ilyen hőmérsékletű forró levegő egy részének a légcsatornába jutása esetén is elegendő a hőt szállít a tűz továbbterjedéséhez.

KÉSŐBB MEGISMÉTELT SZIMULÁCIÓ

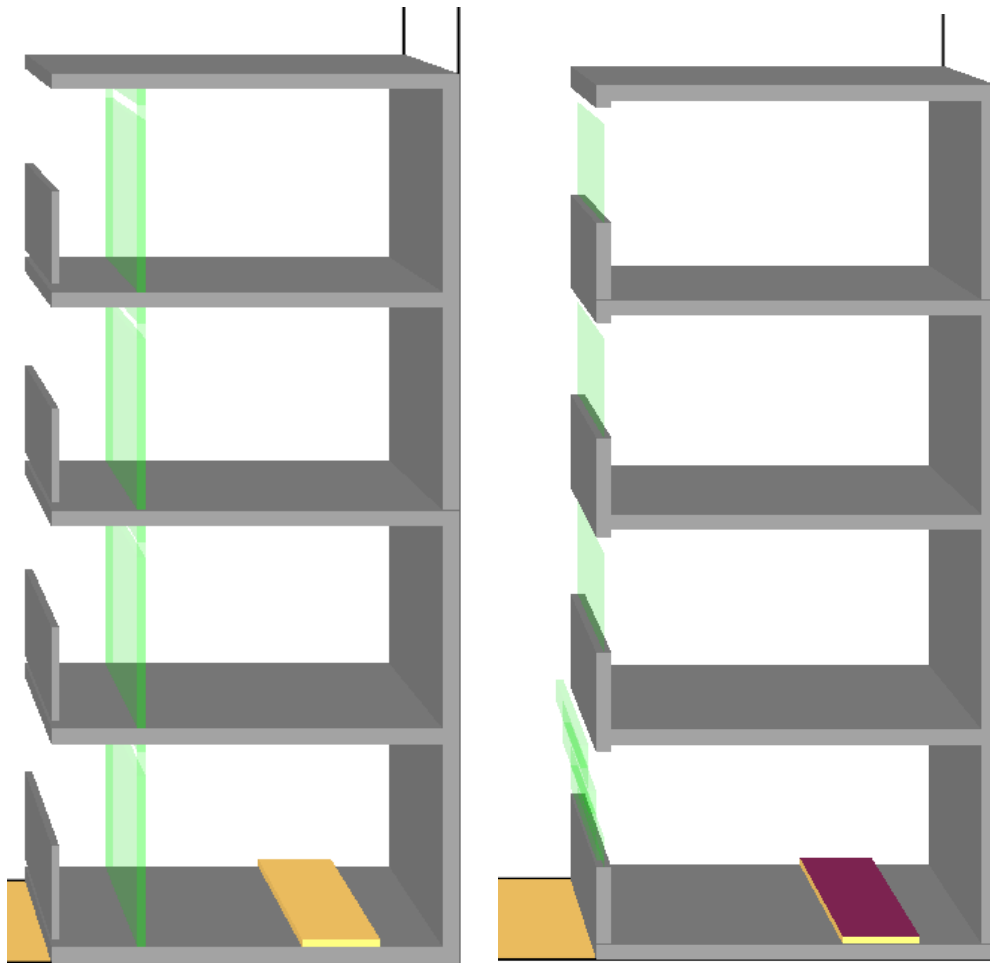
DEBRECEN, FÉNYESUDVAR 6. 2007. FEBRUÁR 26.



MISKOLC, KÖZÉPSZER U. 20.



MISKOLC, KÖZÉPSZER U. 20. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

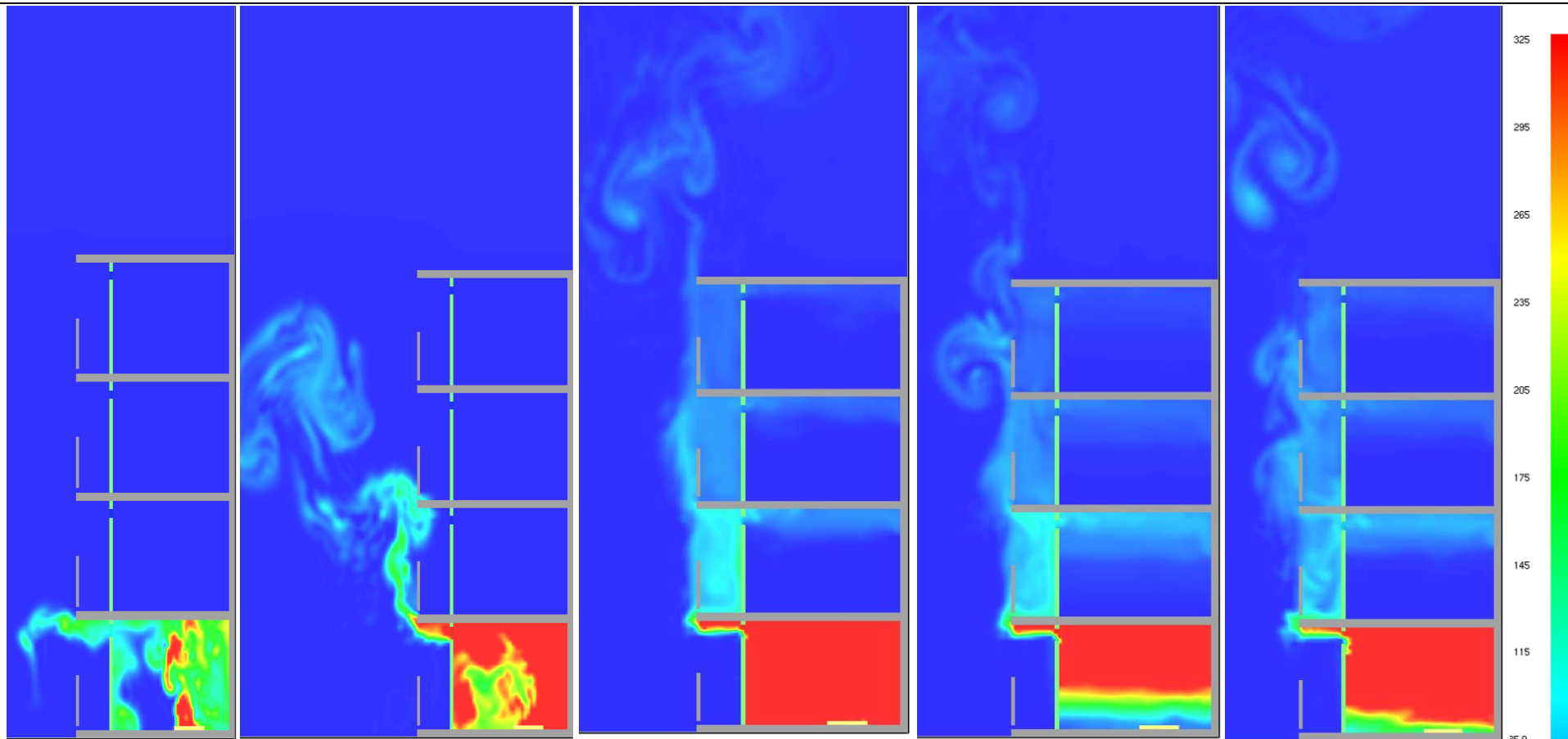


A vizsgálat céljai:

- hő, és ezen keresztül a füst homlokzaton történő terjedésének modellezése,
- annak megállapítása, hogy a homlokzatra kijutó hő, füst, illetve tűz milyen feltételek mellett juthat vissza a tűz keletkezés fölötti lakásokba.

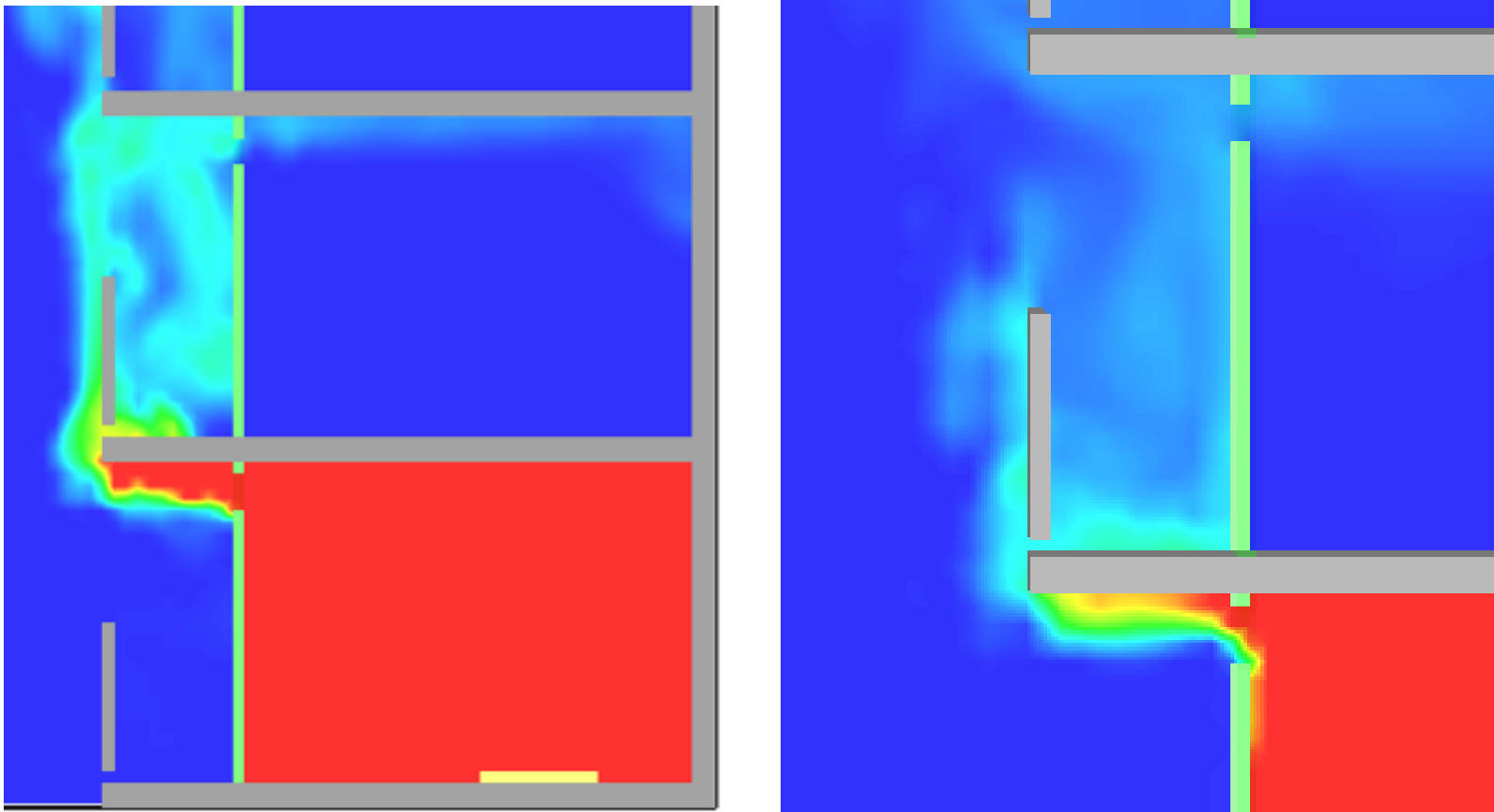
A modelleket éghető magú vakolt hőszigetelő homlokzati rendszer nélkül állítottuk össze annak tisztázására, hogy ebben az esetben is bekövetkezhetett volna a homlokzaton keresztül hő és füst feláramlás, illetve tűzterjedés a tűzkeletkezési szint fölötti lakásokba.

MISKOLC, KÖZÉPSZER U. 20. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK



A loggiával rendelkező szoba tranziens szimulációjának eredményei (balról jobbra, illetve soronként haladva loggiák környezetében a hőmérséklet eloszlás a szimuláció indítása utáni 4., 11., 41., 121., és 301. másodpercben)

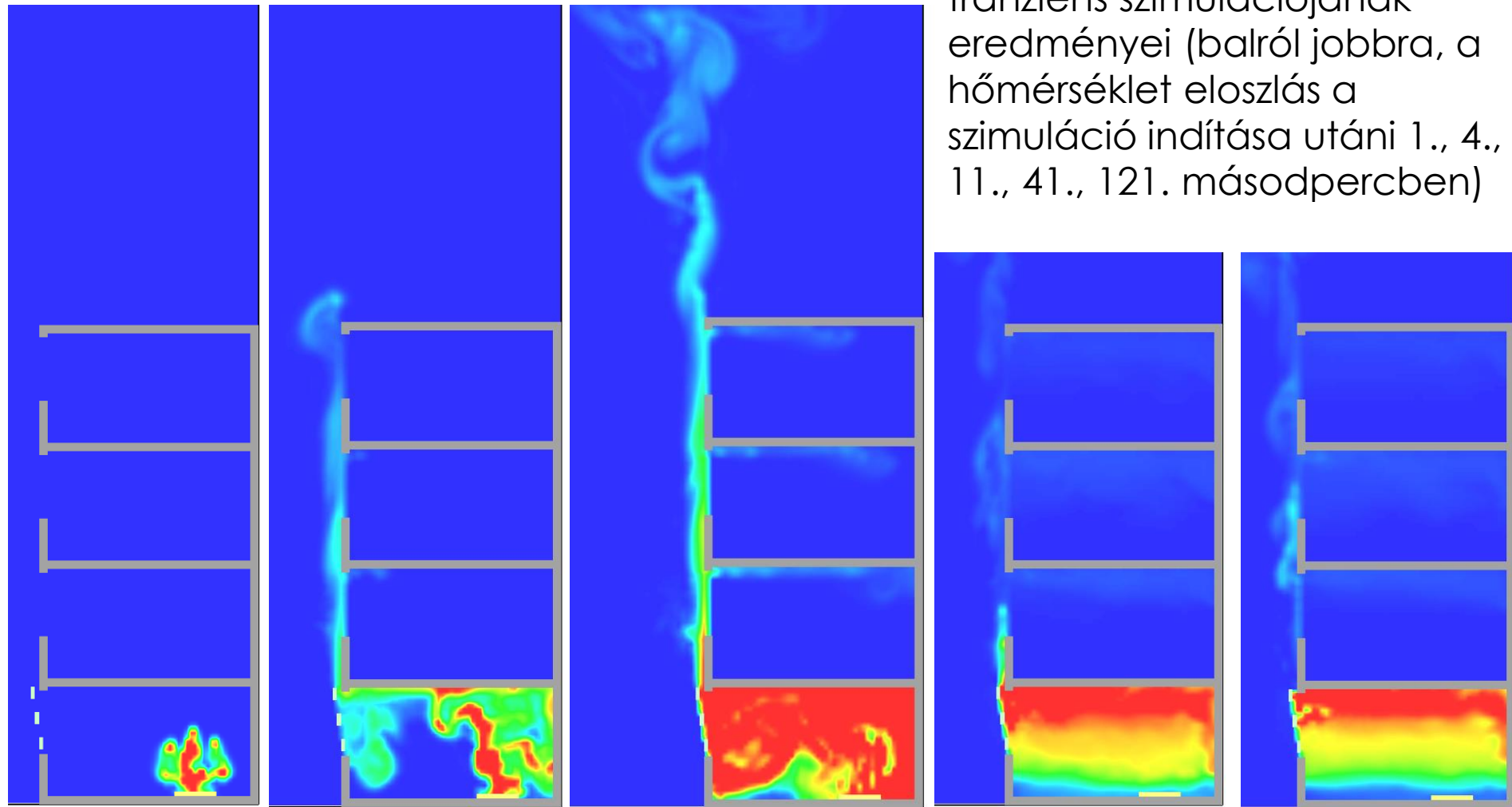
MISKOLC, KÖZÉPSZER U. 20. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK



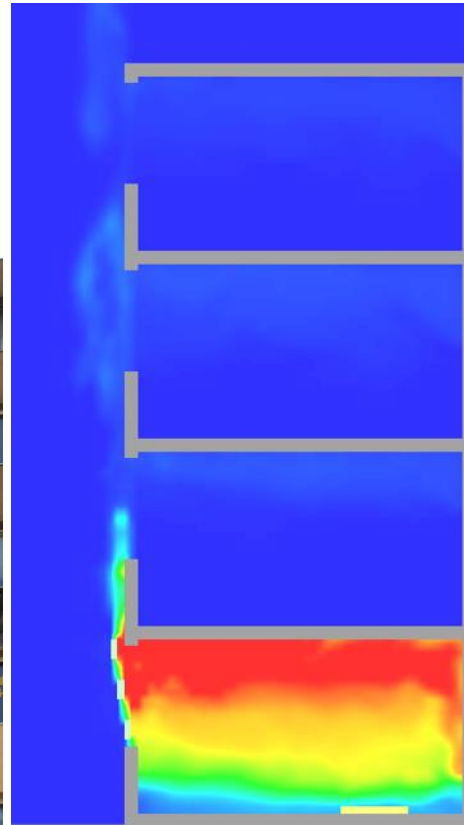
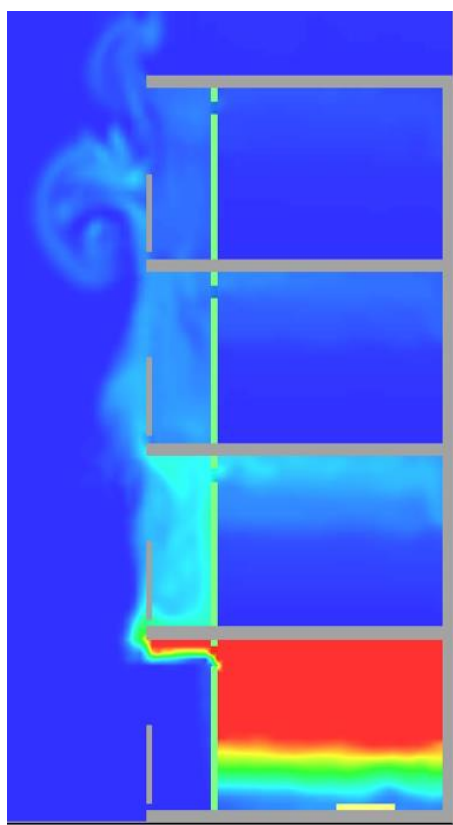
Beáramlás a loggia függőleges lemeze alsó síkjában

MISKOLC, KÖZÉPSZER U. 20. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

A loggia nélküli szoba
tranzien szimulációjának
eredményei (balról jobbra, a
hőmérséklet eloszlás a
szimuláció indítása utáni 1., 4.,
11., 41., 121. másodpercben)



MISKOLC, KÖZÉPSZER U. 20. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK



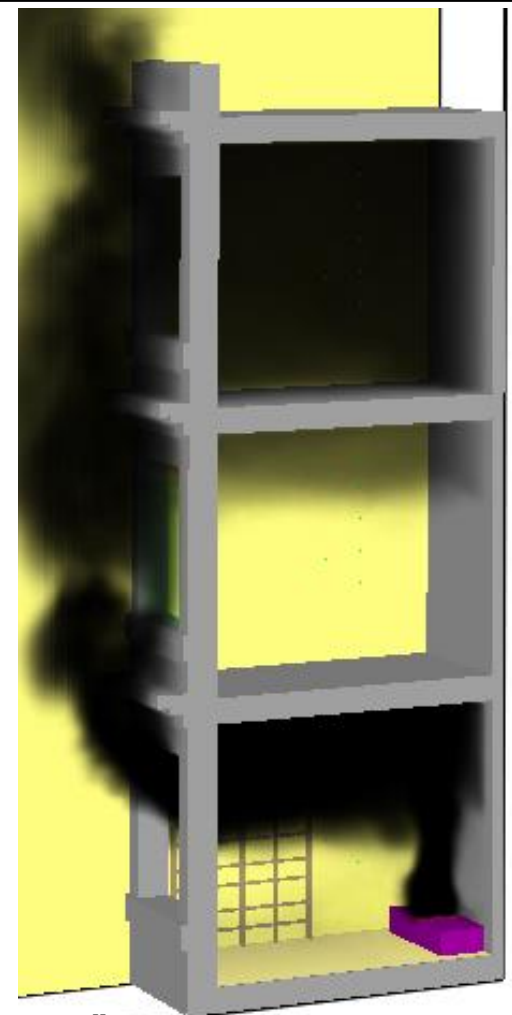
HOMLOKZAT TAGOLTSÁGÁNAK HATÁSA A HOMLOKZATI FÜSTTERJEDÉSRE



Tagolatlan homlokzat

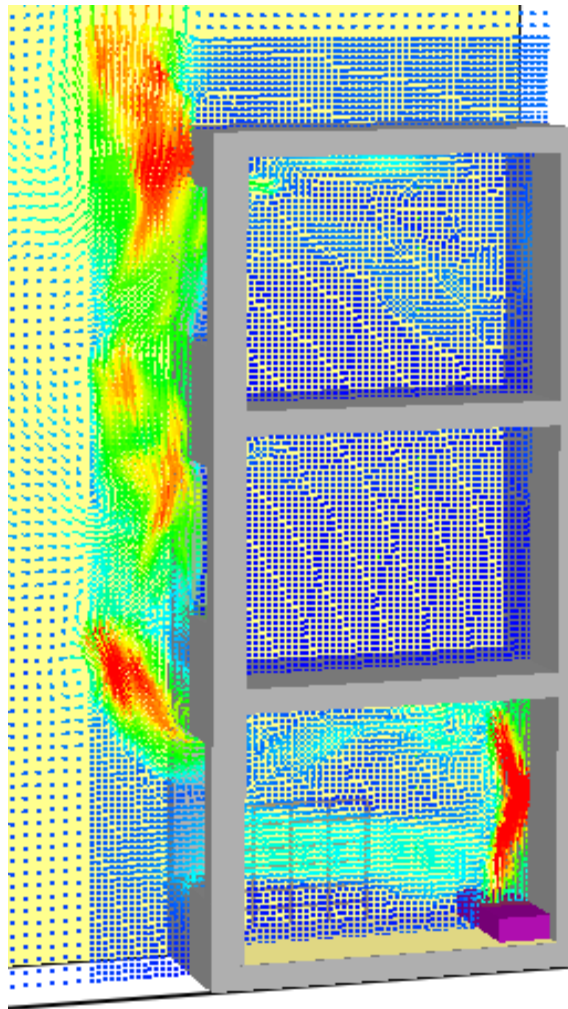


Enyhén tagolt
homlokzat (20cm)

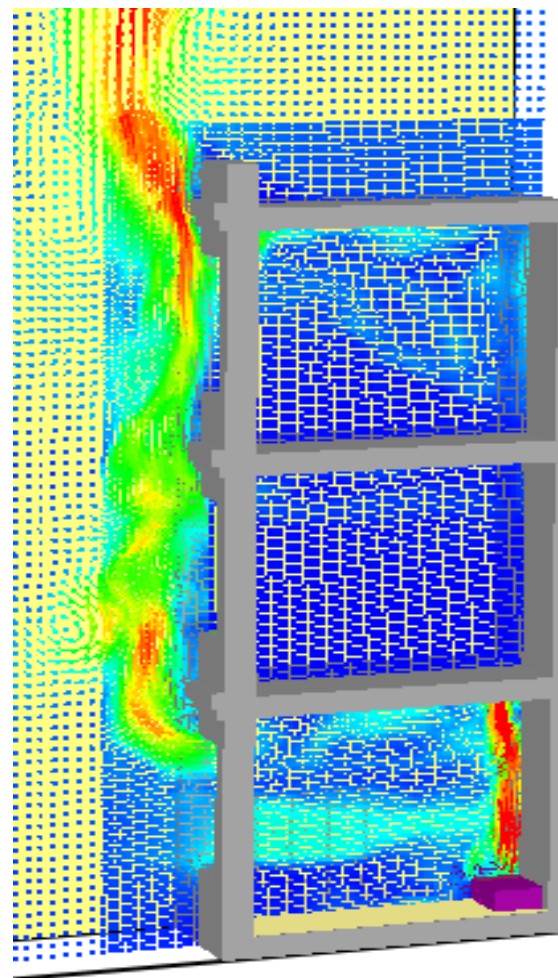


Erősen tagolt
homlokzat (50cm)

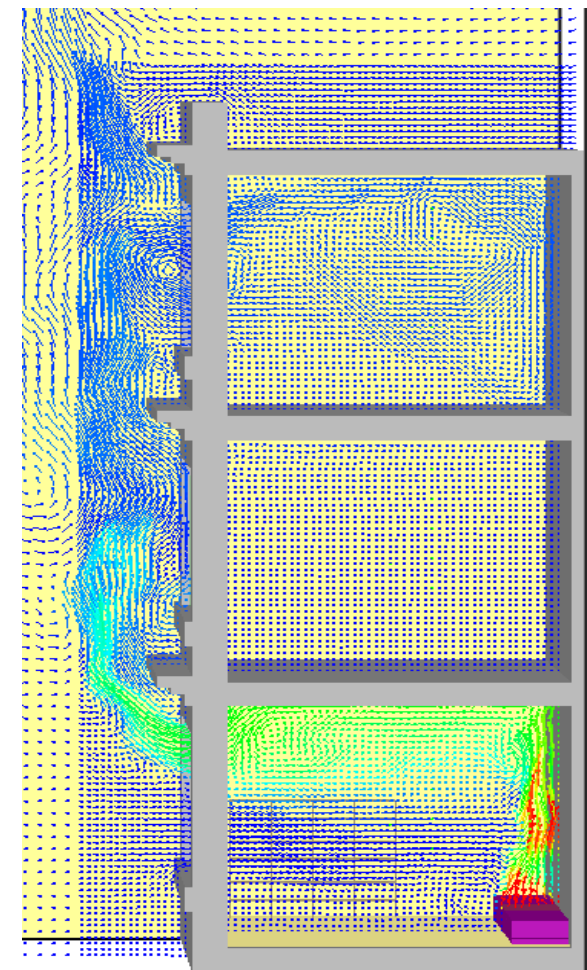
HOMLOKZAT TAGOLTSÁGÁNAK HATÁSA A HOMLOKZATI FÜSTTERJEDÉSRE



Tagolatlan homlokzat

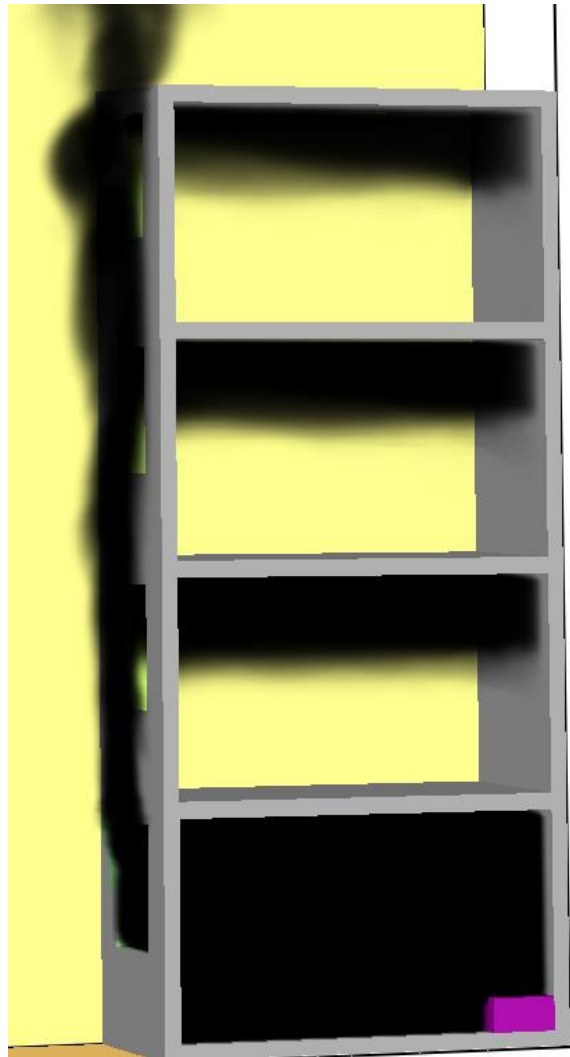


Enyhén tagolt
homlokzat (20cm)

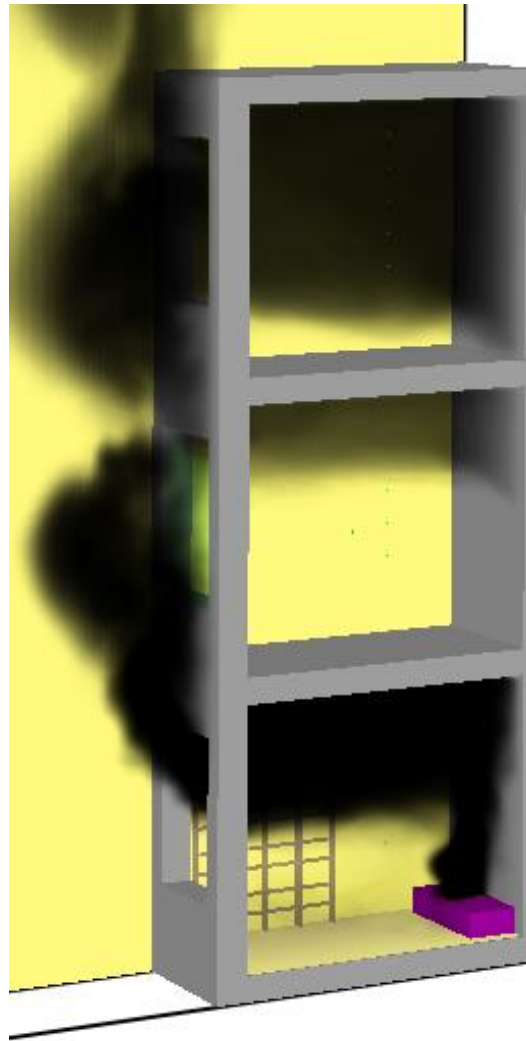


Erősen tagolt
homlokzat (50cm)

HOMLOKZAT TAGOLTSÁGÁNAK HATÁSA A HOMLOKZATI FÜSTTERJEDÉSRE



iparosított, tagolatlan

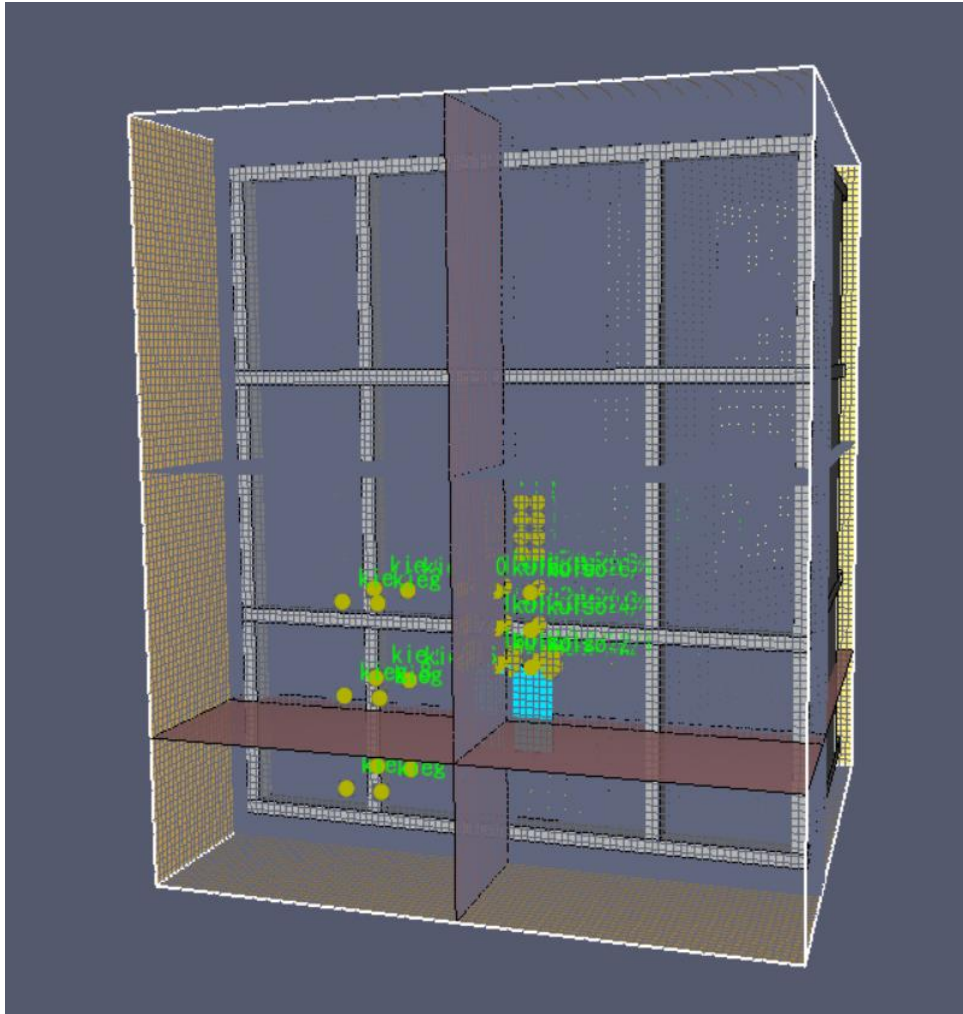


hagyományos, tagolatlan

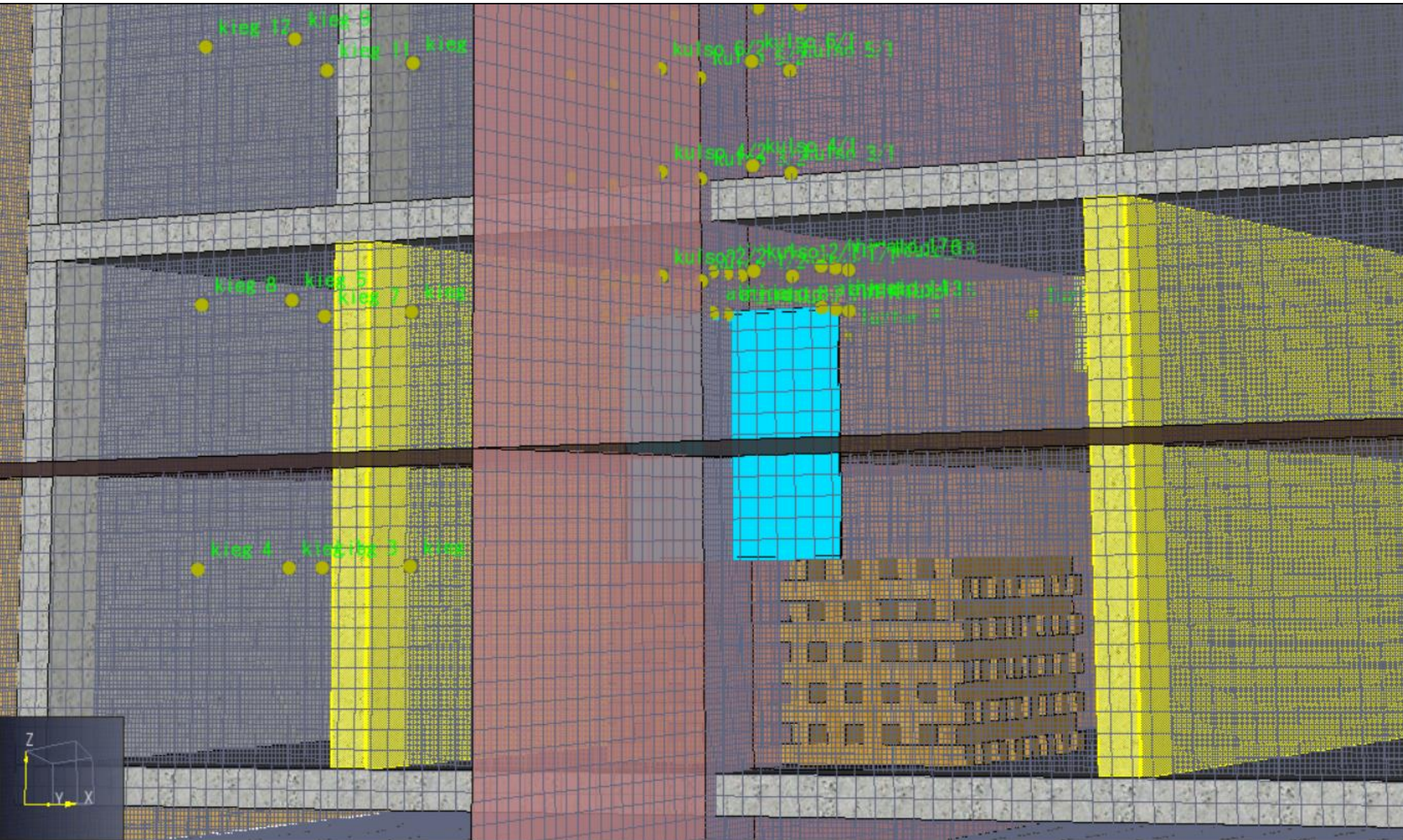


erősen tagolt

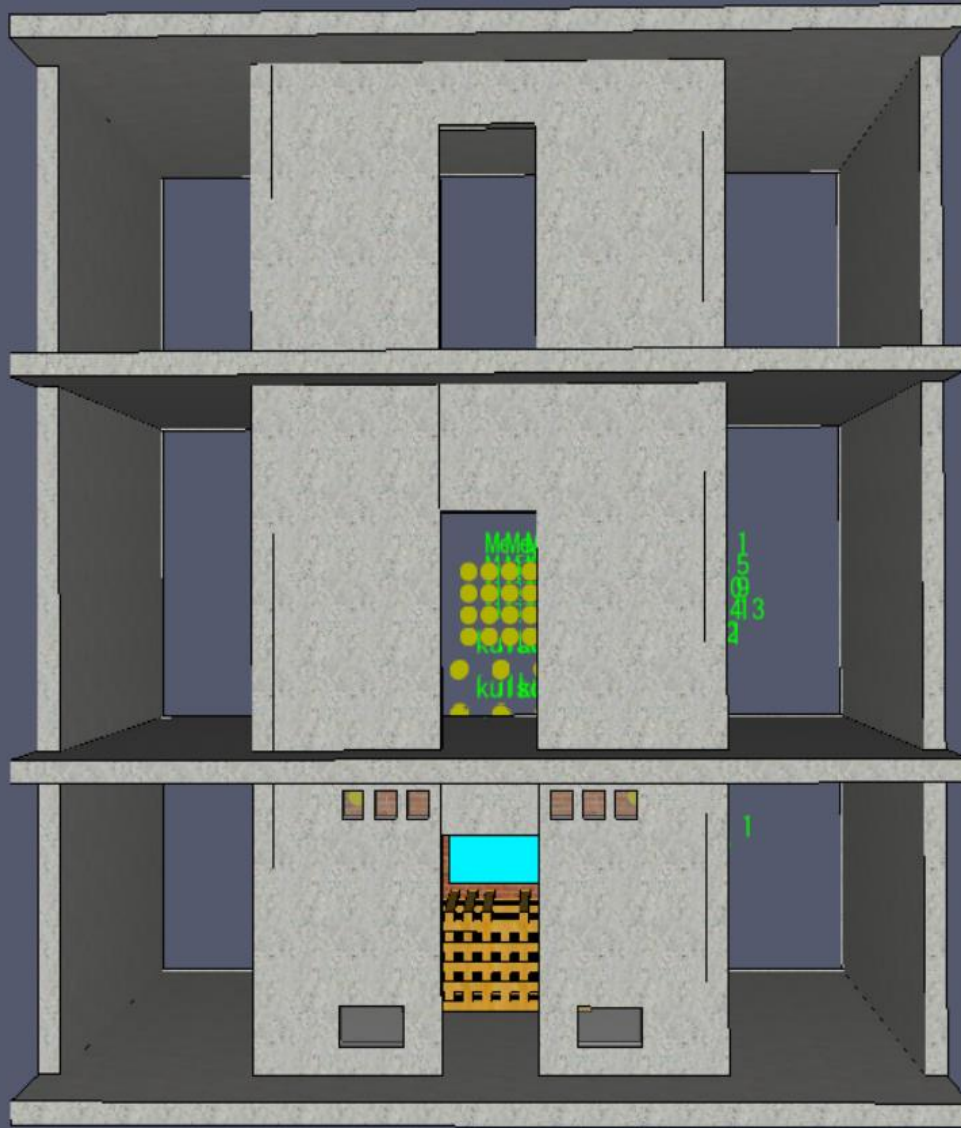
HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉSI HATÁRÉRTÉK VIZSGÁLATA CFD KÖRNYEZETBEN



HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉSI HATÁRÉRTÉK VIZSGÁLATA CFD KÖRNYEZETBEN



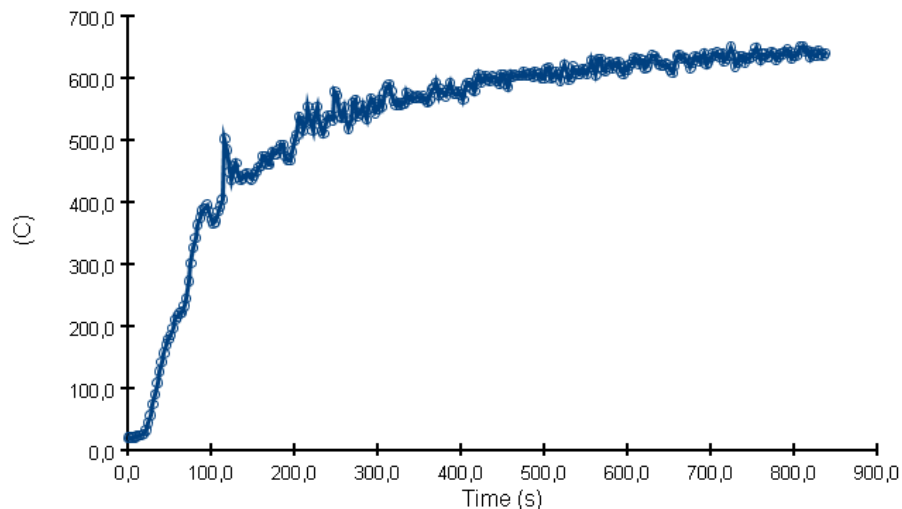
HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉSI HATÁRÉRTÉK VIZSGÁLATA CFD KÖRNYEZETBEN



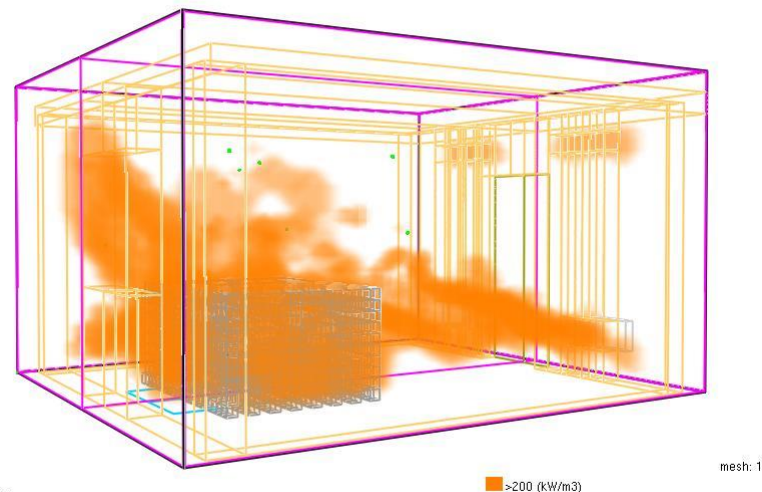
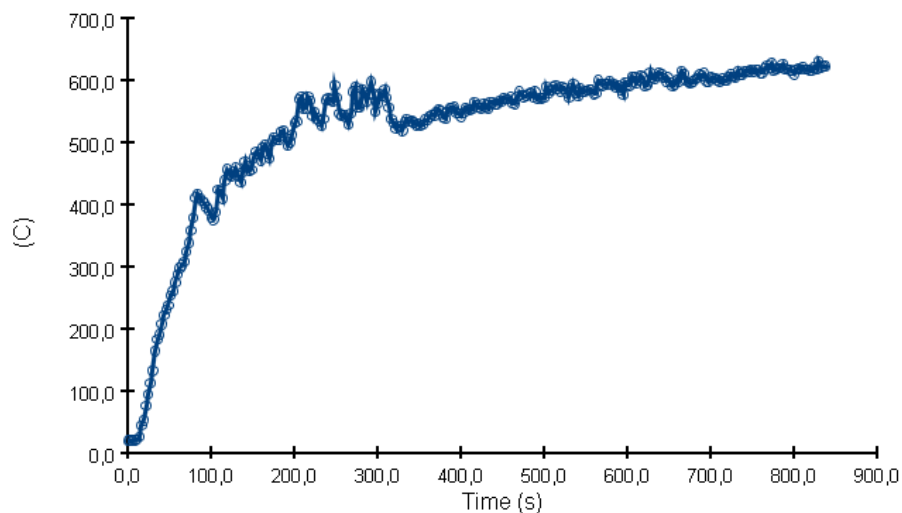
HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉSI HATÁRÉRTÉK VIZSGÁLATA CFD KÖRNYEZETBEN

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010

Tuzter 1

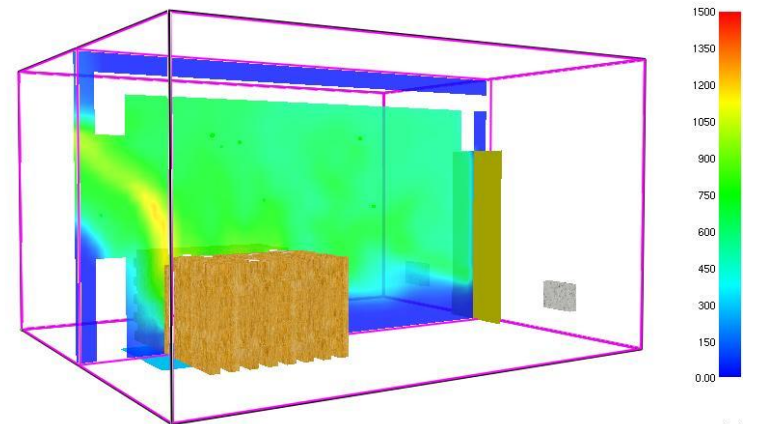


Tuzter 2



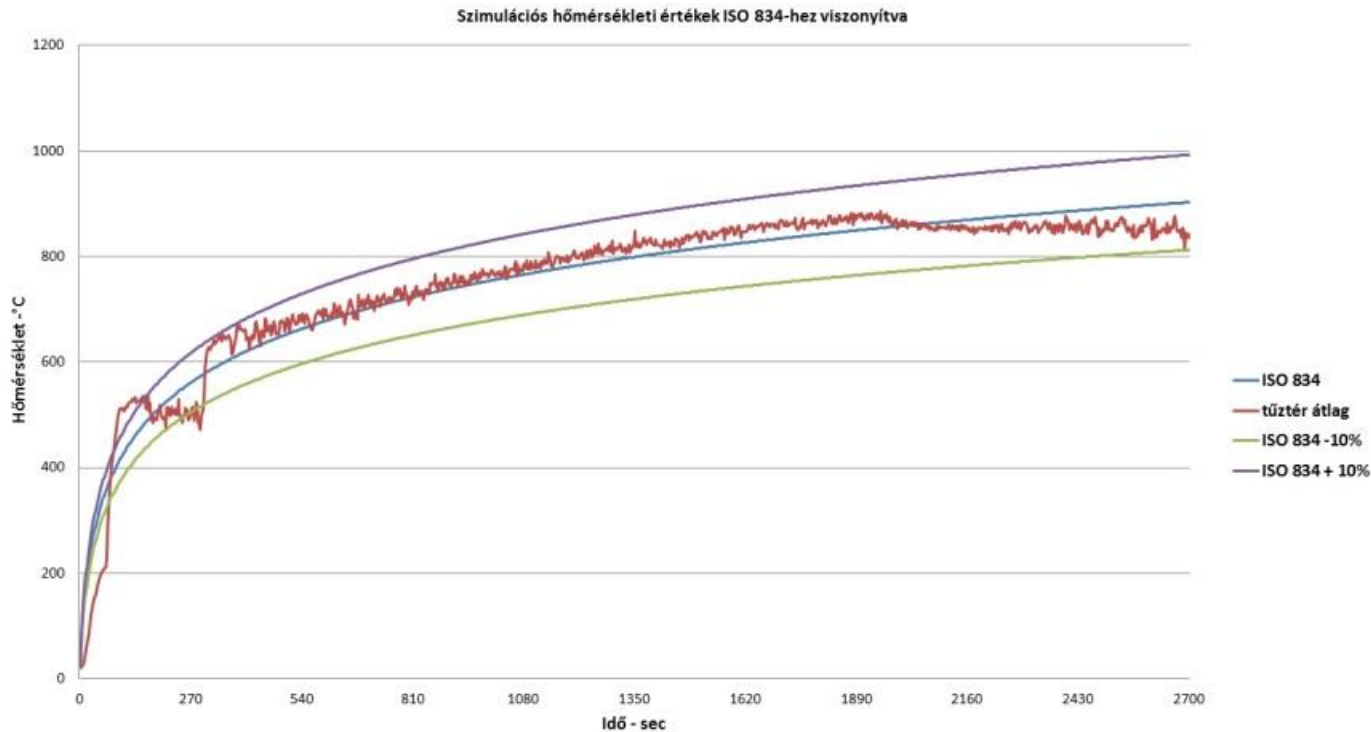
Frame: 112
Time: 302.4

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010



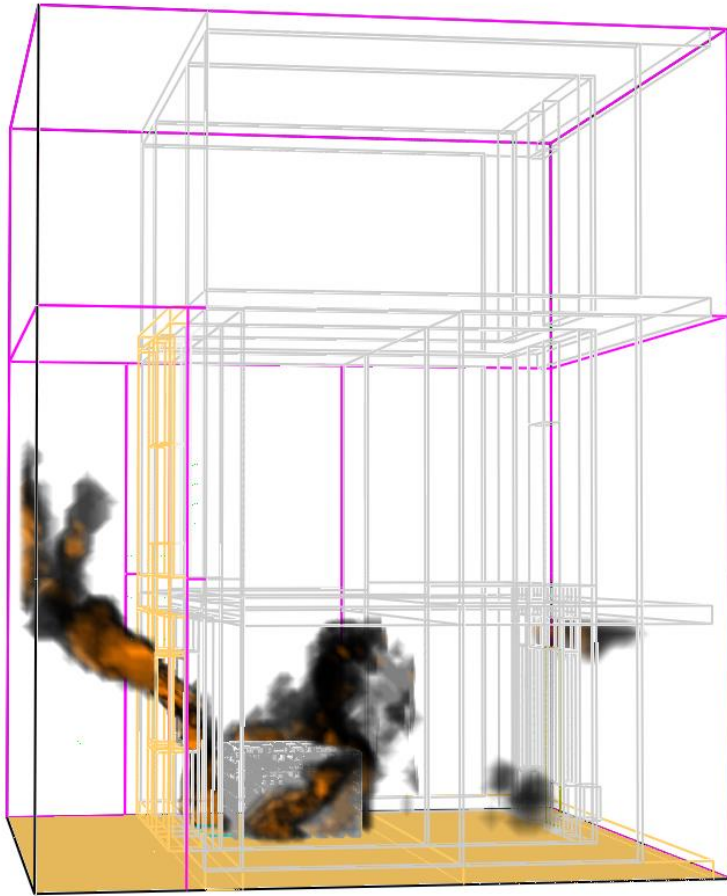
Frame: 112
Time: 302.4

HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉSI HATÁRÉRTÉK VIZSGÁLATA CFD KÖRNYEZETBEN



$$\Theta_g = 20 + 345 \times \log_{10} (8 t + 1) \text{ [K]}$$

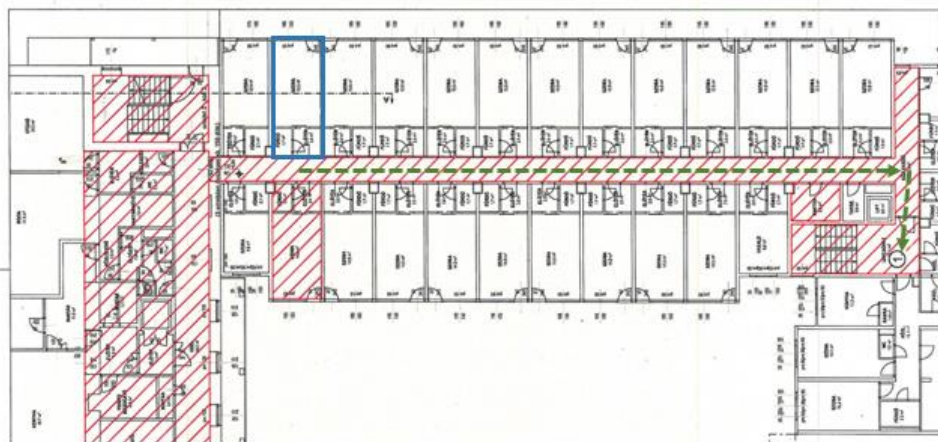
HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉSI HATÁRÉRTÉK VIZSGÁLATA CFD KÖRNYEZETBEN



DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TÚZESET



DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET

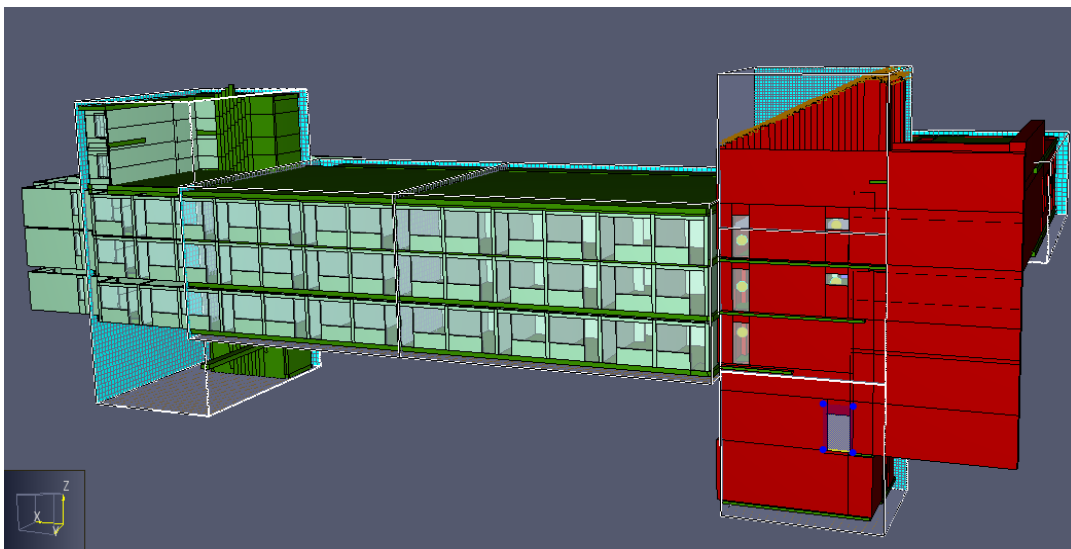


A lépcsőházi ajtók kitámasztott állapotban voltak

A lépcsőházi ajtójka az MSZ 595/6:1980 már előírta az L4 követelményt (10 Pa nyomás-különbségnél $13,82 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 200 Pa esetén $80 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)

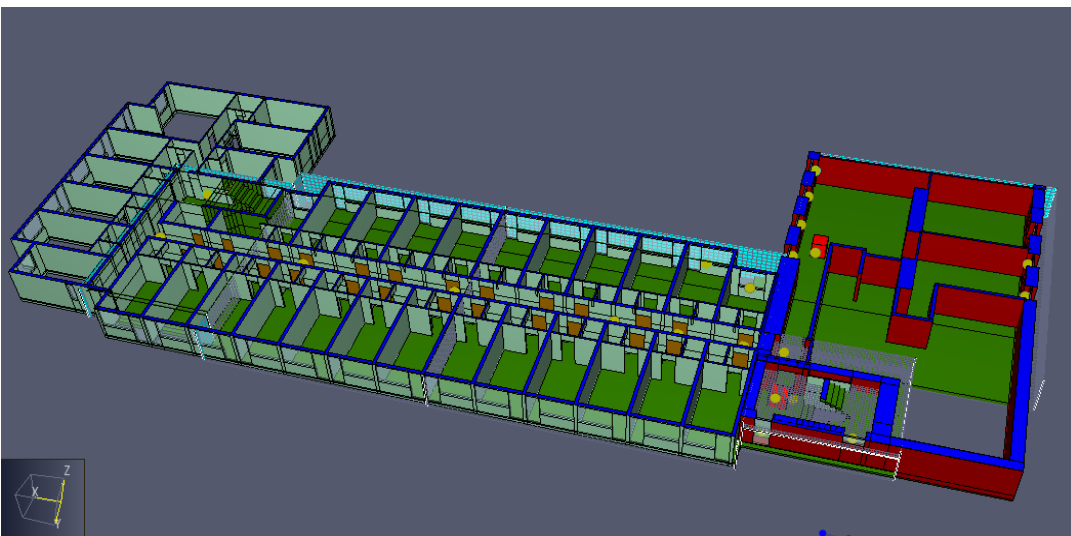
Nagymennyiségű éghető anyagot tároltak a lépcsőházban

DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET



Modellezési lehetőségek:

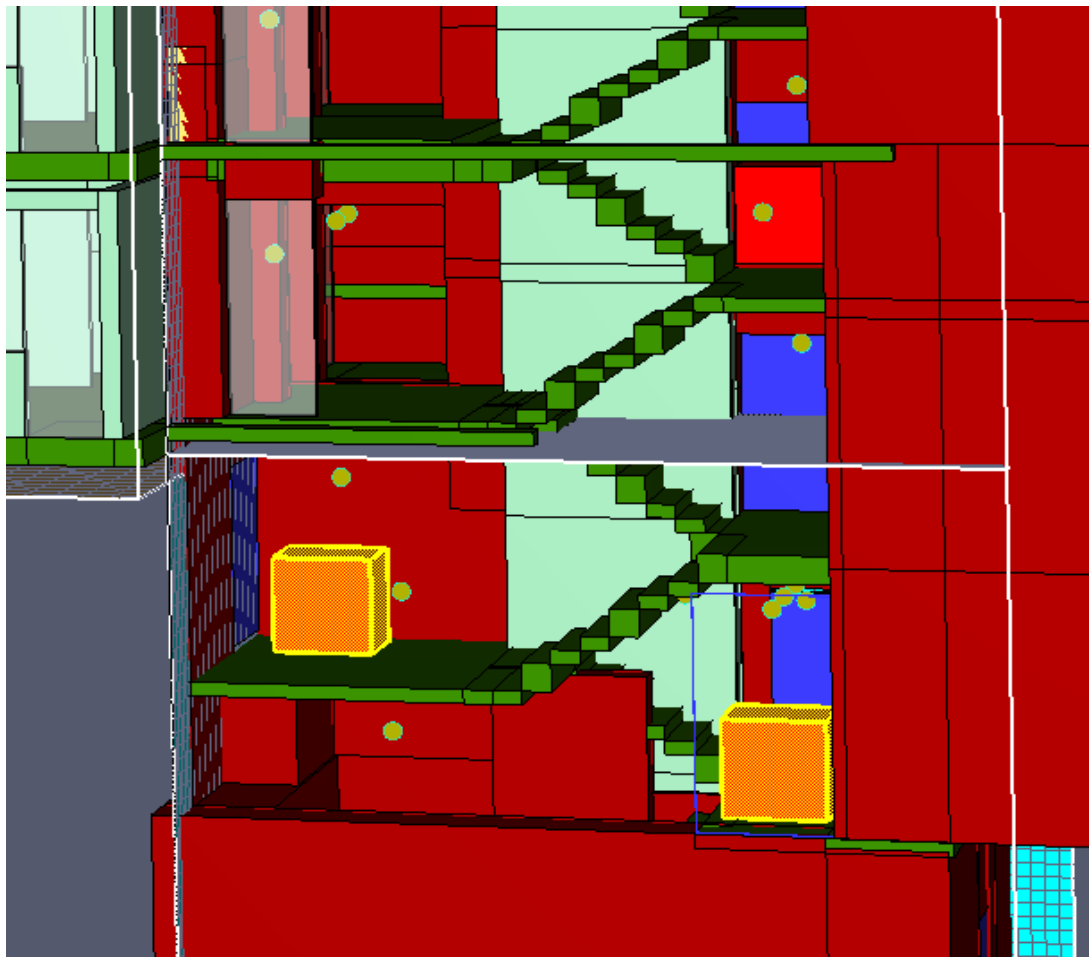
- Éghető anyagok és gyújtóforrás definiálásával, terjedő tűz
- Előre definiált tűzfészek alkalmazásával



DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET

Modellezési lehetőségek:

- Éghető anyagok és gyújtóforrás definiálásával, terjedő tűz
- Előre definiált tűzfészek alkalmazásával



VIZSGÁLATI KRITÉRIUMOK

A Számítógépes tűz- és füstterjedési, valamint kiürítési szimuláció - Tűzvédelmi műszaki irányelv által meghatározott követelmények az alábbiak:

- A kiürítési szintidőn belül a menekülés teljes útvonalán a látótávolság nem süllyedhet 15 m alá (15 méteres vizsgálat esetén a toxikus gázok vizsgálata elhagyható).
- A menekülés során a személyeket 60 C° -nál nagyobb hőmérséklet nem éri.
- A menekülés során a személyeket 2,5 kW/m² -nél nagyobb sugárzásos hőáram sűrűség nem érheti.

Slice
VIS_Soot
m

30.5

27.5

24.5

21.5

18.5

15.0

12.5

9.50

6.50

3.50

0.50



VIZSGÁLATI KRITÉRIUMOK

A CFPA-E No 19:2009 (Fire Safety Engineering Concerning Evacuation From Buildings [7]) irányelv szerint a megengedett kitétek a kitéti idő függvényében az alábbiak:

Sugárzó hőhatás:	Konvekciós hő	< 60 °C	> 30 perc	
< 2,5 kW/m ²	> 5 perc	100 °C	<10 % H ₂ O	8 perc
2,5 kW/m ²	0,5 perc	110 °C	<10 % H ₂ O	6 perc
10 kW/m ²	4 másodperc	120 °C	<10 % H ₂ O	4 perc
		130 °C	<10 % H ₂ O	3 perc
		150 °C	<10 % H ₂ O	2 perc
		180 °C	<10 % H ₂ O	1 perc

Különböző, tűz során keletkező toxikus gázok azonnali életveszélyt okozó koncentrációi (ún. I.D.H.L. - Immediate Dangerous to Life and Health - értékek):

CO (szénmonoxid)	1200 ppm
CO ₂ (széndioxid)	40000 ppm
HCN (hidrogén cianid)	50 ppm
NH ₃ Ammónia	300 ppm
HCl (hidrogén-klorid)	50 ppm

Slice
VIS_Soot
m

30.5

27.5

24.5

21.5

18.5

15.0

12.5

9.50

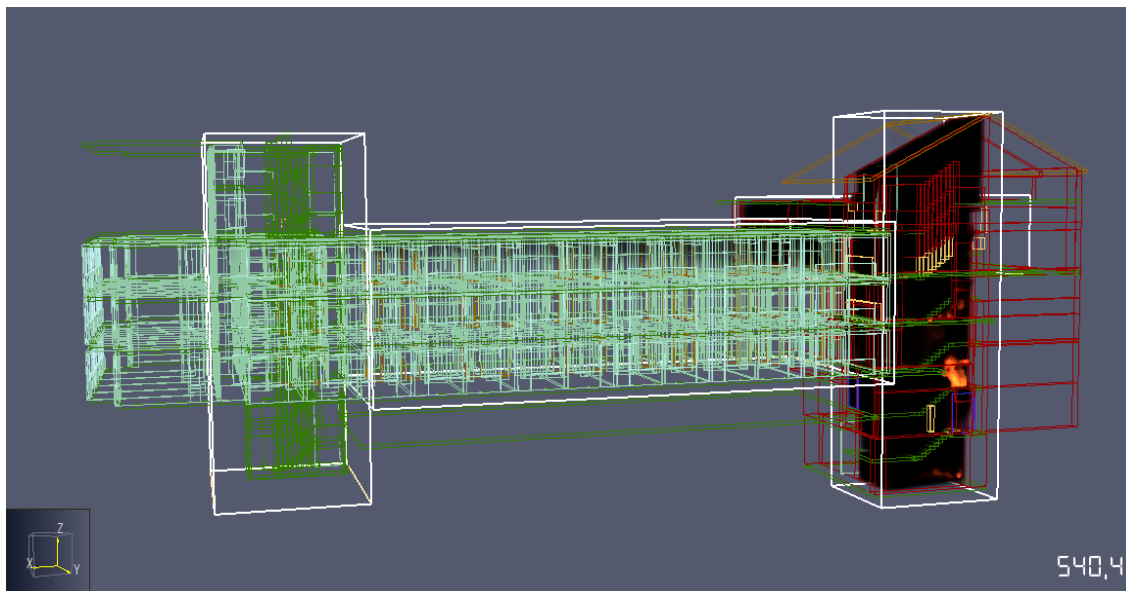
6.50

3.50

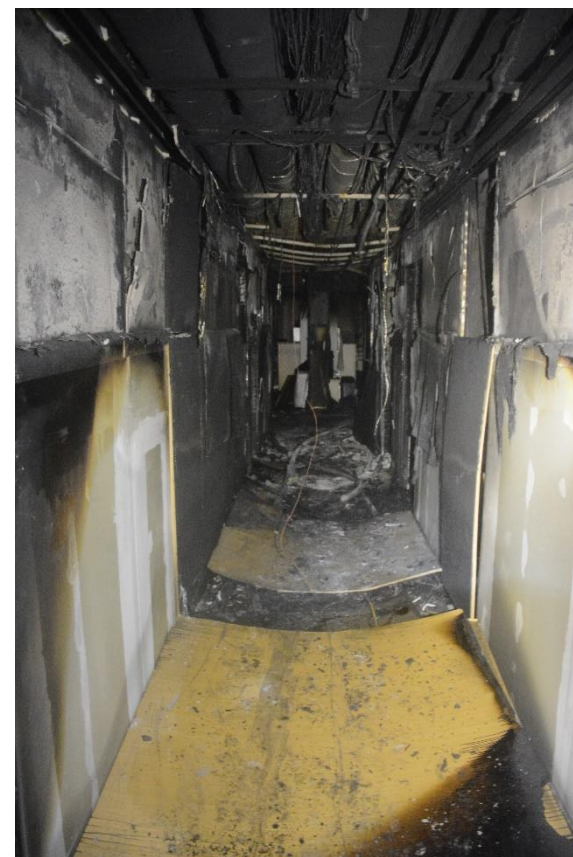
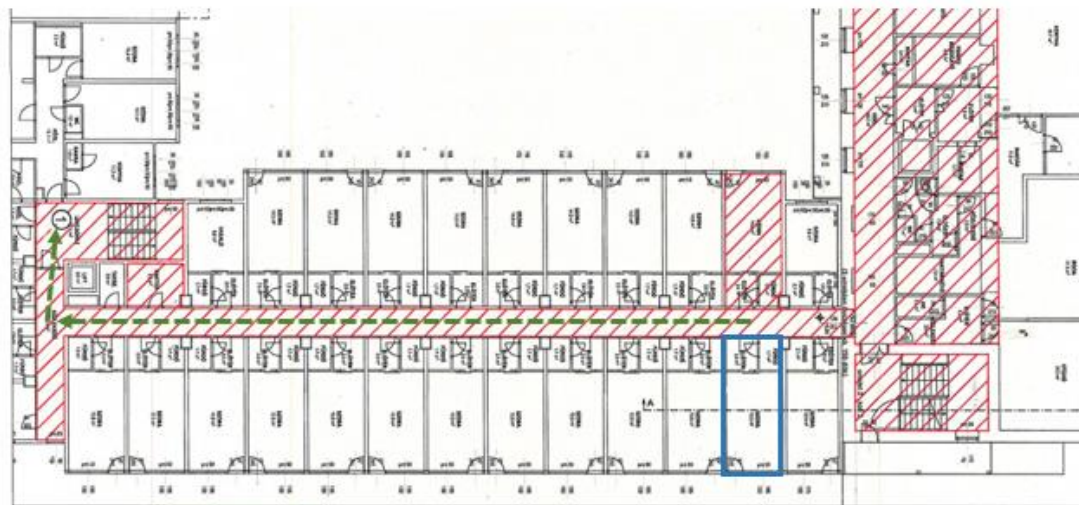
0.50



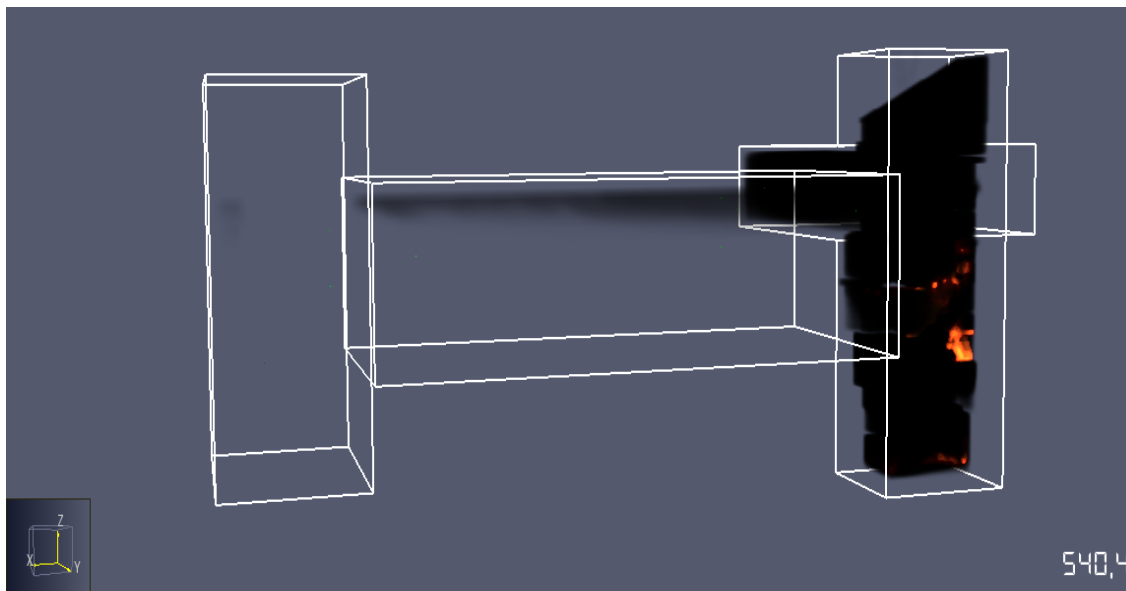
DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET



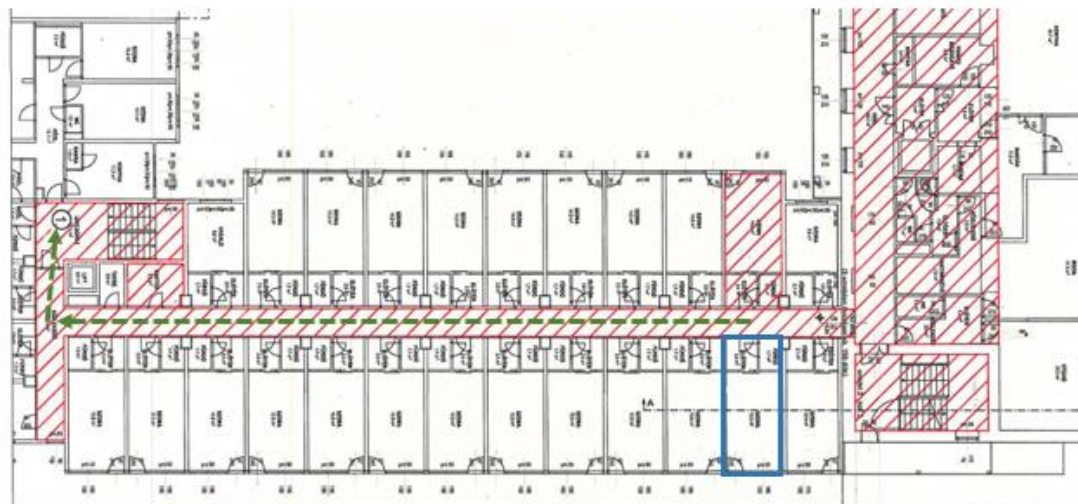
Füstterjedés a lépcsőházból a folyosók felé



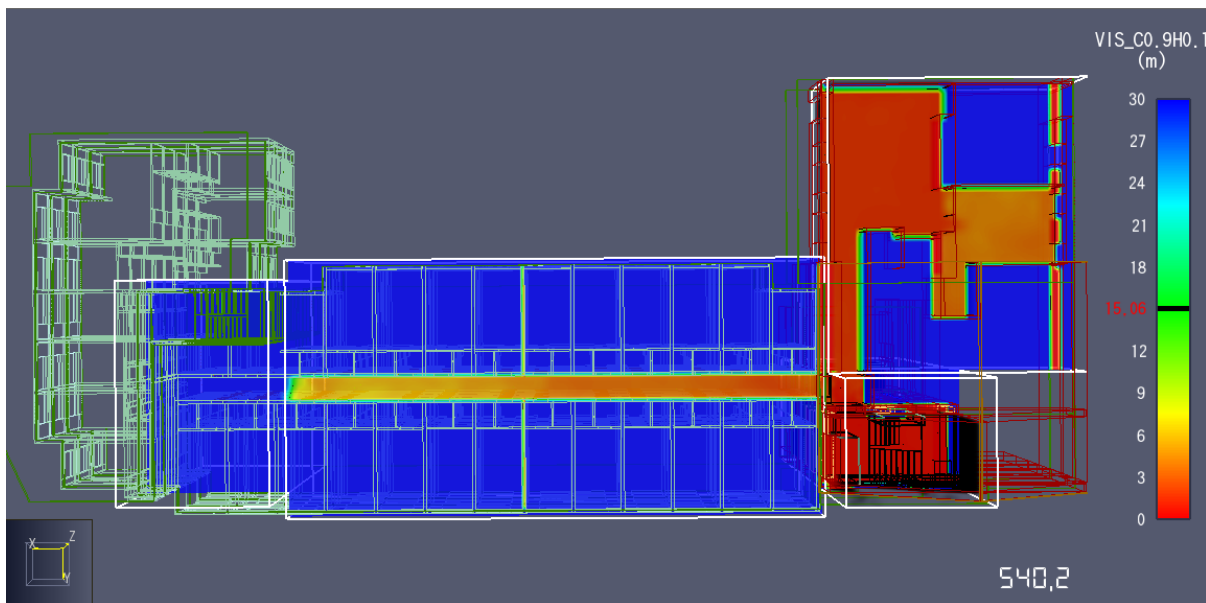
DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET



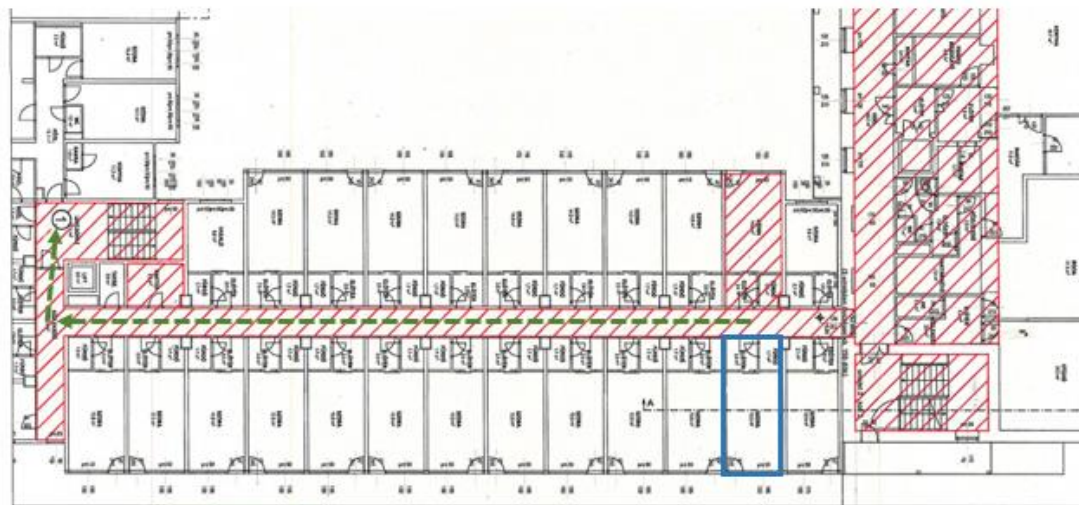
Füstterjedés a lépcsőházból a folyosók felé



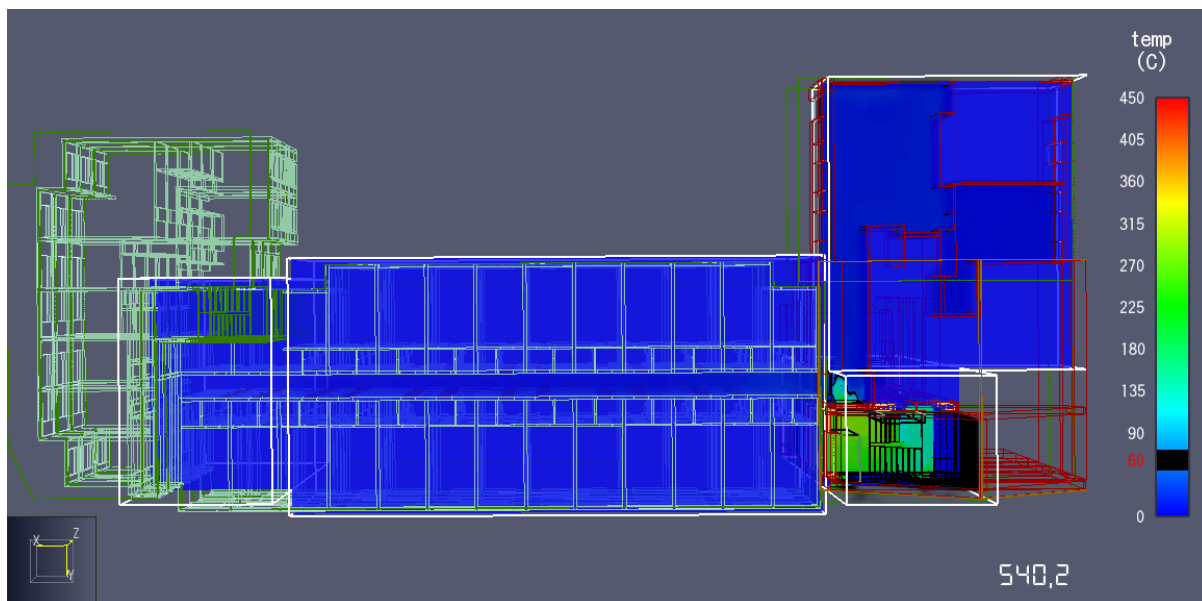
DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET



Látótávolság a III. emeleti folyosó padló szintje fölött 2 méterrel - a tűzkeletkezést követő 540 s elteltével a menekülés a látótávolság alapján már lehetetlen



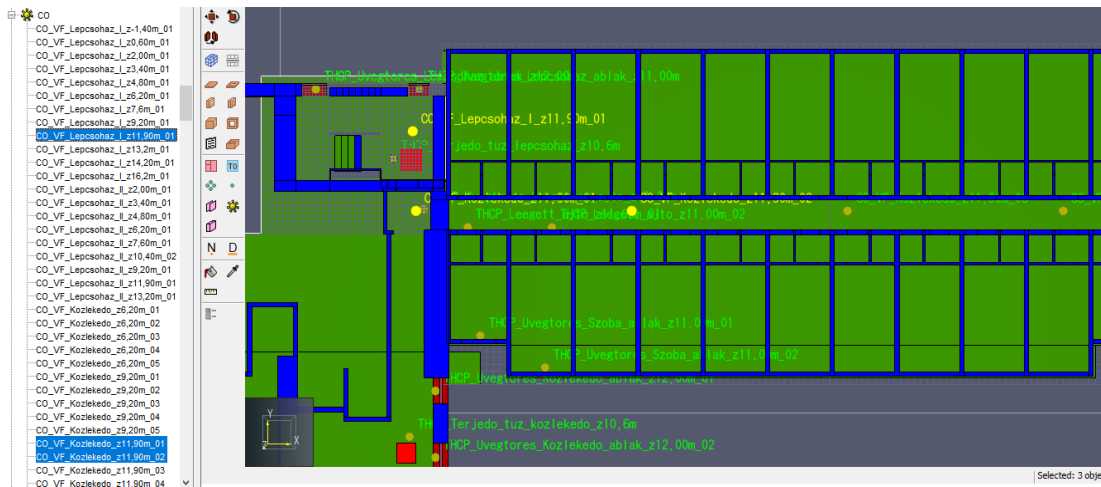
DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET



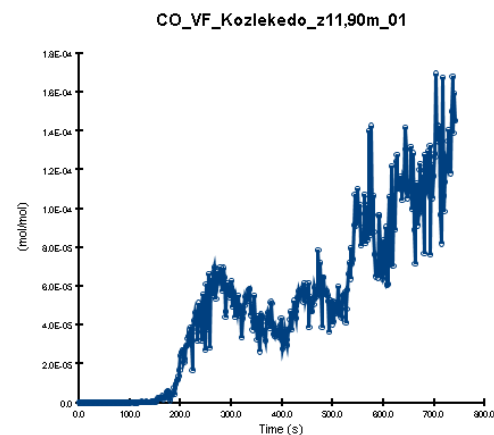
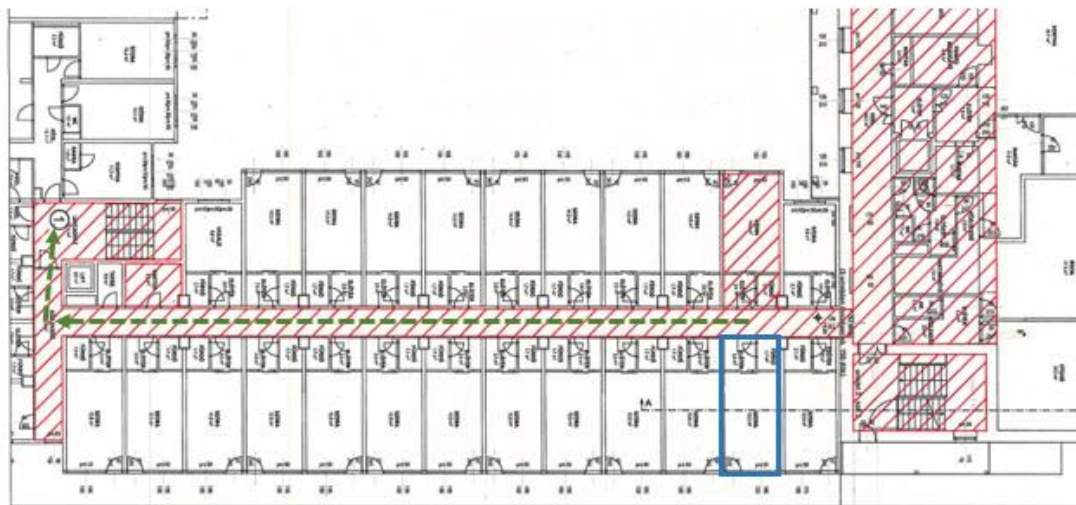
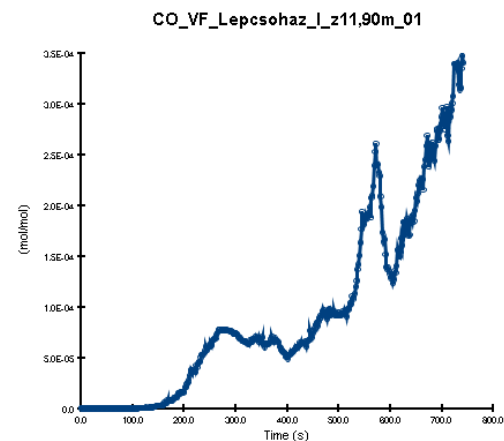
Hőmérsékletmező a III. emeleti folyosó padlószintje fölött 2 méterrel – a hőmérséklet nem éri el a 60 °C-t



DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET



CO koncentráció



DMRK - BUDAPEST, IX. RÁDAY U. 28. TŰZESET - KONKLÚZIÓ

A vizsgálatok jelenlegi fázisában is kijelenthető:

- A gyújtogatás mellett súlyos használati hiányosságokkal üzemeltették az épületet (nyitott lépcsőházi ajtók, éghető anyagok tárolása a füstmentes lépcsőházakban)
- A létesítési előírások alapján a lépcsőházi ajtók még az L4 légzáróság előírásait sem teljesítették, füstmentességet biztosító megoldás nem volt a lépcsőházakban

A tragédiát a létesítési és a használati hiányosságok együttesen okozták

Javaslat: a kiemelten veszélyeztetett középületeket (kórházak, kollégiumok, iskolák) tűzvédelmi tervező vagy szakértő bevonásával felül kell vizsgálni és a feltárt használati és létesítési hiányosságokat meg kell szüntetni
Az átalakítás körébe és mértéke, vagy a létesítéskor megfelelt elve mögé ne lehessen bújni!



FORRÁSOK, SZAKIRODALOM

- Ronald G. Rehm, William M. Pitts, Howard R. Baum, David D. Evans, Kuldeep Prasad, Kevin B. McGrattan, Glenn P. Forney: **Initial Model for Fires in the World Trade Center Towers**. Building and Fire Research Laboratory, NIST, Maryland
- Szilágyi Csaba tűzvédelmi mérnök, Szolnok MVJÖ Hivatásos Tűzoltóság: **Tűzvizsgálat számítástechnikai támogatással** tanulmány, Védelem 2007/6 száma
- Szikra, Cs.: Mérnöki módszerek alkalmazása a hő- és füstelvezetésben, EPKO 2013
- Heskestad, G., "Fire Plumes," SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995.
- ISO/TR 13387:1999, Fire Safety Engineering.
- ISO 16730, Fire Safety Engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods.
- ISO/TS 16733 Fire Safety Engineering - Selection of design fire scenarios and design fires
- ISO 23932 Fire Safety Engineering – General principals.
- ISO/DIS 16732 Fire Safety Engineering – Guidance on fire risk assessment (DIS: Draft International Standard)
- Fire Dynamic Simulation (Version 6) User's Guide. NIST Special Publication 1019-5
- PyroSim Example Guide. Thunderhead Engineering, 2016.