

## Csarnok jellegű épületek hő- és füstelvezetésének tételes előíráson alapuló módosított méretezése

### Modified calculation method for the prescriptive design of smoke and heat ventilation of large halls

*SZIKRA Bálint<sup>1</sup>, SZIKRA Csaba<sup>2</sup>, Dr. TAKÁCS Lajos Gábor<sup>3</sup>*

Takács-Tetra Építész és Mérnökiroda Kft, 1029 Budapest, Eskü u. 1-3.

#### Abstract

*Based on recent experience, the prescriptive method for smoke and heat ventilation in large halls with an internal height greater than 4 meters has, in some cases, underestimated or overestimated the effective opening areas required for natural heat and smoke vents and air supply inlets. To eliminate such under- and overdimensioning, a new proposal based on zone models has been developed. We examined whether the new values proposed using zone models meet the requirements related to the height of the smoke-free layer.*

**Keywords:** *Heat and smoke ventilation, prescriptive method, zone models, CFD models*

#### Kivonat

*A 4 méternél nagyobb belmagasságú nagylégterű helyiségek hő- és füstelvezetésének tételes előíráson alapuló módszere az elmúlt időszak tapasztalatai alapján bizonyos esetekben alul-, máskor túlméretezte a szükséges hő- és füstelvezető és légpótló felületek hatásos nyílásméreteit. Az alá- és túlméretezések kiküszöbölésére a zónamodellek alapján új javaslat készült. Azt vizsgáltuk, hogy a zónamodellek alapján javasolt új értékek teljesítik-e a füstszegény rétegmagasságra vonatkozó követelményeket.*

**Kulcsszavak:** *Hő- és füstelvezetés, tételes előíráson alapuló módszerek, zónamodellek, CFD modellek*

## 1. BEVEZETÉS

A zárt térben keletkező tűz kísérő jelenségei a hő- és a füst és egyéb mérgező égéstermékek fejlődése. A hő- és füstelvezetés szükségességét a mindenkor érvényben lévő Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) határozza meg. Ez alapján

- a) 1200 m<sup>2</sup>-nél nagyobb alapterületű (nagylégterű) helyiségben,
  - b) tömegtartózkodásra szolgáló helyiségben (300 fő fölött),
  - c) menekülési útvonalon (közlekedő, lépcsőház) a füstmentes lépcsőház, a füstmentes lépcsőházi előtér és a tűzgátló előtér kivételével,
  - d) 100 m<sup>2</sup>-nél nagyobb alapterületű pinceszinti helyiségekben,
  - e) fedett átriumokban,
  - f) ott, ahol a rendeltetés megköveteli,
  - g) speciális építmények esetén (közúti alagutak, gyalogos aluljárók, felszín alatti vasútvonal)
  - h) ott, ahol a rendeltetés és a füstfejlődés jellemzői alapján, a kiürítés és a tűzoltó beavatkozás feltételeinek biztosítása céljából a tűzvédelmi szakhatóság előírja,
- kell hő- és füstelvezető berendezést létesíteni, illetve vele egyenértékű légpótlást biztosítani.

A hő- és füstelvezetés és légpótlás pozitív hatással van zártéri tüzek lefolyására:

- biztosítják a meneküléshez és a mentéshez a láthatóságot (helyiség alsó részében kialakul a füstszegény levegőréteg),
- a Tűzoltóság számára a tűzfészek felderítését elősegíti,
- az épületszerkezetekre jutó hőterhelést csökkenti,
- a kialakuló kürtőhatás megvezeti függőlegesen a hőt és füstöt, így az kevésbé terül szét a helyiségben,
- az égés tökéletes, így fajlagosan kevesebb mérgező égéstermék keletkezik.

## 2. HŐ- ÉS FÜSTELVEZETÉS MÉRETEZÉSÉNEK MÓDSZEREI

A hő- és füstelvezetés és légpótlás méretezése három teljesen eltérő módszer alapján történhet. A legösszetettebb módszer, a levegőmozgás egyenleteinek numerikus megoldása. A termikus térben kialakuló légmozgást CFD modellek segítségével számítjuk, amelyre ráültetjük a tömegnélkülinek feltételezett füst részecskéket. Az így kialakuló egységnyi térrészre eső füstsűrűségből számítjuk az adott térrészben a látótávolságot. Ez a módszer a legpontosabb, de egyben ez a módszer igényli a legalaposabb mérnöki tudást. Speciális haver és szoftver igénye van, a vizsgált épülethez háromdimenziós épületmodell szükséges, valamint az egyéb tűzvédelmi berendezések jellegzetességeit is ismerni kell a feldolgozáshoz. A számítás végén többek között pontos képünk lehet az építményen belüli füstterjedési sajátosságokról, a látótávolságokról, a hőmérsékleti viszonyokról. Összefoglaló néven ezt módszert **cellamodelleknek** hívjuk.

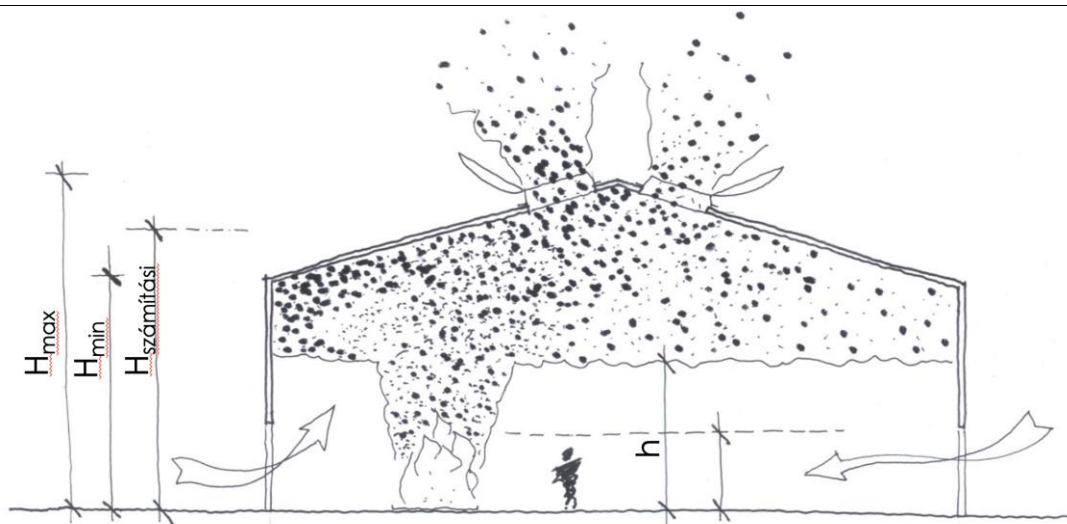
A nemzetközi gyakorlatban elterjedt módszerek a **zónamodellek** [1], [2], [3], [4]. Ezek fizikai alapja, hogy zárt téri tűzben a hő- és füstelvezetés és légpótlás hatására kialakul egy füsttel telt és füstszegény zóna. A zónák jól elhatároltak. A zóna határán kialakuló tömegáramot a csóva tulajdonságai határozzák meg. Egy zónán belül a hőmérsékletet és sűrűséget állandóak feltételezzük (tökéletes keveredés), így egyszerű egyenletek segítségével (Bernoulli egyenletek, ideális gáztörvény, csóvamodellek) készíthetünk számítási modelleket. Például adott geometria (nyílásfelületek és köztük lévő magasságkülönbség), illetve tűzteljesítmény ismeretében számítható a füstszegény réteg magassága, vagy adott füstszegény rétegmagassághoz számíthatók a szükséges nyílásfelületek. A zónamodellek készítéséhez ugyan kevesebb információ szükséges, de alapos mérnöki tudást igényelnek, korlátozottan alkalmazhatóak. A cellamodellekkel szemben nem alkalmasak például a tűzvédelmi berendezések együttes működésének vizsgálatára.

A legegyszerűbb és a legkevésbé pontos módszer tételes előírásokon alapul. Ezt a módszert szokás **preszkriptív** [5], [6], módszernek is nevezni. A módszer lényege, hogy az építmény legelemibb geometriai paraméterei alapján számítjuk a szükséges nyílásméreteket (1 sz. ábra). Általában ez az alapterületet és annak százalékában meghatározott nyílásméretet jelent. A módszer hátránya, hogy nélkülözi a fizikai jelenségeken alapuló gondolkodást, modellkészítést, méretezést. Előnye, hogy különösebb mérnöki tudás nélkül alkalmazhatóak. Például fedett átriumok esetében a hatásos elvezető és légpótló felületek nagysága az átrium alapterületének 3%-a. Ugyanez pincszinti helyiségek estén 1%. Ha gravitációs hő- és füstelvezetés helyett gépi megoldást szeretnénk, a táblázat alapján számolt hatásos nyílásméreteket átválthatjuk gépi szellőző térfogatárammá. Az átváltó szám  $2 \text{ m}^3/\text{s}, \text{m}^2$ , vagyis minden négyzetméter hatásos felület egyenértékű  $7200 \text{ m}^3/\text{h}$  gépi szellőző levegővel.

A preszkriptív módszerrel szemben a legegyszerűbb zónamodellek is alkalmasak a fizikai jelenségen alapuló következtetések levonására. A zónamodellek eredményei alapján javaslatot tettünk a tételes előíráson alapuló magyarországi méretezési módszer táblázataiban a füstelvezetők hatásos nyílásméretek korrigálására.

## 3. NAGYLÉGTERŰ HELYISÉGEK HŐ- ÉS FÜSTELVEZETÉSÉNEK TÉTELES ELŐÍRÁSON ALAPULÓ MÓDSZERE

Nagylégterű helyiségeknek nevezzük az  $1200 \text{ m}^2$ -nél nagyobb alapterületű és 4 m nagyobb számítási belmagasságú helyiségeket. Ebben a speciális esetben az OTSZ külön rendelkezik. A hő- és füstelvezetés alap követelménye hogy a füstszegény rétegmagasság a számítási belmagasság legfeljebb fele lehet, de belmagasságtól függetlenül minimum 3 m. A számítási belmagasság a vizsgált tér geometriai magasságának átlagértéke. Ennek fizikai alapjai a zónamodellek segítségével jól követhetőek: minél magasabb a füsttel telt rétegmagasság, annál nagyobb a gravitációs hajtóerő, tehát annál kisebb elvezető felületre van szükség [7].



1. ábra. Nagylégterű helyiség számítási belmagassága, illetve a füstterjedés sajátosságai

A tételes előírásokon alapuló méretezés lépéseit a Hő- és Füstelvezetésről szóló tűzvédelmi műszaki irányelv (TvMI) részletezi [1]. A helyiséget az ott folyó tevékenység alapján méretezési csoportba soroljuk (1-4). A méretezés lépései:

1. Számítási belmagasság meghatározása.
2. A füstkötényfalak belógásának rögzítése a méretezési feltételek figyelembevételével ( $H$  számítási belmagasság – füstszegény levegőréteg viszonyának meghatározása az adott lehetőségeken belül – a füsttel telített levegőréteg legalább 1 m, de legfeljebb  $H/2$ ).
3. A méretezési csoport meghatározása – TvMI alapján.
4. Az adott füstszakaszok hatásos áteresztő felületeinek meghatározása.
5. A füstszakaszokba beépítendő kupolák számának és méretének meghatározása.
6. A csarnokba beépítendő kupolák számának összesítése.
7. Frisslevegő utánpótlás mértékének meghatározása a mértékadó füstszakasz alapján.

A méretezési táblázatból (4 sz. ábra) a fenti lépések alapján a számítási belmagasság ( $H$ ) és füstszegény rétegmagasság (jellemzően a füstkötény alsó síkja) alapján meghatározható egy füstszakasz szükséges hatásos nyílásfelülete. Majd a szükséges hatásos nyílásfelet alapján meghatározható a szükséges kupolaszám és légpótló nyílások füstszakaszonkénti felülete (a gyártók a hatásos és névleges kupolaméretet összerendelve közléteszik).

Az épület, helyiség rendeltetése	Méretezési csoport	Méretezési csoport					
		1	2.	3.	4.		
		Számított belmag. $H$ , m	Füstszegény levegőréteg $h$ , m	Hatásos nyílásfelület füstszakaszonként			
Koncertterem, konferenciaterem, gyűlésterem, egyesületi terem, kultúrterem, vetítőterem, színházterem elszigetelhető színpaddal	2	4,00	3,00	6,43	9,10	14,90	22,72
		4,50	3,00	5,25	7,40	12,17	18,56
			3,25	6,23	8,78	14,45	22,02
			3,50	7,50	10,57	17,39	26,50
		5,00	3,00	4,55	6,41	10,54	16,07
			3,25	5,27	7,42	12,21	18,61
Oktatási intézmények	2		3,50	6,13	8,63	14,20	21,65
Vallási intézmények	2		3,75	7,19	10,13	16,67	25,41
Egészségügyi intézmények	2		4,00	8,58	12,08	19,88	30,29
Hivatalok, bankok, irodák	2	5,50	3,00	4,07	5,73	9,43	14,37
Fedett sportlétesítmények	2		3,25	4,65	6,54	10,77	16,41
Színházterem teremben lévő színpaddal, díszletekkel	3		3,50	5,31	7,47	12,30	18,75
			3,75	6,08	8,56	14,09	21,47
			4,00	7,00	9,86	16,23	24,74
Bál- vagy táncterem	2		4,25	8,15	11,48	18,89	28,80
			4,50	9,65	13,60	22,40	34,10

2. ábra. Részlet TvMI 3.6:2025.02.01. méretezési táblázataiból. Balra a rendeltetés besorolása, jobbra hatásos nyílásfelület méretezési táblázata. A kiválasztás a méretezési csoport, a számítási belmagasság és a füstszegény levegőréteg alapján történik

A méretezési táblázatból (2 sz. ábra) a fenti lépések alapján a számítási belmagasság (H) és füstszegény levegőréteg magassága (jellemzően a füstköteny alsó síkja) alapján meghatározható egy füstszakasz hő- és füstelvezetőinek szükséges együttes hatásos nyílásfelülete. A szükséges hatásos nyílásfelület alapján meghatározható a szükséges kupolaszám és légpótló nyílások felülete.

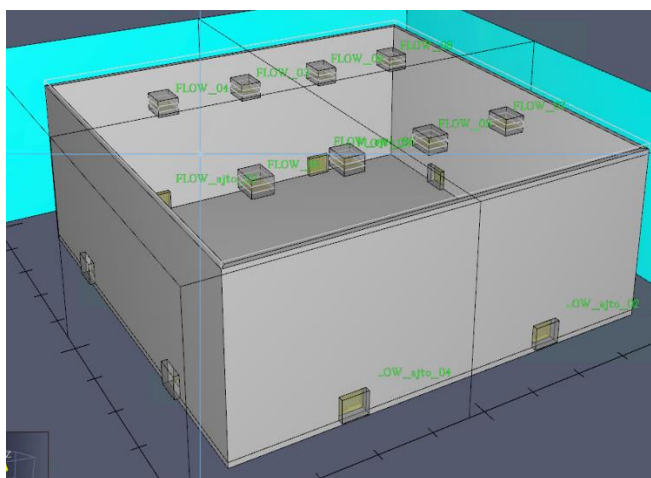
A TvMI 3.6:2025.02.01. méretezési táblázatának új értékeit (2 sz. ábra) a 2024. évi fejlesztés során a zónamodellek alapján javasoltuk korrigálni. Mivel főleg az alacsony belmagasság tartományában a zónamodellek jelentősen nagyobb hatásos elvezető- és légpótló nyílásokat eredményeztek, így az új értékek növelésére korlátokat vezettünk be. Az egyes méretezési csoportokban rendre maximum 5, 10, 15, illetve 20%-os emelést javasoltunk. Nagyobb belmagasság tartományában, a zónamodellek kedvezőbb eredményeket adtak ezekben az esetekben az eredeti értéket javasoltuk. Az új értékek hatására kialakuló füsttelítettséget szimulációs modell segítségével vizsgáltuk.

#### 4. SZIMULÁCIÓS MODELL ÉS EREDMÉNYEI

A tételes előíráson alapuló méretezési táblázat 720 esetet tartalmaz. Ennek az esetszámnak a modellezése, futtatása, értékelése igen időigényes, ezért zónamodellek eredményei alapján kiválasztottuk a kritikus eseteket és csak ezeket vizsgáltuk. A szűkítés után 32 eset maradt.

A szoftvert fejlesztő Thunderhead Engineering engedélyével a 3 dimenziós feldolgozást a Pyrosim nevű programmal végeztük, amelynek verziószáma 2024.1.0702. A modellezett nagylégterű helyiség minden esetben 40x40 méter oldalhosszúságú volt. A belmagasságot, a hő- és füstelvezető kupolák és légpótló nyílásainak méretét a Hő- és füst elleni védelemről szóló TvMI 2025. februárban kiadott változatában szereplő értékek szerint változtattuk. Az objektum paraméterei: a falak, födéme, padlók adiabatikusak, tehát az épületszerkezetek és a termikus környezet között hőátadás nincs. A vizsgálati tér üres; a hő- és füstelvezető és légpótló felületeket egyenletesen osztottuk ki. Mivel a tételes előíráson alapuló méretezési módszer az oltóberendezés hűtőhatását nem veszi figyelembe, ezért a modellterben nincs oltóberendezés. A szimuláció indításának pillanatában a hő- és füstelvezető és légpótló felületek nyitott állapotban vannak, ezért a modellterben sem tűzjelző érzékelőket, sem tűzjelző berendezés által vezérelt elemeket nem alkalmaztunk. Mivel az elvezetés és légpótlás Reynolds-száma nagyobb mint  $10^5$ , ezért az éles sarokként modellezett elemek átfolyási tényezőjét állandónak feltételeztük; értéke 0,6. A hatásos elvezető és légpótló felületek azonos méretűek. A tűz felülete  $A=5 \text{ m}^2$ , a maximális teljesítményt 10 s-al a szimuláció indítása után éri el. A futtatási idő 500 s. Ekkor a vizsgált jellemzők értékei időben állandósultak. A szimulációban alkalmazott cellaháló mérete 50x50x50 cm volt, amely belátható szimulációs időt és egyben kellő pontosságú eredményt szolgáltatott.

A csarnokban a tűz tengelyében hőmérséklet és látótávolság vizsgálati síkokat helyeztünk el. A kupolák és a légpótlók síkjába térfogatáram mérőket helyeztünk, ezek segítségével értékeltük a szimuláció eredményeit.



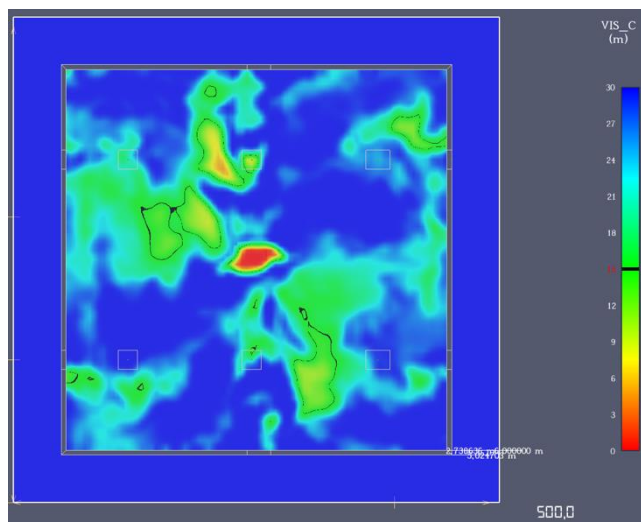
3. ábra. Szimulációs modell

A szimuláció során kapott eredményeket táblázatba rendeztük és 3 kategóriába soroltuk őket: nem felel meg; részlegesen felel meg; megfelel. Nem felel meg kategóriába soroltuk azokat az eseteket, amikor

füstszegény levegőréteg magassága 2 méter alá csökken vagy akár kitölti a teljes csarnok belmagasságát. Ezekben az esetekben a csarnokban nem teljesülnek a menekülés és tűzoltói beavatkozás feltételei, a padlószinten nullára csökkent a látótávolság. Általában a méretezési csoporttól függetlenül a kisebb belmagasságú csarnokokra volt jellemző ez az eredmény.

Megfeleltek tekintettük azokat az eseteket, ahol a füstszegény rétegmagasság elérte vagy meghaladta a hatályos Hő és füst elleni védelemről szóló TvMI által előírt értéket. Ezekben az esetekben a csarnokban teljesült a füstszegény rétegmagasságra vonatkozó követelmény.

Részlegesen megfeleltek tekintettük azokat az eseteket, ahol a füstszegény réteg magasságára vonatkozó feltételek nem teljesülnek, de a 2 méter magas vizsgálati síkon nagyrészt teljesülnek a menekülés és a tűzoltói beavatkozás feltételei. A csarnokban a látótávolság a tűz csóvájától eltekintve nem csökken 15 méter alá (2 sz. ábra).



4. ábra. 2 méter magasan a látótávolság. A fekete vonal a 15 méteres látótávolság határát jelöli

A vizsgálatok alapján elmondható, hogy ezek az esetek szintén megfelelőnek tekinthetők, mivel a menekülés és a tűzoltói beavatkozás feltételeinek megfelelnek. Általában igaz, hogy a nagyobb számítási belmagasságú terek könnyebben teljesítik a 2 méter magas vizsgálati síkban a látótávolságra vonatkozó követelményeket.

Az alábbi táblázatban zöld színnel jelöltük a megfelelt, sárgával a részlegesen megfelelt, illetve a pirossal a nem megfelelt eseteket.

Eset megnevezése	Füstszegény rétegmagasság eredménye (m)	Eltérés a TvMI értékeitől
ESET, H4m, h3m, I, 5MW, 0,05	0	-100,0%
ESET, H4m, h3m, II, 10MW, 0,05	0	-100,0%
ESET, H4m, h3m, III, 25MW, 0,10	0	-100,0%
ESET, H4m, h3m, IV, 50MW, 0,198	0	-100,0%
ESET, H6m, h5m, I, 5MW, 0,05	3,05	-39,0%
ESET, H6m, h5m, II, 10MW, 0,05	2,73	-45,4%
ESET, H7,5m, h6,5m, III, 25MW, 0,10	4,94	-24,0%
ESET, H8,5m, h7,5m, IV, 50MW, 0,198	5,73	-23,6%
ESET, H6,5m, h5,5m, I, 5MW, 0,05	3,47	-36,9%
ESET, H6,5m, h5,5m, II, 10MW, 0,05	3,44	-37,5%
ESET, H8m, h7m, III, 25MW, 0,1	5,35	-23,6%
ESET, H9m, h8m, IIII, 50MW, 0,198	6,6	-17,5%
ESET, H7m, 6m, I, 5MW, 0,05	3,88	-35,3%
ESET, H7m, 6m, II, 10MW, 0,05	3,48	-42,0%
ESET, H14,5m, h7,5m, IV, 50MW, 0,198	8,04	7,2%
ESET, H15m, h8m, I, 5MW, 0,05	6,77	-15,4%
ESET, H15m, h8m, II, 10MW, 0,05	7,4	-7,5%
ESET, H15m, h8m, III, 25MW, 0,10	7,89	-1,4%
ESET, H15m, h8m, IV, 50MW, 0,198	8,5	6,3%

5. ábra. Összefoglaló táblázat. Piros – nem felel meg; Sárga – részlegesen felel meg; Zöld – megfelel

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunkban szimulációval vizsgáltuk, hogy a zónamodellek alapján a Hő- és füst elleni védelemről szóló TvMI-ben javasolt új füstszakaszonkénti hatásos nyílásfelület értékek teljesítik-e a füstszegény rétegmagasságra vonatkozó követelményeket.

A szimuláció eredményei segítségével megvizsgáltuk a nagylégterű helyiségben kialakuló füstszegény rétegmagasságot, amelyet összehasonlítottunk a tételes előíráson alapuló módszerben megfogalmazott követelményekkel. A szimuláció során kapott eredményeket táblázatba rendeztük és az eredményeket 3 kategóriába soroltuk: nem felel meg; részlegesen felel meg; megfelel. Nem felel meg kategóriába soroltuk azokat az eseteket, amikor a füsttel telt rétegmagasság 2 méter alá csökken vagy akár kitölti a teljes csarnok belmagasságát. Részlegesen megfeleltnek tekintettük azokat az eseteket, ahol a füstszegény rétegmagasságra vonatkozó feltételek nem teljesülnek, de a 2 méter magas vizsgálati síkon teljesülnek a menekülés és a tűzoltói beavatkozás szimulációs TvMI-ben rögzített peremfeltételei. Megfeleltnek tekintettük azokat az eseteket, ahol a füstszegény rétegmagasság elérte vagy meghaladta az új TvMI által előírt értéket. A szimulációs modell eredményinek ismeretében általában elmondható, hogy megfelelt kategóriába csak igen kevés esetet tudunk sorolni. Ezek az esetek a IV méretezési csoportban a 15 m-es belmagasság környékén voltak. A hatásos felületek növelése ellenére továbbra is kritikusak – méretezési csoporttól függetlenül – az alacsony belmagasságú terek. Az okok értehetőek: a kis belmagasság miatt a füstnek nincs megfelelő füstgyűjtő tere, így a csarnok szinte azonnal telítődik füsttel. A közepes belmagasságú terek általában részlegesen megfeleltnek. Ezekben az esetekben az eredmények elfogadhatóak; ugyan nem teljesítik a tételes előíráson alapuló füstszegény rétegmagasságot, de a tartózkodók terében megfelelő látótávolság alakul ki. A soron következő TvMI felülvizsgálatánál javasolt az alacsony belmagasságra vonatkozó értékek további újragondolása [8].

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Björn Karlsson, James G. Quintiere, Enclosure fire dynamics, 2000, CRC Press LLC ISBN 0-8493-1300-7
- [2] Szikra Cs, A hő- és füstelvezetés elméleti háttere, Védelem, 2012. 1. szám, PP.: 25-28, ISSN: 1218-2958;
- [3] Szikra Cs, Zárt terek tűzmodellézése, ÉPKO – 2012, XVI. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, SSN 2734-4525
- [4] Szikra Cs, Mérnöki módszerek alkalmazása a hő- és füstelvezetésben, ÉPKO – 2013, XVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, SSN 2734-4525
- [5] Hő- és füst elleni védelem Tűzvédelmi Műszaki irányelv (TvMI 3.6:2025.02.01.). <https://www.katasztrófavédelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78637.pdf>
- [6] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról (OTSZ), hatályos változata 2022.06.13-től
- [7] Szikra Cs, Nagylégterű helyiségek tételes előírásokon alapuló hő- és füstelvezetés méretezésének problémái, ÉPKO – 2023, XXVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, ISSN 2734-4525
- [8] Szikra Bálint – Négy méternél nagyobb belmagasságú csarnok jellegű épületek hő- és füstelvezetésének tételes előíráson alapuló módszerének összevetése számítógépes szimulációval - Szakdolgozat Óbudai egyetem, 2024, konzulens, Dr. Molnár Ildikó, Dr. Takács Lajos Gábor