

Veres György

Fővárosi Tűzoltóparancsnokság

veresgy@tuzoltosagbp.hu

TÖMEGTARTÓZKODÁSÚ ÉPÜLET KIÜRÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA I.

Absztrakt

A tanulmány célja, hogy a tömegtartózkodású épületek kiürítését a mérnöki megközelítés szemszögéből elemezze. A kiürítés elemzésre kerül a hatályos jogszabály szerint egy bevásárló központ mozi termére vonatkozólag, majd a kiürítés mérnöki szemlélet szerint ismételt vizsgálatra kerül több tényező együttes jelenlétével. A több tényezős egymással szoros összefüggésben álló kritériumok számítógépes tűzmodellelési szoftver segítségével kerülnek értékelésre.

The aim of the study is to analyse the evacuation of mass-staying buildings from the engineer point of view. The evacuation analysed according to the operational regulations referring to the evacuation-calculation hall of a mall.

In this study the evacuation was examined according to engineer approach with presence of different factors. The many ridded, interconnected criterions were evaluated by fire-modelling software.

Kulcsszavak: *tűz, gyulladás, teljes lángbaborulás, hőszugárzás, kiürítés ~ fire, ignition, flashover, heat radiation, evacuation*

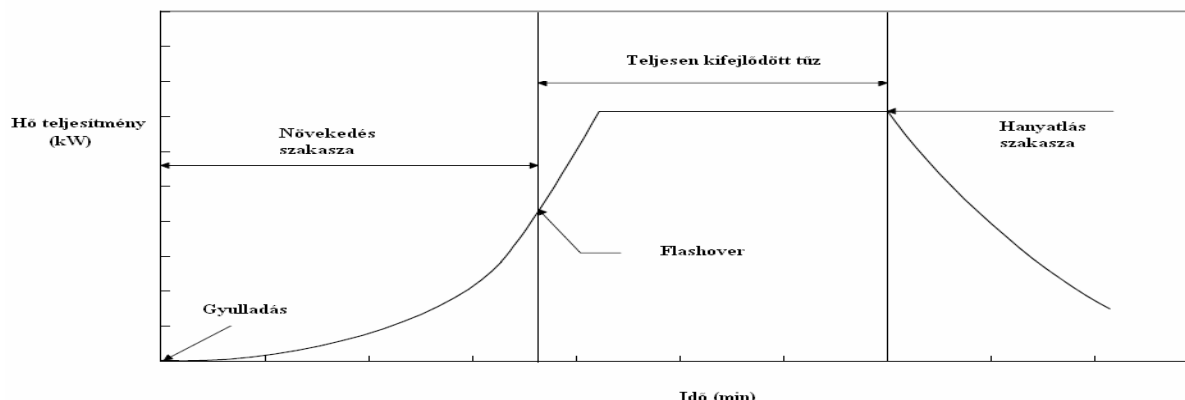
Bevezetés

A kollektív emberi magatartás egyik legkatasztrofálisabb megjelenési formája a pánik okozta tömeges, fejvesztett menekülés, mely gyakran halálos kimenetelű balesetekhez is vezet, mivel a tömeg ilyenkor embereket nyom össze vagy tipor el. Ezt a viselkedést néha életveszélyes szituációk váltják ki, mint például egy tüzeset egy zsúfolt épületben.

A tüztől, mint őselemtől való rettegés az ember egyik legrégebbi félelmi reakciója; a tűz mérhetetlen anyagi károk, szenvedések okozója lehet. Tapasztalatok és kutatási eredmények igazolják, hogy az emberek a halálnemek közül ezt tartják a legfélelmetesebbnek. A tűzoltók szerint ezt a veszélyforrást nem lehet megszokni, és igen nagy lelkirojt, fizikai állóképességet igényel leküzdése. A jelenlévő magas hőmérsékletű levegő, hőszugárzás, a füst, a zaj megnehezíti a légzést, a tájékozódást, rontja az érzékszervek funkcionalitását.

A tűz fejlődése

Zárt helyiségben, helyiségekben lévő éghető gázok hőmérsékletének figyelembevételével a tűz négy szakaszra bontható (1. ábra) [1]:



1. ábra. A tűz fejlődés zárt térben [1]

- gyulladás;
- teljes lángbaborulás (flashover) előtti időszak, tűz növekedés;
- flashover utáni szakasz, a teljesen kifejlett tűz szakasza;
- hanyatlás időszaka.

Az átmenetet a teljesen kifejlesztett tűz állapotba „flashover-nek”, azaz teljes lángbaborulásnak nevezzük.

A négy szakaszt az [1] irodalom 17-18. oldala ismerteti bővebben. A szakaszok időbeli határai széles skálán mozognak, és fontos itt megjegyezni, hogy a négy szakasz nem határozható meg minden (pl. backdraft-szúróláng) tüzesetre.

A tűzfejlődés meghatározása

A tűzfejlődés többféle módon határozható meg:

- számítással;
- számítógépes modellezéssel;
- empirikus korelációkkal.

A leggyakrabban használt számítási példa a t^2 -es tűz növekedés [2].

A gyulladástól számítva a tűz négyzetes növekedésével számítható. A tűz fejlődés meghatározható a fejlődési paraméterrel k_g .

$$Q = 1000 \times (t/k)^2$$

Q = hő teljesítmény, kW;

t = idő, s;

k_g = tűz fejlődési paraméter, az az idő, amely alatt tűz hő kibocsátása eléri az 1000 kW-ot, $s/MW^{1/2}$.

A tűzfejlődési paraméter-értékeket az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: tűzfejlődési paraméter-értékek [3]

Tűz növekedés mértéke	k_g (s/MW ^{1/2})	Típusok
lassú	600	faanyag vízszintesen elhelyezve (pl. padló)
közepes	300	faanyagú bútor (pl. íróasztal)
gyors	150	puhafa (pl. funérlemezes szekrény)
ultra gyors	75	kárpitozott bútor, függöny

A t₂-es tűz fejlődés tart, míg az éghető anyag el nem fogy, vagy a hő felszabadulás értéke eléri a csúcserőértéket:

$$Q_{csúcs} = Q'' \times A_{tűz}$$

$Q_{csúcs}$ = teljes tűz területnek a teljes hő kibocsátása, kW

Q'' = egységnyi tűzfelület hő kibocsátása, kW/m²

$A_{tűz}$ = a tűz teljes területe, m²

Az adatok hiányában a maximum hőkibocsátási érték Q'' négyzetméterre meghatározható (2. táblázat):

2. táblázat: Hőkibocsátási értékek [3]

Helyiség funkciók	Maximum hő kibocsátási érték (kW/m ²)
iroda, iskola, lakás, hotel	250
tömegtartózkodású helyiségek, kereskedelmi üzletek	500

Amennyiben ismert a k_g és $Q_{csúcs}$ a tűz teljes hő kibocsátásáig eltelt idő meghatározható.

A CO koncentráció meghatározása [4]

Az elsődlegesen keletkező mérgező gáztermék a tűz során a CO.

MAK határérték = Maximum a levegőben levő koncentráció 35mg/m³ = 30 ppm

Ppm = kis koncentrációk jellemzésére használt mérőszám, milliommód részt jelöl (parts per million = ppm).

CO átváltás 1 mg/m³ = 0,859 ppm; 1 ppm=1,164mg/m³

CO relatív sűrűsége 0,967 a CO könnyebb a levegőnél

Forráspontja: -191C°

Olvadáspontja: -205C°

Öngyulladás hőmérséklet: 605C°

$$CO = \frac{0,858 \cdot 10^6 \cdot Y_{CO} \cdot m_f}{V_t}$$

Y_{co} = szénmonoxid termelődési tényező, kg/kg

V_t = egységnyi idő alatt termelődött füst mennyiség, m³

m_f = éghető anyag tömege, kg

A leggyakrabban használt termékek szénmonoxid termelődési tényezői [5]:

- fa 0,004
- polivinilklorid (PVC) 0,063

Füstfejlesztés

Az épületben kialakuló füst a bent tartózkodó személyek tájékozódási képességét nagymértékben rontja. Fontos a füst-kibocsátó anyagok mennyiségének korlátozása a kiürítési útvonalon [6]:

$$m_{füst} = \epsilon_{füst} \cdot M$$

m = füst fejlődés tömeg értéke, kg/s

$m_{füst}$ = éghető anyag tömeg értéke, kg/s

$\epsilon_{füst}$ = átalakult füst tömeg faktor, kg/kg

Gyakran használt termékek füst tömeg faktorai [7]:

- polivinilklorid (PVC): 0,120
- polipropilén: 0,010

A kiürítés és a mentés magyarországi megközelítése

Az épületeket, építményeket úgy kell kialakítani, hogy:

- a benttartózkodó személyeket tűz esetén gyorsan és figyelemfelkeltő módon (indokolt esetben több szakaszban) tájékoztathassák, riaszthassák;
- a benttartózkodó és önálló menekülésre képes személyek az előírt normaidőn belül biztonságos helyre vagy védett térbe távozhassanak;
- a mozgásban/cselekvőképességben akadályozott, vagy fogyatékos személyek segítséggel történő menekülése, mentése az ilyen rendeltetésű, és az akadálymentesen megközelíthető épületekben, építményekben biztosítva legyen;
- a kialakítás a kiürítési útvonalak késedelem nélküli használatát tegye lehetővé (felismerhetőség, megfelelő biztonsági jelzések alkalmazása, megvilágítás, akadályok feloldása, hő- és füstmentesség, átbocsátóképesség),

Fogalmak [8]

Füstmentes lépcsőház: a nyitott vagy az olyan zárt lépcsőház, amelybe az épülettűz alkalmával képződött füst és mérgező égésgázok bejutásának lehetősége oly mértékben van korlátozva, hogy a lépcsőház az épület biztonságos kiürítésére és mentésre meghatározott ideig alkalmas marad.

Kiürítés: a tűz által veszélyeztetett helyiségben, tűzszakaszban, épületben lévő személyek eltávozása (eltávolítása).

Kiürítési útvonal: a kiürítése számításba vett útvonal.

Kiürítési időtartam: a kiürítésre számításba vett időtartam.

A kiürítési időtartam számítása

A kiürítés számítása az Országos Tűzvédelmi Szabályzat [8] (továbbiakban:OTSZ) 5. sz. melléklet építmények tűzvédelmi követelményei I/7 fejezet kiürítésben meghatározottak szerint.

A kiürítés első szakaszának időtartamát az útszakaszok hossza és az ajtók átbocsátó képessége alapján, a tűzszakasz, létesítmény helyiségeire kell meghatározni.

A kiürítés második szakaszának időtartamát az utak hossza, a lépcsők, a szabadba, - valamint átmenetileg védett tűzszakaszba, füstmentes lépcsőházba, vagy a tűzvédelmi hatóság engedélyével erre a célra kijelölt térbe, tetőfödémre - vezető ajtók átbocsátó képessége alapján kell meghatározni, az építményre vagy az abban levő tűzszakasz(ok)ra.

A füstmentes lépcsőház közvetlenül, vagy zárt közlekedőn keresztül biztosítsa a szabadba történő kijutás lehetőségét.

Ha a kiürítés külön e célra tervezett védett térbe történik:

- Ez esetben a külön e célra tervezett térben a személyek átmeneti ott-tartózkodásával kell számolni.
- A kiürítésre tervezett térhatároló szerkezeteinek tűzállósági határértéke feleljen meg az adott tűzállóság fokozathoz tartozó tűzgátló szerkezetekre előírt tűzállósági követelményeknek.
- E térben a határoló szerkezetek tűzállósági határértékéig biztosítani kell az alábbi feltételeket:
 - a légtér hőmérséklete, a hősugárzás intenzitása nem érheti el az emberekre veszélyes értéket,
 - a térben tartózkodók létszámához, és a tartózkodás időtartamához szükséges levegőmennyiség legyen biztosított,
 - az ott-tartózkodás időtartamáig a adott tér legyen füstmentes,
 - az adott térben az ott-tartózkodás időtartamáig világítást kell biztosítani.

A kiürítés számítása

A kiürítés megengedett időtartamait a 3. táblázat szemlélteti. A táblázat a kiürítés két üteméhez tartozó megengedett időtartamokat tartalmazza a tűzállósági és az épület funkció függvényében.

3. táblázat: a kiürítés megengedett időtartamai

Kiürítési szakasz	Kiürítendő helyiség, tűzszakasz, építmény Megnevezése	A kiürítés megengedett időtartama, (t_{meg}) I -V: tűzállósági fokozatba sorolt tűzszakaszból, épületből, vagy építményből min.			
		I.-II.	III.	IV.-V.	
Első szakasz t_1	Nagyforgalmú, vagy tömegtartózkodásra szolgáló, valamint „A – B” tűzveszélyességi osztályba sorolt helyiségek.	1,5	1,0	0,75	
	Huzamos tartózkodásra szolgáló, vagy „C–E” tűzveszélyességi osztályba sorolt helyiségek.	2,0	1,5	1,0	
	Egyszintes csarnok ha a belső térfogata*	Legfeljebb 5000 m ³	2,0	1,5	1,0
		5 001 – 10 000 m ³ között	2,5	2,0	1,5
		10 001 – 20 000 m ³ között	3,0	2,5	2,0
		20 001 – 40 000 m ³ között	3,5	3,0	2,5
		40 001 – 80 000 m ³ között	4,0	3,5	–
		80 001 – 160 000 m ³ között	4,5	4,0	–
160 000 m ³ felett	5,0	4,5	–		

Második szakasz t_2	Nagyforgalmú, vagy tömegtartózkodásra szolgáló, valamint „A – B” tűzveszélyességi osztályba sorolt tűzszakaszok, épületek.	6,0	5,0	1,5
	Huzamos tartózkodásra szolgáló, vagy „C–E” tűzveszélyességi osztályba sorolt tűzszakaszok, épületek.	8,0	6,0	2,5

* Csak akkor, ha legalább két közvetlenül a szabadba nyíló kijáratú ajtókkal és hatásos hő- és füstelvezetővel rendelkezik. Az „A” és „B” tűzveszélyességi osztály esetén a megengedett kiürítési időtartamot 25%-kal csökkenteni kell.

Az OTSZ 5. rész építmények tűzvédelmi követelményei I/2 fejezet alapfogalmak szerint:

2.3.30. Tömegtartózkodásra szolgáló építmény: amelyben tömegtartózkodásra szolgáló helyiség, vagy tér van.

2.3.31. Tömegtartózkodásra szolgáló helyiség: egyidejűleg 300 személynél nagyobb befogadó képességű helyiség

A kiürítés első szakaszának számítása

A kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján:

$$t_{1a} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{il}}{v_i} \leq t_{1meg}$$

ahol:

t_{1a} : a legkedvezőtlenebb útvonalból és a haladási sebességből meghatározott idő percben (min)

S_{il} : a fenti útvonal az egyes útszakaszok hossza egyenes útvonalon mérve méterben (m)

v_i : az egyes útszakaszokhoz tartozó haladási sebességek m/min,

t_{1meg} : a kiürítés első szakaszára megengedett időtartam alapján.

A kiürítés időtartama az ajtó átbocsátó képessége alapján

$$t_{1b} = \frac{N_1}{kx_1} \leq t_{1meg}$$

ahol:

t_{1b} : a helyiségnek vagy a kijárhoz tartozó helyiség rész kiürítési időtartama az ajtók átbocsátó képessége alapján percben (min),

N_1 : a kijáratonként eltávolítandó személyek száma,

k : a kijáratok átbocsátó képessége: 41,7 fő . m⁻¹. min⁻¹

x_1 : az N_1 -hez tartozó kijárat szélessége, méterben (m).

A kiürítés második szakaszának számítása - kiürítés a szabadba

A kiürítés időtartama az útvonalak hossza alapján

$$t_{2a} = t_{1ma} + \sum_{i=1}^n \frac{S_{i2}}{v_i} \leq t_{2meg}$$

ahol:

t_{2a} : az ellenőrzött tűzszakasz vagy építmény kiürítési időtartama a kijáratától legtávolabb lévő helyiség útvonalhossza alapján, percben (min),
 t_{1ma} : a kiürítés első szakaszában számított kiürítési időtartamok közül a legnagyobb, percben (min),
 s_{i2} : annak a helyiségnek a legtávolabbi kijáratától a szabadba vezető kijáratig vett útvonalainak együttes hossza az úttengelyen mérve, amely a t_{1ma} -val együttesen a legnagyobb t_{2a} értéket adja, méterben (m),
 v_i : a számításba vett útvonal közlekedő helyiség(ek)hez tartozó haladási sebességek a III. táblázat alapján, m/min,
 $t_{2\text{ meg}}$: a kiürítés második szakaszára megengedett időtartam az III. táblázat alapján, percben (min)

1. A kiürítés időtartama a lépcsők, vagy a menekülési útvonal legszűkebb keresztmetszete (a menekülési útvonal legkisebb szabad szélessége) alapján. Többszintes tűzszakaszok, vagy menekülési útvonalon lévő szűkítés esetén.

$$t_{2b} = t_{y1} + \frac{N_2}{kx_2} + \sum_{i=1}^n \frac{S_{i3}}{v_i} \leq t_{2\text{ meg}}$$

ahol:

t_{2b} az ellenőrzött tűzszakasz, építmény kiürítési időtartama, a lépcsők átbocsátóképessége, vagy a menekülési útvonal legszűkebb keresztmetszete alapján percben (min),
 t_{y1} a lépcső, vagy a legszűkebb keresztmetszet eléréséhez szükséges idő a hozzá – a kiürítésnél számításba vett – legközelebb eső helyiség legközelebbi ajtajától mérve, az útszakaszok alapján, percben (min),
 N_2 a lépcsőn, vagy a menekülési útvonalon lévő szűkítésen legnagyobb létszámot befogadó szintről a számításba vett lépcsőkön eltávolítandó személyek száma, vagy a legszűkebb keresztmetszeten menekülők száma,
 s_{i3} a lépcső és a lépcsőtől, vagy a legszűkebb keresztmetszettől a szabadba vezető kijáratig tartó útvonalak hossza az úttengelyen mérve, méterben (m),
 k a lépcső átbocsátóképessége megegyezik a kijáratok átbocsátóképességével,
 x_2 a lépcsőkar(ok), vagy a legszűkebb keresztmetszet szabad szélessége, méterben (m),
 v_i a számításba vett útvonalhoz tartozó haladási sebességek a IV. táblázat alapján, m/min.

A kiürítés időtartama a szabadba vezető ajtók átbocsátóképessége alapján (kijáratonként)

$$t_{2c} = t_{y2} + \frac{N_3}{kx_3} \leq t_{2\text{ meg}}$$

ahol:

t_{2c} az ellenőrzött tűzszakasz vagy építmény kiürítési időtartama a szabadba vezető ajtó(k) átbocsátóképessége alapján, min,
 t_{y2} a szabadba vezető ajtó eléréséhez szükséges idő, a tűzszakasz helyiségei közül – a kiürítésnél számításba vett – a szabadba vezető ajtóhoz legközelebb eső helyiség ajtajától mérve, min,
 N_3 az ellenőrzött tűzszakaszból, az építményből az adott kijáraton eltávolítandó személyek száma, fő,
 k a szabadba vezető ajtók átbocsátóképessége,
 x_3 a szabadba vezető kijárat szabad nyílás-szélessége, méterben (m).

Haladási sebességeket a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: Haladási sebességek

A helyiségben egy főre jutó alapterület (m ²)	Vízszintes haladású sebesség m/min	Haladás lépcsőn, m/min	
		lefelé	fölfelé
1-ig	16	10	8
1 felett 25-ig	30	20	15
25 felett	40	20	15

A lépcsők útvonalhosszaként (s) – beleértve a lépcsőpihenőket is – a szintkülönbség háromszorosát kell figyelembe venni.

Kiürítés számítási példa jogszabály szerint

A 1. sz. mellékletben rögzített alaprajzokon lévő tömegtartózkodású helyiség – moziterem - kiürítésének ellenőrzése

Az első ütem kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján:

$$t_{1\text{meg}}: 1,5 \text{ min}$$

A személyek beléptetésének tetőszintjén lévő ajtó a kiürítési előírásnak nem felel meg, mivel az nem a menekülés irányába nyílik.

N	S _{il}	v _i
320 fő	9 m vízszintesen az ülés sor közepétől	30 m/min
	6,6 m x 3 a lépcsőn lefelé*	10 m/min
	6,50 m az ajtóig	16 m/min

* az ülés sorok közül a személyek a 2 db. 2,5 m széles 12,4 m hosszú egyenes karú lépcsőkre áramlanak (alapterület 62 m²)

$$t_{1a} = 2,68 \text{ min}$$

Megjegyzés: aki volt már moziban az jól tudja, hogy előadás végén a sorok közül egyszerre áramlanak ki az emberek a közlekedőkre. A jogszabályi előírás továbbra is a helyiségben egy főre jutó alapterületet veszi figyelembe, amely esetén a haladási sebesség 20 m/min, valamint a kiürítési ajtóig vízszintesen 30 m/min. A számítás nem az adott területen lévő személyek sűrűségét veszi figyelembe.

N	S _{il}	v _i
320 fő	9 m vízszintesen az ülés sor közepétől	30 m/min
	12,40 m x 3 a lépcsőn lefelé*	20 m/min
	6,50 m az ajtóig	30 m/min

$$t_{1a} = 1,49 \text{ min}$$

A kapott érték megfelel az előírásnak, de nem felel meg a mérnöki szemléletű vizsgálatnak.

A kiürítés időtartama az ajtó átbocsátó képessége alapján:

N	k	x_1
320 fő	41,7	2 m
		2 m

$$t_{1a} = 1,9 \text{ min}$$

A helyiség jogszabályi előírásának megfelelő a mellékletben tervezett ajtó szélesség: 5,11 m.

Értékelés

A kiürítés célja, hogy az épületben keletkező tűz esetén a kiürítést lehetetlenné tevő feltételek kifejlődésének időtartama előtt a benn tartózkodó személyek a teljes kiürítési időtartam alatt elérjék el a biztonságos teret. A kiürítés folyamatát az 5. táblázat szemlélteti.

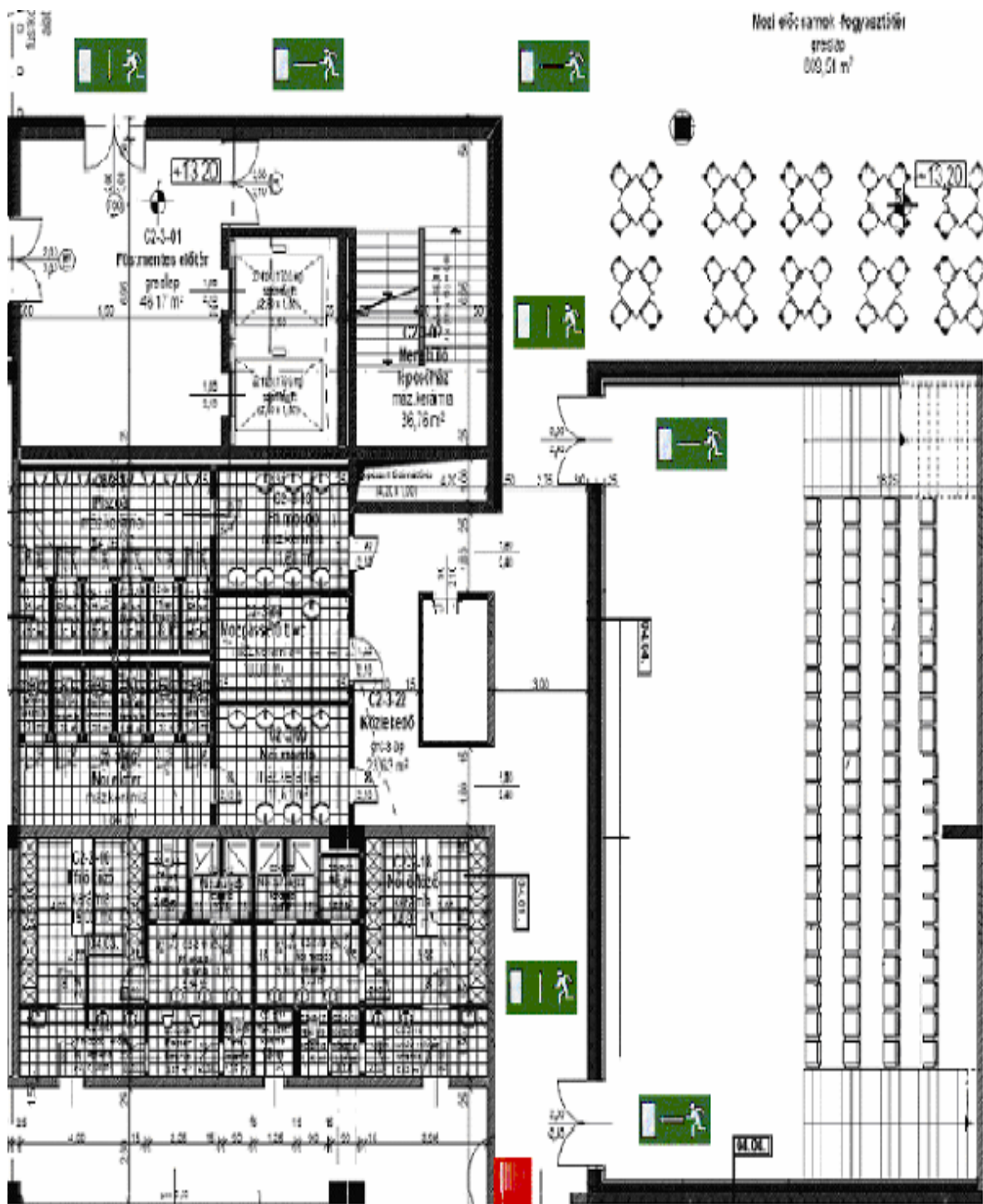
5. táblázat: A kiürítés folyamata

Esemény	Számítási idők
1. Gyulladás	Tűzfejlődés
2. Felfedezés	Érzékelés, felfedezés
3. Hangriasztás	Tűzjelző rendszer, riasztási rendszer
4. Hangriasztás értékelése	Reakció idő
5. Kiürítés megindulása	
6. Kijáratok elérése	Haladási szakasz
7. Kijáratokon való áthaladás	Várakozási szakasz

Mint a táblázatból látható a kiürítés számítás több tényezőt nem vesz figyelembe. A gyulladástól a tűz felfedezésének idejét, hangriasztás késletetését az emberek reakció idejét, amely életkoronként változó értéket adnak.

A következő részben számítógépes tűzmodellezéssel kerül vizsgálatra a tűz fejlődés, a füst sűrűségének alakulása és a láthatóság változása.

+13,20 m építményszint magasság



Felhasznált irodalom

- [1] Enclosure fire dynamics - Bjorn Karlsson and James G. Quintiere; CRC Press LLC, FL, 2000, pp. 18.
- [2] Analysis and Interpretation of Fire Scene Evidence - José R. Almirall, Kenneth G. Furton, Jose Almirall R Almirall- 2004 –CRC Press pp. 264 .
- [3] Buchanan, A.H., Fire Engineering for a Performance-based Code, Fire Safety Journal, Vol. 23, 1994, pp. 1-16.
- [4] Carbon Monoxide Toxicity - David G. Penney 2000 –CRC Press
- [5] Australian Fire Engineering Guidelines (1996), First Edition, Fire Code Reform Centre Ltd., Sidney, Australia.
- [6] Fire Behavior of Upholstered Furniture and Mattresses - John Krasny, William J. Parker, Vytenis Babrauskas 2001 William Andrew Inc. p. 69.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Quincy, Massachusetts, 2nd Edition, Chapter 15, Section 2, pp. 2/218.
- [8] 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat