

TŰZ- ÉS FÜSTTERJEDÉSI, VALAMINT KIÜRÍTÉSI SZIMULÁCIÓK EGYÜTTES ALKALMAZÁSA

1. TŰZ- ÉS FÜSTTERJEDÉSI, VALAMINT KIÜRÍTÉSI SZIMULÁCIÓK CÉLJAI

A nemzetközi kutatásokban, majd gyakorlatban 1998-tól, a hazai gyakorlatban pedig 2009-2010 körül jelent meg és azóta is egyre nagyobb mértékben terjed a numerikus tűz- és füstterjedési szimulációk alkalmazása. Segítségükkel tervezési fázisban pontosabban vizsgálható az épületek tűzeseti viselkedése, különös tekintettel a hő- és füstterjedésre, illetve a hő- és füstelvezetés hatékonyságára. A konkrét célok között a legfontosabb az emberi élet védelme, így a kiürítés biztonsága, amelyet legnagyobb mértékben az épületen belüli füstterjedés befolyásol hátrányosan. Cikkünk tárgya a menekülési feltételek jelenleg alkalmazott szimulációs igazolási módszereinek összehasonlítása: részben a tűz- és füstterjedési szimulációkkal meghatározott füstterjedés segítségével, részben a kiürítésre szükséges időtartam illetve ezek együttes időbeni alakulásának vizsgálatával.

A mérnöki gyakorlatban jellemző tűz- és füstterjedési szimulációs célok tehát az alábbiak:

- hagyományos méretezési módszerrel meg nem tervezhető épületek vagy terek hő- és füstelvezetésének tervezése, hatékonyságának vizsgálata,
- hő- és füstelvezetés hatékonyságának vizsgálata és optimalizálása,
- az aktív tűzvédelmi berendezések (beépített tűzjelző rendszer, beépített oltóberendezés és hő- és füstelvezetés) együttes működésének integrált vizsgálata,
- az épület belső tereinek vizsgálata, hatásuk a füstterjedésre, a hő- és füstelvezetés hatékonyságának vizsgálata az építészeti terek függvényében,
- kiürítési szintidő növelése, annak meghatározása, mennyi ideig alkalmas egy adott tér biztonságos menekülésre (ASET, Available Safe Egress Time), különös tekintettel a kiürítést megelőző időszak eseményeire (tűzjelzés, riasztás, kiürítés előtti időtartam).

A tűz- és füstterjedési szimulációk terjedésével párhuzamosan kezdődött a kiürítési szimulációk alkalmazása is. Itt a fő célok az alábbiak:

- hagyományos számítással nem vagy nehezen, esetleg pontatlanul méretezhető kiürítés tervezése, a menekülési

si idő pontos meghatározása (RSET), torlódások hatásának vizsgálata (egyes szintek, lépcsőházak esetében),

- a használók összetételének (kor, egészségi állapot stb.) és a kialakított kiürítési stratégiának megfelelő valóságos, pontosabb vizsgálat a kiürítési teljes folyamatában,
- menekülési felvonók hatékonyságának ellenőrzése, biztonságos terek és átmeneti védett terek befogadóképességének igazolása.

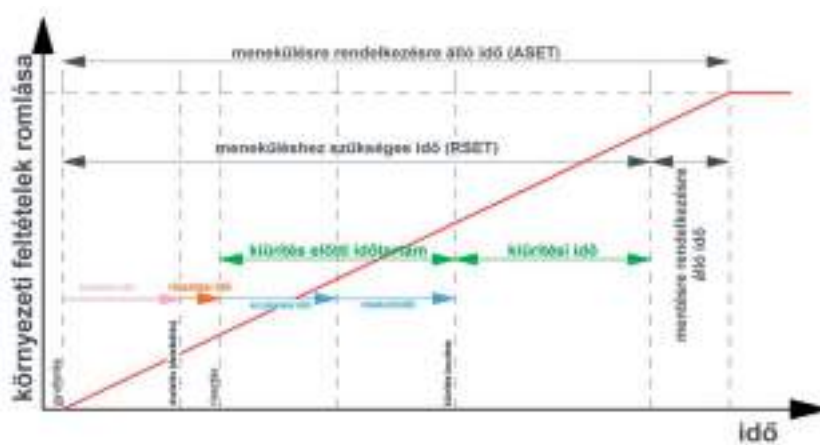
Lehetőség van a tűz- és füstterjedési és a kiürítési szimuláció szoftverrel történő bemutatására, illetve a két szimuláció eredményeinek összemérésére is, amely tapasztalataink szerint a legpontosabb információt biztosítja a kiürítés biztonságáról. Cikkünkben a ma használatos szimulációs módszerek kiértékelési lehetőségeinek összehasonlítását végezzük el egy konkrét projekt vizsgálati eredményei segítségével.

2. TŰZMODELLEZÉS CFD KÖRNYEZETBEN

A tűzvédelemben alkalmazott CFD modellek általában kis sebességű turbulens és lamináris áramlások kezelésére alkalmasak, tehát alapvetően áramlási modellek [1]. A leggyakrabban alkalmazott szoftver a NIST által fejlesztett Fire Dynamic Simulator, az FDS [2]. Napjainkra a szoftverek alkalmassá váltak épületek komplex modellezésére, az alábbi jellemzőkkel, sajátosságokkal:

- Az épületek háromdimenziós modellként ábrázolhatók a térben. FDS modellterben az épületek ábrázolását leggyakrabban PyroSim szoftver segítségével végezhetjük el, vagy akár importálhatunk is 3D DWG formátumot [3]. Az épületszerkezetek, illetve egyes rétegeik, komponenseik a szokásos CAD szoftvektől eltérően nem felületi megjelenésük, hanem hőtani jellemzőik (sűrűség, hővezetési tényező és annak hőmérsékletfüggő alakulása, fajhő) alapján modellezhetők, mert ezek befolyásolják a belső térben kialakuló hőmérsékleti és áramlási viszonyokat, továbbá a saját felmelegedésüket is.

- Az épületben bekövetkező tüzek leírhatók valós léptékű tűzteszt során meghatározott hőfejlesztési görbével (kW/m^2 , MW/m^2), megadható a tűz teljesítményének időbeni alakulása, de az éghető épületszerkezetek, illetve az épületekben tárolt éghető anyagok tűztechni-



1. ábra. A meneküléshez szükséges idő és a menekülésre rendelkezésre álló idő összefüggései. Forrás: BM OKF, Kiűrtés c. irányelv [6]

kai tulajdonságainak megadása mellett egy adott gyújtóforrás esetén a tűz terjedése, illetve teljesítményének időbeni alakulása is modellezhető. A modellezésnél leggyakrabban valós léptékű tűzteszt eredményeit alkalmazzuk, amelyeket mérnöki kézikönyvek, publikációk tartalmaznak [4] [5].

- Az automatikus tűzjelző rendszerek érzékelői a modellterbe helyezhetők, az érzékelési idejük vizsgálható.

- A beépített oltóberendezések (vízzel vagy vízköddel oltók) fejei a modellekben rendkívül pontosan parametrizálhatók: a nyomás, a vízhozam, a kioldási hőmérséklet mellett a kioldási érzékenység, a cseppek eloszlása, szemmagysága egyaránt megadható.

- A gravitációs vagy gépi hő- és füstelvezetés, illetve légpótlás egyaránt megadható, amely befolyásolhatja az épületen belüli füstterjedést, a toxikus égéstermékek koncentrációját, illetve a láthatósági viszonyokat is. Ezen eszközök működése vezérelhető is a modellben, az automatikus tűzjelző rendszer érzékelőiről, hasonlóan a valós tűzjelző rendszerek vezérlési mátrixához [6].

3. KIÜRÍTÉSRE ALKALMAS IDŐ MEGÁLLAPÍTÁSA CFD MODELLEZÉSSEL

A kiürítési szintidő növelésénél mindig a tűz- és füstterjedési szimulációból indulunk ki. Ameddig a tartózkodási zónát nem éri el a füst (járófelület fölötti 2 m magasság) addig biztonságos a menekülés. Fő cél a menekülésre rendelkezésre álló idő, azaz az ASET (Available Safe Egress Time) meghatározása, amelynek mindig hosszabbnak kell lennie, mint a meneküléshez szükséges időnek. A meneküléshez szükséges idő (RSET, Required Safe Egress Time) tartalmazza a tűzérzékelési időszükségletet, a riasztási időt, a benntartózkodók részéről a riasztás érzékelésének időszükségletét és a reakcióidőt, továbbá a célirányos kiürítés tényleges időszükségletét. (1. ábra)

A meneküléshez szükséges idő ellenőrzésének jelenlegi modellezési gyakorlata az automatikus tűzjelző rendszer érzékelőinek reakcióidejével és a kiürítéshez szükséges időtartamából áll. Az épületben tartózkodók jellem-

ző kiürítés előtti időtartama csak nehezen, kutatási jelentések illetve tűzriadó gyakorlatok alapján modellezhető, különösen olyan épületekben, ahol a benntartózkodók alszanak (pl. szálloda). A kiürítés előtti időtartam meghatározása jelenleg is sok nemzetközi kutatás témája, amelyek igyekeznek egyre pontosabb ajánlásokat tenni, a benntartózkodók, a területi és épített környezeti adottságok és a bővülő tapasztalatok alapján. Ipari, mezőgazdasági vagy tárolási épületekben, ahol a dolgozók tűzvédelmi képzése megoldott, a tűzriasztás érzékelési időszükséglete és a reakcióidő akár elhanyagolható is lehet, ugyanakkor figyelembe kell venni a nehezen megszakítható technológiai folyamatok lezárásához szükséges időtartamot is.

Az ellenőrzés módját hazánkban a tűz- és füstterjedési, valamint kiürítési szimulációkról szóló magyar tűzvédelmi műszaki irányelv [7] tartalmazza. A kiürítési és beavatkozási feltételek vizsgálata érdekében a tartózkodási tér járófelülete felett 2 m ($\pm 5\%$) magasságban vízszintes vizsgálati síkokat kell elhelyezni. A szükséges vizsgálati paraméterek és határértékeik az alábbiak:

- a fényvisszaveró tárgyak feltételezésével értelmezett látótávolság a meneküléshez szükséges időn belül a menekülők által használt útvonalon nem sülyedhet 15 méter alá,
- a menekülőket 60 °C-nál magasabb hőmérséklet nem érheti,
- F.E.D (Fractional Effective Dose) Device pontok elhelyezése a menekülés azon útvonalán, amelyet a menekülő emberek a kiürítési során használnak, a járófelület felett 2 m ($\pm 5\%$) magasságban.

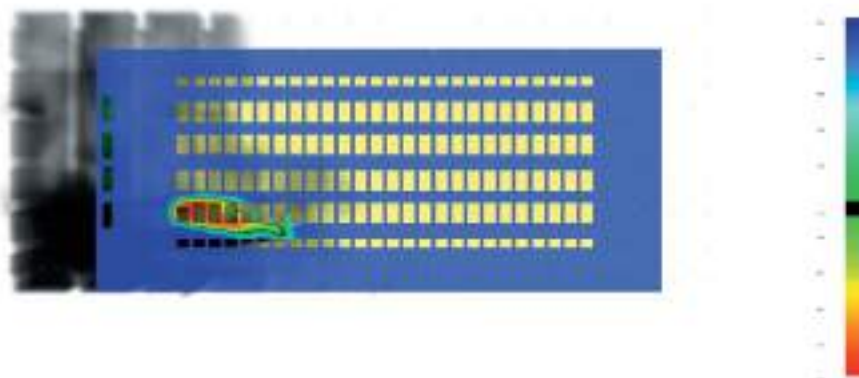
A meneküléshez szükséges idő lehet a tűzjelzéshez szükséges idővel növelt, az OTSZ-ben előírt szintidő vagy egyedi számítással meghatározott és az előírtnál nagyobb időtartam, amely figyelembe veszi a tűzjelzéshez szükséges időt és a kiürítési koncepció során meghatározott esetleges késleltetést is. (2-3. ábra)

Az 1. és a 2. képeken bemutatott, egyszerű vizuális ellenőrzésen alapuló módszerrel a kiürítésre rendelkezésre álló idő nagylégterű, csarnokjellegű helyiségekben, épü-

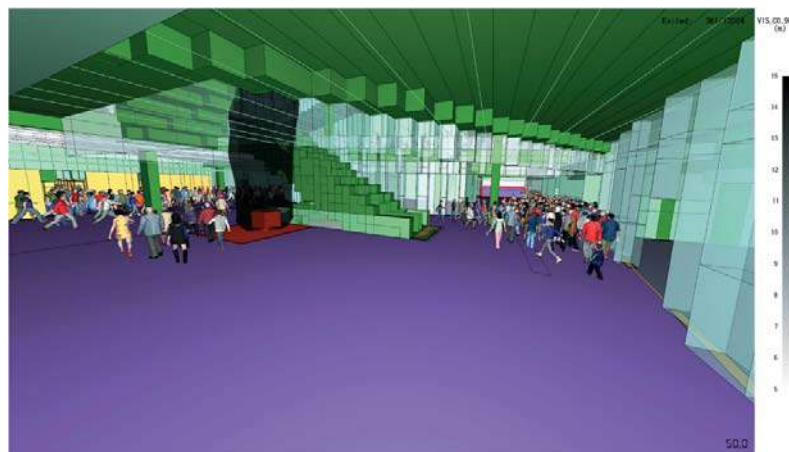
2. ábra. Füstterjedés háromdimenziós vizualizációja raktárcsarnokban, a padlójárófelülete fölé 2 m szinten látható útvonal hosszát mutató vizsgálati síkkal, a tűzérzékeléshez szüksége idő + kiüritési szintidő időpillanatában. A jobb oldali skálán a 15 méter látótávolság van kivastagítva



3. ábra. Az 1 sz. ábrán látható csarnokon belüli látótávolság mérnöki értékeléshez alkalmasabb kétdimenziós nézete, a 2 m magasságban lévő vizsgálati síkkal párhuzamosan, a tűzérzékeléshez szüksége idő + kiüritési szintidő időpillanatában. A látótávolság a tűzcsóva tengelyén kívül mindenütt megfelelő



4. ábra. Összemásolt hő- és füstterjedési szimulációs eredmény, ahol a füstterjedés a menekülési folyamattal pontosabban hasonlítható össze. A kép közepén a piros kocka a tűzfészek



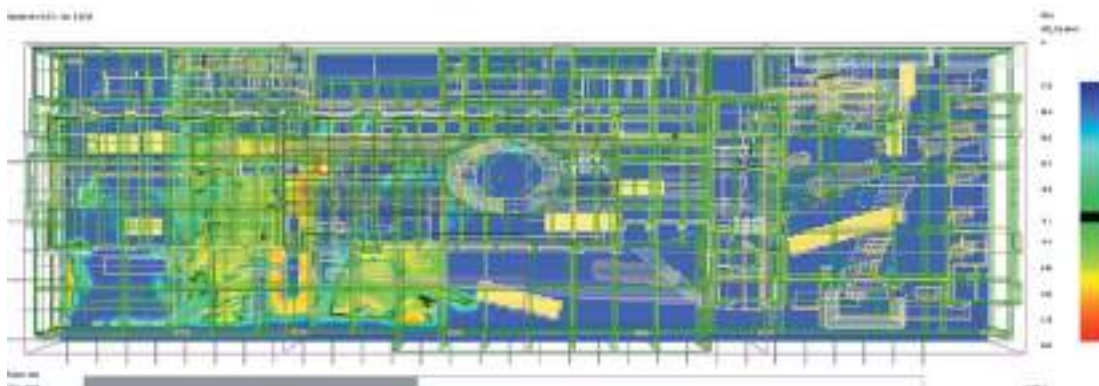
letekben a tűz- és füstterjedési szoftver vizsgálati síkjai-
val könnyen megállapítható, azonban cellás elrendezésű,
alacsonyabb belmagasságú, bonyolult térrendszerű épü-
letek esetén ez a módszer nem alkalmas a megfelelő biz-
tonság igazolására. Ennek kiküszöbölésére az FDS alkalm-
mazása során kétféle megoldás alakult ki:

- egy szoftveren belül tűz- és füstterjedési, valamint kiüritési modul együttes alkalmazása (pl. FDS PyroSim környezetben + FDS EVAC modul vagy EXODUS [9]),
- két külön szoftver eredményeinek összemásolása (pl. FDS+PyroSim és Pathfinder [10, 11]).

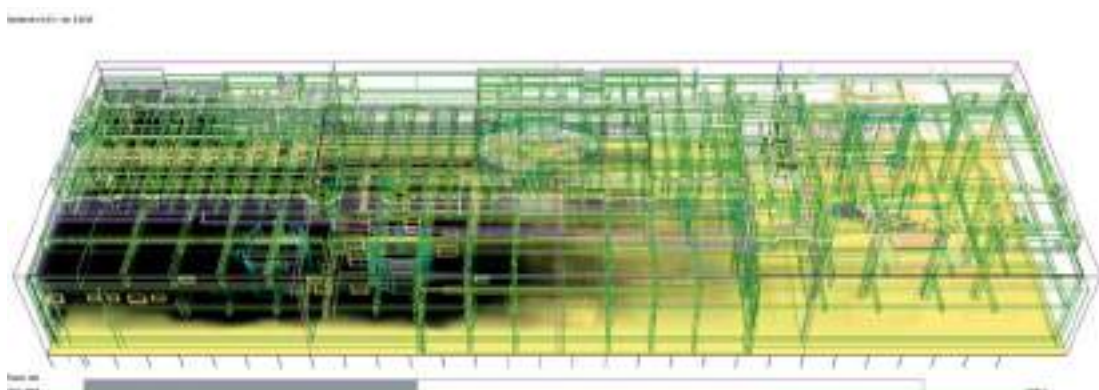
Jelentősebb hazai tapasztalat az utóbbival van [12],

amelynek előnye, hogy az önálló tűz- és füstterjedési szimuláció és a kiüritési szimulációs szoftverek specifikus előnyei megmaradnak. Ezen módszer hátránya az egyszerű szimulációkhoz képest is lényegesen több erőforrás- és időigény.

Az összemásolhatóság érdekében a két modell építése során közel azonos vizsgálati térnek kell kialakulnia, még akkor is, ha ezeket jelenleg külön-külön szükséges a programokban megépíteni. A vezérléseket, nyílászárók használhatóságát is mindkét programban azonosan kell kialakítani, hogy ténylegesen egy teret ellenőrizhessünk. Az összemásolás során jellemzően a látótávolság ellenőr-



5. ábra. A látható úthossz 2 m magas síkon, 430 s érzékelési idő + kiüritési szintidő végén. A fekete vonal a 15 m-nél kisebb látótávolság határát jelöli. Jól látható, hogy a tűzfészek környezetében jelentős területen 15 m alatti a látótávolság



6. ábra. A füst szétterjedése, 430 s érzékelési idő + kiüritési szintidő végén

zése történik meg, ami általános esetben a menekülés szempontjából a tűz egyik legmeghatározóbb kísérőjelensége. Amennyiben a kiértékelés alapján nem működik először megfelelően a tér, akkor változtatni kell valamelyik vagy akár több komponensén: az építészeti kialakításon, a füstelvezetés megoldásain és/vagy a kiüritési rendszeren. (4. ábra)

Az összemácsolás eredménye számszerűsíthetően is befolyásolja a megengedhető kiüritési időt. Ebben az esetben ugyanis jellemzően már nem a szintidő igazolása a cél optimális útvonalak esetében, hanem a tűzhatás által blokkolt kijáratok, útvonalak mellett is lehet igazolni a kiürités biztonságát.

Egy nagylégtérű múzeum csarnokot vizsgáltunk, amelyben egy galériás kialakítású felső szint is szerepelt. A tereket összesen 4 lépcsőházon keresztül lehet elhagyni, amelyek a védett területre vezetnek. A vizsgált tűzhelyszínek többségében a füst terjedése olyan képet mutatott a kialakított hő- és füstelvezető rendszerrel, amelynél mind a 4 lépcsőház rendelkezésre állt. Ezeknél a csarnoktér kiüritése 277 s, a galéria kiüritése 200 s alatt történt meg.

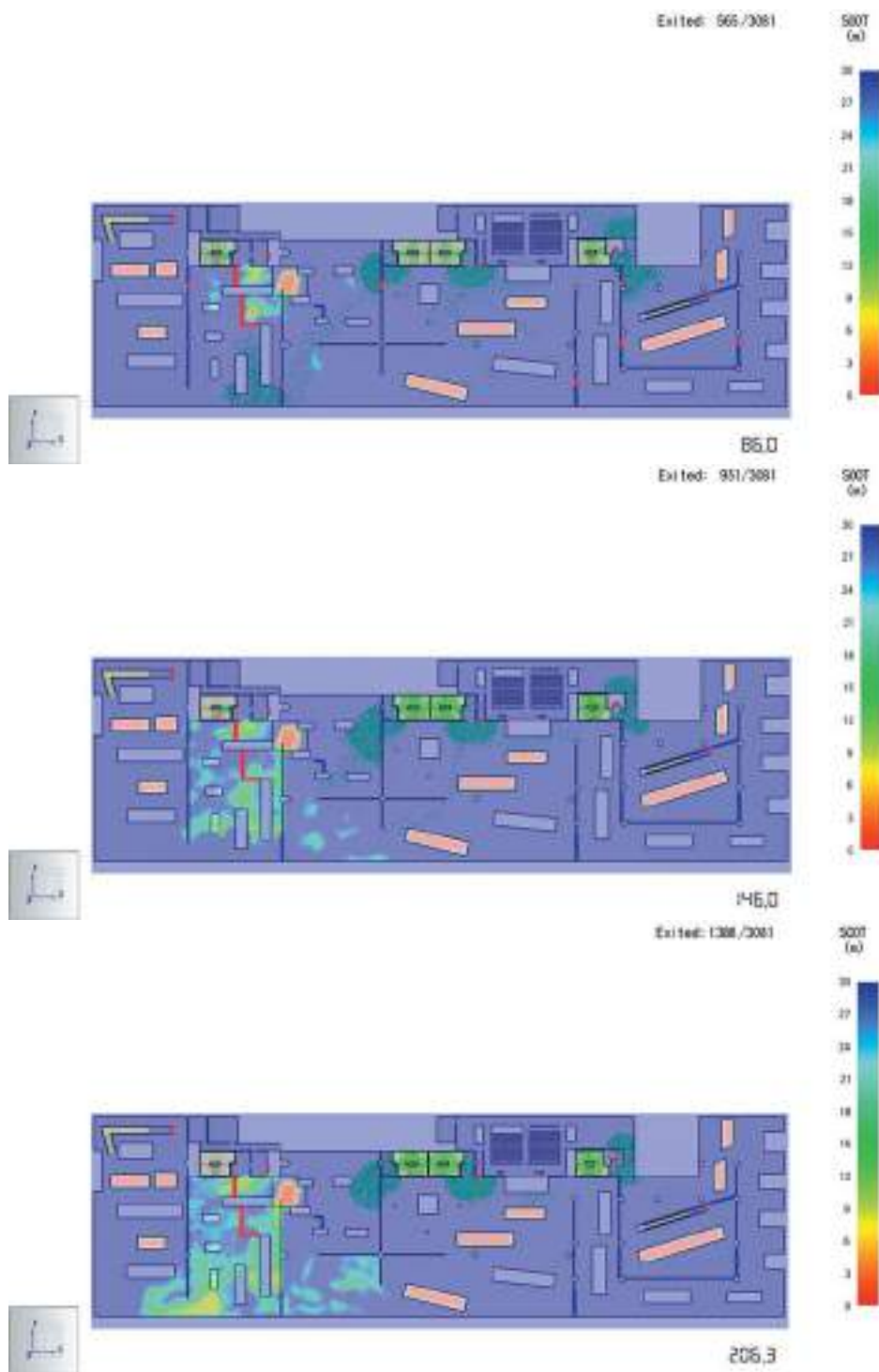
Két kijelölt tűzhelyszín esetében azonban a 4 lépcsőházból 1-1 röviddel a kiürités indítását követően a csarnoktér szintjén elérhetetlenné vált a füst miatt. Ezekben az esetekben a menekülő emberek útvonala átrendeződött, és a maradék 3 lépcsőházat elérve távoztak. Ezek-

nél a csarnoktér kiüritése 430 s, a galéria kiüritése 210 s alatt fejeződött be. A tűz- és füstterjedési szimuláció füstterjedési képével, továbbá a vizsgálati síkokból származó eredményeivel ugyanakkor nem lehetett megállapítani, hogy a kiürités időtartama alatt a menekülő személyek nem kerülnek-e a megengedettnél rosszabb látási és hőmérsékleti viszonyok közé (lásd 5-12. ábrák).

A galériaszinten minimális kiüritési idő-növekedés történt csak, mivel ott továbbra is elérhető volt mind a 4 lépcsőház. A menekülési szimulációban a nem megfelelő látótávolságú területek kizárásával (lásd 7-12. ábrák piros vonalait) az alsó szinten 74 s idővel hosszabbodott a kiürités, amely több, mint 25% növekedést jelent a füstterjedés összemácsolása nélküli kiüritési szimulációhoz képest. A füstterjedés és a menekülő útvonalát részletesen elemezve a 7-12. ábrák alapján már kijelenthető, hogy az épületet a benntartózkodók biztonsággal el tudják hagyni.

Azonban az eredmények összeillesztése alapján sem mindig lehet megállapítani a kiürités megfelelőségét, mivel szűk terek esetén elkerülhetetlen, hogy a menekülőket rövid ideig valamilyen mértékű füstthatás érje. A látótávolság korlátozásán túl a füst kiüritést befolyásoló hatásai között szerepelnek a szemet és a légutakat irritáló hatása, továbbá a mérgező komponensek hatásai. Tűzesetek során a legtöbb sérülést vagy akár halálesetet is a füst okozza, nem a tűz maga.

7-12 sz. ábrák. A kiürítés menete összemásolt tűz- és füstterjedési, valamint kiürítési szimulációkkal bemutatva a járófelület fölött 2 m magasságban 26 s tűzjelzési időhöz hozzáadott 60, 120, 180, 240, 300, 360 s (86, 146, 206, 266, 326, 386 s) eltelté utáni időpillanatban. Jól látható, hogy a tűzfészek környezetében létrejövő kedvezőtlen látótávolságú zóna ellenére is biztonságos a menekülés



Irodalom / References

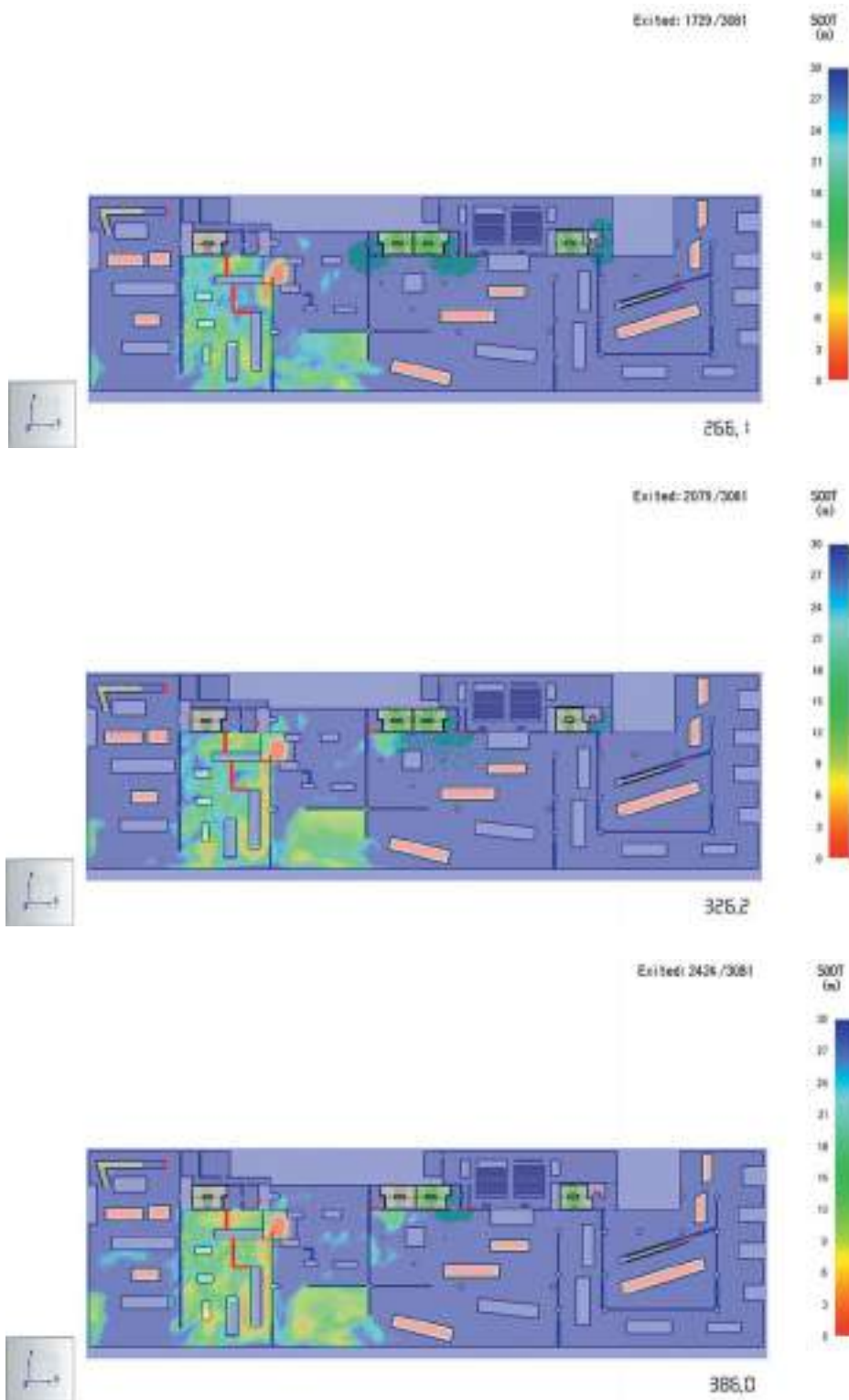
- [1] Mcgrattan, Kevin & Baum – Howard & Rehm, Ronald: „Large Eddy Simulations of Smoke Movement”, *Fire Safety Journal*, Issue 30 (1998), pp 161–178, DOI: <10.1016/S0379-7112(97)00041-6>.
- [2] Fire Dinamic Simulator (Version 6) User’s Guide, NIST Special Publication 1019-6, National Institute of Standards and Technology, US Department of Commerce, 2013.
- [3] PyroSim User Manual, Thunderhead Engineering, 2015.
- [4] Hietaniemi, Jukka – Mikkola, Esko: „Design Fires For Fire Safety Engineering”, VTT Working Papers, Issue 139, ISBN 978-951-38-7479-7, ISSN 1459-7683.
- [5] Heat Release Rates, *SFPE Handbook*, Edition 4, Chapter 1, pp 3–13, ISBN 087765-451-4.
- [6] Szikra, Csaba – Takács, Lajos Gábor: „Cellamodellek alkalmazásának tapasztalatai hő- és füstterjedés modellezésében”, *Proceedings of ÉPKO, International Conference of Civil Engineering and Architecture* (Csíksomlyó, Romania, 14 June, 2014), pp 313–319.

A menekülőket érő füst összetételétől és a kitéti időtől függően lassíthatja a menekülés folyamatát, vagy egyenesen lehetetlenné is válhat a menekülés. A füst hatásának vizsgálatára kidolgozott tudományos módszer a FED (Fractional Effective Dose) alkalmazása [11], amely számszerűsíti a füstgázok, a hőszugárzás és a kitétségi idő tényleges kockázatát. A modellezés során erre alkalmas az ún. FED érzékelők elhelyezése a modell térben és eredményeik értékelése. Sajnos világszerte még nagyon kevés adat áll rendelkezésre a különböző anyagok égés során kibocsátott toxikus komponenseinek mennyiségére és emiatt a modellezés során a FED értékek alakulására,

amely így egyelőre kétséges teszi e mérőszám általános alkalmazását.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Hosszú távon elkerülhetetlen, hogy a BIM modellek alkalmasak legyenek arra, hogy mind a tűz- és füstterjedési szimulációk, mind a kiürítési szimulációk elvégezhetőek legyenek egy közös modellkörnyezetben. Ezzel megkérülhető lenne a még időigényes tűz- és füstterjedési, valamint kiürítési szimulációs modellépítés, illetve a visszacsatolás időszükséglete. Ha ma az első összemásolt eredmények nem adnak kielégítő megoldást, első-



ként az építészeti modellt kell módosítani, majd ennek megfelelően módosítani a tűz- és füstterjedési és a kiürítési szimulációkat, hogy az eredményeket ismét össze lehessen másolni és kiértékelni. Bonyolult, kedvezőtlenül viselkedő terek esetén ez adott esetben vizsgálatok sorozatát jelentheti, ami rendkívül időigényes lehet, és jelentősen meghosszabbítja az építési engedélyezési tervfázist, ugyanakkor sokkal pontosabb képet ad egy épület tűzeseti viselkedése során a legfontosabb vizsgálandó körülményről és a kiürítés biztonságáról, mint a kézi

számítások vagy az egyszerű táblázatos méretezési módszerek.

**Szikra Csaba, Takács Lajos Gábor,
Veresné Rauscher Judit**

[7] „Kiürítés”, Tűzvédelmi Műszaki Irányelv (aktuális változat: TvMI 2-2: 2016-12-20), BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, hozzáférhető: <http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=tuzmegelozes_otsz_iranyelvek&kettes=>, utolsó belépés: [2018-11-08].

[8] Számítógépes tűz- és füstterjedési, valamint kiürítési szimulációkról szóló tűzvédelmi műszaki irányelv (aktuális változat: TvMI 8.3.: 2017. 07.03.), BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, hozzáférhető: <http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=tuzmegelozes_otsz_szamitogep>, utolsó belépés: [2018-11-08].

1. [9] Gwynne, S – Galea, E R – Lawrence, P J – Filippidis, L: „Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model”, *Fire Safety Journal*, Issue 36, pp 327–357, .

[10] Pathfinder User Manual, Thunderhead Engineering, 2018.
[11] Hartzell, G – Emmons, : „The Fractional Effective Dose Model for Assessment of Toxic Hazards in Fires”, *Journal Of Fire Sciences*, Vol 6, No 5, pp 356–362, DOI: .

[12] Veresné Rauscher, Judit: „Tűzvédelmi tervezés szimulációval”, *Katasztrófavédelmi Szemle*, No 3 (2017), ISSN: 2064-1559.