

Mihály István¹

Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezése

Design of Pressurized Staircases

Absztrakt

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak hatékony működésének egyik legfontosabb feltétele, hogy megfelelően legyen meghatározva a légellátó rendszer kapacitása. Az ehhez szükséges bevezetendő levegőmennyiség számításához hazánkban a hő és füst elleni védelemről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelv javasol műszaki megoldást. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatban meghatározott biztonsági szint elérhető a tűzvédelmet érintő nemzeti szabvány betartásával is, amely az MSZ EN 12101-13:2022 szabvány, illetve az abban szereplő számítási módszerek. Jelen publikációban egy meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházba bevezetendő levegőmennyiség meghatározását mutatom be, figyelembe véve annak adottságait. A hazai, valamint a harmonizált szabvány számítási módszereinek alkalmazásával kapott értékeket összevetem a meglévő lépcsőház légtechnikai mérésének eredményeivel.

Kulcsszavak: füstmentes lépcsőházak, differenciálnyomás-mérés, PDS, légtechnikai rendszerek

Abstract

One of the most important conditions for the efficient operation of pressurized stairwells is to properly determine the capacity of the air supply system. In order to determine the required amount of air to be introduced for this purpose, the Fire Protection Technical Guideline on Protection against Heat and Smoke spread recommends a technical solution. The safety level defined in the National Fire Protection Regulation can also be achieved by complying

¹ Tűzvédelmi tervező, igazságügyi szakértő, ügyvezető, BRANDPLAN Kft.; doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: m.istvan@brandplan.hu

with the national fire protection standard, which is the MSZ EN 12101-13:2022 standard, and the calculation methods included in it. In this publication, the determination of the amount of air to be introduced into an existing pressurized stairwell is presented, taking into account its characteristics. The values obtained by applying the calculation methods of the domestic as well as the harmonized standard are compared with the results of the ventilation measurement of the staircase.

Keywords: pressurized staircases, differential pressure measurements, PDS, ventilation systems

Bevezetés

A füst és a mérgező égésgázok füstmentesített térbe való bejutásának megakadályozása két alapelv mentén valósul meg. Egyrészt a bevezetett levegő által létrehozott túlnyomás megakadályozza a füstmentesítendő térbe irányuló áramlásokat úgy, hogy az a lépcsőházba való bejutást nem gátolja. Ez főként a kis keresztmetszetű hézagokon, réseken értelmezhető.² Másrészt a levegő áramlása bizonyos mértékben képes irányítani a füst áramlását, ha az átlagos légsebesség megfelelő nagyságú.³

Egyes vizsgálatok azt mutatták, hogy a füst bejutásának megakadályozásához szükséges átlagos légsebesség 0,7 m/s.⁴ A bevezetendő levegőmennyiség meghatározásának szempontjából fontos a számításba vett nyitott nyílászárók mennyisége és azok mérete.⁵

A réseken keresztüli füstbejutás megakadályozása nemzetközi előírásokban a lépcsőház egyéb jellemzőitől is függ; 2,7 m átlagos belmagasság mellett sprinklerzetlen épületben 20–30 Pa közötti érték jellemző.⁶ A füstmentesítéssel kapcsolatos követelményeket újonnan tervezendő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) határozza meg.⁷ Ezen előírások kielégítésére alkalmazható megoldási javaslatokat tartalmazó műszaki irányelv a hő és füst elleni védelemről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelv (TvMI).⁸

Külföldi megfigyelések azt mutatják, hogy a tervezők egy része sok esetben saját tapasztalatai alapján végzi a füstmentesítő rendszerek méretezését, ami a követelmények keretrendszerének betartása mellett bizonyos (kisebb léptékű) épületek esetén megfelelő lehet.⁹ A tűzvédelmi hatóság a tűzvédelmi műszaki irányelvektől vagy a nemzeti szabványtól részben vagy teljesen eltérő megoldást kérelemre jóváhagyhatja, ha a legalább azonos biztonsági szintet a kérelmező igazolja.¹⁰

A levegő épületen belüli áramlását irányító alapvető erők a hőmérséklet-különbségből adódó áramlás, az égési gázok térfogatának növekedése, az égési gázok

² HURLEY et al. 2016: 1785; LOUGHEED–KO 2016.

³ KLOTE–MILKE 1992: 37.

⁴ LEE–LAU 2023: 132–153.

⁵ International Code Council and Society of Fire Protection Engineers 2022: 210.

⁶ NFPA 92 2021: 92-8; International Code Council 2021: 909; MSZ EN 12101-13 2022: 10; AS 1668.1 2015: 8.3.

⁷ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet.

⁸ BÉRCZI–BADONYSZKI 2021: 66–96.

⁹ KLOTE et al. 2012: 227.

¹⁰ 489/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet.

és a környezet hőmérséklet-különbségéből adódó felhajtóerő, szél, valamint gépi szellőzőberendezések.¹¹

A lépcsőházi túlnyomásos szellőztetőrendszerek csoportosíthatók aszerint is, hogy a levegő bevezetése egy vagy több ponton történik, azonban a lépcsőház füstmentesítését jellemzően egyetlen ventilátor biztosítja.¹²

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak méretezésének alapjait csaknem 24 éven keresztül az ME-04–132–84 építésügyi ágazati műszaki előírás tartalmazta, amelyet a későbbiekben lényegében elhanyagolható módosításokkal a 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendeletbe emeltek át.¹³

A tervezési szabványok útmutatást adnak például a létrehozandó túlnyomásra, minimális légsebességekre, ajtónyitáshoz szükséges erőre.¹⁴ Egyes létesítményekben a füstmentesítő rendszerek szerepe alárendelt lehet egyéb céloknak (például radioaktív anyagok kikerülésének megakadályozása), amely esetekben azok különleges feltételekkel tervezendők.¹⁵

Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak méretezési és tervezési módszereit is tartalmazó harmonizált európai szabvány az MSZ EN 12101-13. A szabvány táblázatos értékeket is tartalmaz egyes épületszerkezetek (falak, födégek), ajtók és egyéb elemek résméreteire.¹⁶

A hatékony füstmentesítés elérésének két fontos eleme a megfelelő túlnyomás és légmennyiség biztosítása csukott, illetve nyitott nyílászárók esetén. Nem csupán az épület kiürítésében, hanem a tűzoltói beavatkozás hatékonyságában is fontos szerepe van, továbbá lehetőséget ad a beavatkozást végző tűzoltók számára a helyszín biztosítására is.¹⁷

Fenti célok elérésének egyik eleme a légellátó rendszerek körültekintő méretezése. Jelen publikációm célja megvizsgálni a hazai és a harmonizált európai előírások szerinti méretezési módszereket annak érdekében, hogy javaslatot tudjak tenni ezek fejlesztésére az általam végzett gyakorlati mérések eredményeivel támogatva.

A vizsgálat tárgyának bemutatása

A vizsgált lépcsőházat tartalmazó épület főbb paraméterei a helyszíni felmérés alapján

A vizsgálat tárgyát képező, előtér nélkül kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőház egy budapesti középmagas oktatási intézmény épületében található. Az építmény két pinceszint, földszint és négy emelet felépítésű, legfelső használati szintjének szintmagassága +14,75 m, legalsó használati szintjének szintmagassága –7,64 m

¹¹ KLOTE–MILKE 2002: 66.

¹² KLOTE 1991: 155.

¹³ AMBRUS et al. 2006: 11–12.

¹⁴ NFPA 92 2021: 92-8; International Code Council and Society of Fire Protection Engineers 2022: 210.

¹⁵ ANTAL–VASS–KÁTAI–URBÁN 2017: 17–30.

¹⁶ RECKNAGEL–SPRENGER–ALBERS 2022: 1842.

¹⁷ VARGA 2018.

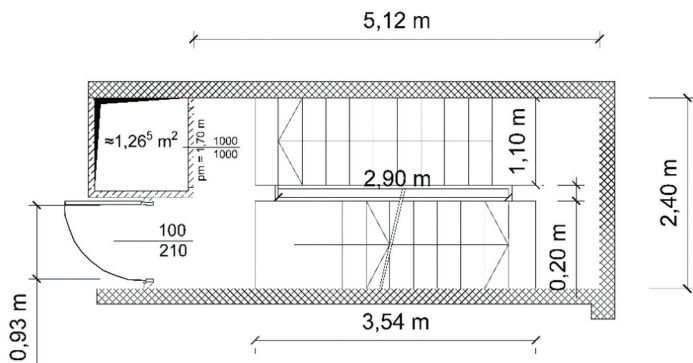
a kijárat szinthez (földszinthez) viszonyítva. A talajszint feletti szinteken oktatási tevékenységet végeznek (oktatótermek, irodák), a talajszint alatti szintek alapterületének döntő hányada személygépjárművek tárolására szolgál. A földszinten helyezkedik el egy előadóterem, amelynek befogadóképessége meghaladja a 300 főt, továbbá a helyiségen belül a fajlagos létszámsűrűség meghaladja az 1,0 fő/m²-t. Az oktatási épületben jellemzően önállóan menekülésre képes személyek tartózkodnak, azonban a rendeltetéséből adódóan segítséggel menekülő személyek jelenlétére is kell számítani.

Az épület engedélyezése során a 2/2002. (I. 23.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat előírásai voltak irányadók. Ez alapján az épület „C” tűzveszélyességi osztályba tartozott, épületszerkezeteit legalább a II. tűzállósági fokozat követelményeinek megfelelően alakították ki. Az épület kiürítésének fő irányait jelentő füstmentes lépcsőházakba vezető nyílászárók általános helyeken 30 perc tűzállósági határértékkel rendelkeznek, tűzszakaszhatáron ez az érték 60 perc. A füstmentes lépcsőházak tervezésekor figyelembe kellett venni az ME-04–132–84 építésügyi ágazati műszaki előírást is.

A jelenleg hatályos, többszörösen módosított, 54/2014. (XII. 5.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat alapján az épület mértékadó kockázati osztálya KK (közepes kockázat). A 14 m-t meghaladó szintkülönbség miatt az épület kiürítésre figyelembe vett lépcsőházait jelenleg is füstmentes lépcsőházként kellene kialakítani. A füstmentes lépcsőházból a biztonságos térbe jutás napjainkban előírt követelményét a lépcsőházak nem tudják teljesíteni, azonban a létesítéskor még nem volt ilyen jellegű kötelezettség.

A füstmentesítő rendszer főbb paraméterei a helyszíni felmérés alapján

A lépcsőház füstmentesítő ventilátora a tetőn helyezkedik el, visszacsapó közbeiktatásával csatlakozik az előírt tűzállósági teljesítménnyel rendelkező, szerelt gipszkarton szerkezetből készült, hozzávetőleg 1,3 m² keresztmetszetű befúvó aknába. A lépcsőház három oldalról 20 cm vastagságú monolit vasbeton fallal határolt, negyedik oldalán a szerelt gipszkarton befúvó akna és a lépcsőházba vezető ajtók találhatóak, szintén szerelt szerkezetbe építve. Az aknából a lépcsőházba a levegő bevezetése szintenként történik az akna falába épített 1000/1000 mm méretű, fix zsalukon keresztül. A lépcsőházba egyéb nyílászáró nem nyílik.



1. ábra: A mérés tárgyát képező lépcsőház alaprajzi elrendezése a kijárat szinten

Forrás: a szerző szerkesztése

A lépcsőházban kialakuló relatív túlnyomást két darab differenciálynomás-érzékelő (nyomástávadó) érzékeli, amelyek a pincszinten és a harmadik emeleten található. Viszonyítási pontjuk a lépcsőház légtere és az adott szint közlekedőjének légtere. A lépcsőházba nyíló egyszárnyú tűzgátló ajtók éghetősége építőipari műszaki engedélyük szerint „nem éghető”, vizsgálatl igazolt tűzállósági határértékük „TH = 0,5 óra”, légzárési fokozatuk L4. A talajszint alatti szinteken, illetve tűszakaszhatáron elhelyezkedő ajtók tűzállósági határértéke „TH = 1,0 óra”. Túlnyomáslevezetésre szolgáló felület a lépcsőházban nem létesült.



2. ábra: A lépcsőház füstmentesítő ventilátora a zárófödemen

Forrás: a szerző felvétele

A lépcsőházi nyomásszabályozás PI szabályozással történik 0,5 arányossági tényezővel és 20 s integrálási idővel, amelyen a mérések során nem változtattunk. A beállított alapjel 40 Pa, a minimális frekvencia 20 Hz, amely megegyezett a startfrekvenciával. A ventilátor tervezett légszállítása 36 000 m³/h, össznyomása 336 Pa. A lépcsőház légtechnikai mérése során az engedélyezéskor érvényes követelmények teljesülését ellenőriztem.

Bevezetendő levegőmennyiség meghatározása

A hazai és a harmonizált szabvány szerinti méretezés összehasonlítása végett meghatároztam a meglévő lépcsőházba vezetendő levegőmennyiséget a hatályos TvMI, valamint az MSZ EN 12101-13 szabvány alapján is. Az alábbiakban a TvMI és a szabvány ajánlása szerinti méretezést mutatom be.¹⁸

Bevezetendő levegőmennyiség meghatározása hazai ajánlások szerint¹⁹

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházba vezetendő levegőmennyiség meghatározásához a TvMI ad méretezési javaslatot. Ez alapján csukott ajtók esetén az (1) egyenlet szerint számított levegőmennyiséget szükséges a lépcsőházba betáplálni, továbbá középmagas épületben a füstmentes lépcsőházi nyitott ajtók légveszteségi értéke a szabad nyílás m²-enkénti felületére számítva 1,0 m³/s.²⁰ A nyitott ajtók légveszteségi értékét a (2) képlettel határoztam meg.

$$\dot{V} = c \cdot \Delta p^n \cdot l \quad (1)$$

$$\dot{V}_{ny} = N \cdot (\zeta) \cdot A \cdot 1 \cdot 3600 \quad (2)$$

Fentiek alapján a méretezendő lépcsőházba csukott, illetve a TvMI szerint meghatározott 3 db nyitott lépcsőházi ajtó esetén a vezetendő levegőmennyiség, egyszerűsítés végett $\zeta = 1,0$ feltételezésével, az (1)–(2) képletekkel számítva:

$$\dot{V} = 1,11 \cdot 50^{0,67} \cdot 6 \cdot (2 \cdot 2,27 + 2 \cdot 1,00) \cong 599 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

$$\dot{V}_{ny} = 3 \cdot 1 \cdot (2,27 \cdot 1,00) \cdot 1 \cdot 3600 = 23\,121 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4)$$

A lépcsőházi ajtók nem teljesítik az S200 füstgátlási követelményt, azonban a rendelkezésemre álló vizsgálati jegyzőkönyv szerint az ajtó légáteresztése 50 Pa nyomáskülönbségen vizsgálva 26,1 m³/h volt, így a TvMI szerinti képlet alkalmazását elfogadhatónak tartottam. A (3) és (4) képletek alapján nyitott ajtók mellett körülbelül negyvenszeresre növekedett az igényelt légmennyiség.

¹⁸ Hő és füst elleni védelemről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 2022; MSZ EN 12101-13 2022: 10.

¹⁹ Hő és füst elleni védelemről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 2022.

²⁰ Hő és füst elleni védelemről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 2022.

Bevezetendő levegőmennyiség meghatározása az MSZ EN 12101-13:2022 szerint

Az MSZ EN 12101-13:2022 szabvány szerinti méretezéskor három állapotot vizsgáltam, amelyek közül az első kettő kizárólag a szabvány ajánlásain alapul, míg a harmadik esetben a TvMI által javasolt paramétereket alkalmaztam.

1. táblázat: Az MSZ EN 12101-13 szabvány szerinti méretezéskor meghatározott állapotok

| Eset | Lépcsőházi ajtók állapota | | | Tervezési nyomás | Tervezett légsebesség |
|------|---------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|
| | Kijárat szint | Tűzzel érintett szint | Egyéb szinteken | | |
| A) | csukva | csukva | csukva | 30 Pa | – |
| | csukva | nyitva | csukva | – | 1 m/s |
| B) | nyitva | csukva | csukva | 30 Pa | – |
| | nyitva | nyitva | csukva | – | 1 m/s |
| C) | csukva | csukva | csukva | 50 Pa | – |
| | nyitva | nyitva | további egy nyitott | – | 1 m/s |

Forrás: a szerző szerkesztése

Valamennyi állapotra meghatároztam a bevezetendő levegőmennyiséget a szabvány szerinti számítási módszer alkalmazásával. A méretezéskor a lépcsőházat 1. osztályba soroltam, így a tervezett légsebesség nyitott nyílászáró esetén a tűzzel érintett szinten 1 m/s volt. Az A) és B) állapotok a szabvány szerinti elrendezéseket mutatják, amelyben megkülönböztetünk csukott kijárat szinttel és nyitott kijárat szinttel tervezett rendszereket. A C) állapotban az ajánlások közötti összehasonlítás végett a hazai követelményekkel végeztem el a számításokat a szabvány szerinti számítási módszerrel.

A méretezési képletekben nem tüntettem fel azon összetevőket, amelyek értéke a vizsgált lépcsőház kialakításából adódóan zérus. Ilyen például az ablakok résein áramló levegő, levegőelvezető aknák. A méretezés során figyelembe vett és a számítások során releváns paramétereket, továbbá a szabvány által ajánlott és alkalmazott állandókat a 2. és 3. táblázatban foglaltam össze.

2. táblázat: Az MSZ EN 12101-13:2022 szabvány által javasolt és a méretezés során alkalmazott értékek

| Jellemző | Jelölés | Érték |
|--|--------------------|----------------------|
| Lépcsőházba nyíló ajtó részfelülete | A_D | 0,01 m ² |
| Lépcsőházból nyíló ajtó részfelülete | | 0,02 m ² |
| Falak réshányada (átlagos tömörség) | A_{LW}/A_{WALL} | $1,1 \times 10^{-4}$ |
| Födémek réshányada | A_{FL}/A_{FLOOR} | $5,2 \times 10^{-5}$ |
| Légsebesség a homlokzati nyíló szerkezeten | v_{vent} | 2,5 m/s |

Forrás: a szerző szerkesztése

3. táblázat: Az MSZ EN 12101-13:2022 szabvány szerinti számítások során a lépcsőház kialakítására vonatkozó releváns paraméterek összefoglalása

| Jellemző | Érték | Jellemző | Érték |
|---------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Szintek | -1/0/1/2/3/4 | Ajtó szabad szélessége | 1,00 m |
| Alapterület | 13,56 m ² | Ajtó szabad magassága | 2,27 m |
| Kerület | 16,10 m | A _{LW} | 3,66 × 10 ⁻² |
| Átlagos belmagasság | 3,40 m | A _{LF} | 1,41 × 10 ⁻³ |
| Teljes magasság | 20,69 m | Méretezési osztály | 1 |

Forrás: a szerző szerkesztése

A) Méretezés a szabvány szerint, a kijárat szinten csukott nyílászárót feltételezve

A vizsgált lépcsőház esetén – figyelembe véve annak adottságait és sajátosságait – a tervezési nyomáskülönbség fenntartásához szükséges levegőmennyiséget a kijárat szinten csukott nyílászárót feltételezve a szabvány szerinti képlettel számítottam (5).

$$Q_{TDC}^{\square} = 1,5 \cdot Q_{SDC}^{\square} = 1,5 \cdot (Q_{DC}^{\square} + Q_{WALL}^{\square} + Q_{FLOOR}^{\square}) \quad (5)$$

$$Q_{DC}^{\square} = 0,83 \cdot A_D \cdot 30^{0,5} \quad (6)$$

$$Q_{WALL}^{\square} = 0,83 \cdot A_{WALL} \cdot \left(\frac{A_{LW}}{A_{WALL}}\right) \cdot 30^{0,625} \quad (7)$$

$$Q_{FLOOR}^{\square} = 0,83 \cdot A_{FLOOR} \cdot \left(\frac{A_{LF}}{A_{FLOOR}}\right) \cdot 30^{0,625} \quad (8)$$

A tűzzel érintett szinten nyitott ajtó esetén a szabad keresztmetszetben 1 m/s légsebesség biztosításához szükséges térfogatáramot a (9) képlettel határoztam meg (szabvány szerinti 1. osztályba sorolt lépcsőház). Továbbá a közlekedőre jutó levegőmennyiség elvezetéséről is gondoskodni kell, amelyhez a szükséges hatásos elvezető/szellőző felületet a (10) képlettel számítottam, és a kialakuló térfogatáram jelen esetben megegyezik a tűzzel érintett szinten lévő nyitott ajtón átáramló levegőmennyiséggel. A tényleges felület méretezése természetesen az adott elemek ellenállásának figyelembevételével kell történnjen. A szabvány ajánlása alapján az áramlási veszteségeket figyelembe véve a (11) képlettel meghatároztam a nyitott nyílászáró mellett a lépcsőházban fennmaradó túlnyomást. [A (11) képletben Q_{DO} a szabvány A.5.4. pontjában Q_{VA}-ként szerepel, amit jelen publikációban javítottam.] Ezzel a nyomással számítva, behelyettesítve azt a (12) képletbe számítottam ki a nyitott ajtó esetén bevezetendő összes levegőmennyiséget.

$$Q_{DO}^{\square} = v \cdot A_{DOOR}^{\square} (= Q_{VA}) \quad (9)$$

$$A_{VA}^{\square} = \frac{Q_{VA}^{\square}}{v_{vent}} \quad (10)$$

$$P_{SC}^{\square} = \left(\frac{Q_{VA}}{0,83 \cdot A_{VA}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{DO}}{0,83 \cdot A_{DOOR}}\right)^2 \quad (11)$$

$$Q_{TDO}^{\square} = [0,83 \cdot (A_{LW} + A_{LF}) \cdot P_{SC}^{0,625}] + 0,83 \cdot A_D \cdot P_{SC}^{0,5} + Q_{DO} \quad (12)$$

Az A) esetben valamennyi csukott lépcsőházi ajtó esetén 30 Pa relatív túlnyomást, a tűzzel érintett szinten nyitott ajtót feltételezve annak keresztmetszetében 1 m/s légsebességet kell biztosítani.

A bevezetendő levegőmennyiség a (6)–(8) képletekkel, szabvány szerinti számítással:

$$Q_{DC}^{\square} = 0,83 \cdot 0,07 \cdot 30^{0,5} = 0,318 \text{ m}^3/\text{s} \quad (13)$$

$$Q_{WALL}^{\square} = 0,83 \cdot 333,11 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 30^{0,625} = 0,255 \text{ m}^3/\text{s} \quad (14)$$

$$Q_{FLOOR}^{\square} = 0,83 \cdot 27,12 \cdot 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 30^{0,625} = 0,010 \text{ m}^3/\text{s} \quad (15)$$

Fentiek alapján az (5) képletbe behelyettesítve az összes bevezetendő levegőmennyiség csukott lépcsőházi ajtók mellett 0,875 m³/s (3 150 m³/h).

A tűzzel érintett szinten nyitott ajtót feltételezve, a nyitott ajtó szabad keresztmetszetében 1 m/s légáramlás biztosításához szükséges levegőmennyiség, a kiáramló levegő elvezetéséhez szükséges felület, valamint a lépcsőház becsült túlnyomása a (9)–(12) képletekkel, szabvány szerinti számítással:

$$Q_{DO}^{\square} = 1 \cdot 2,27 = 2,27 \text{ m}^3/\text{s} \quad (16)$$

$$A_{VA}^{\square} = \frac{2,27}{2,5} = 0,91 \text{ m}^2 \quad (17)$$

$$P_{SC}^{\square} = \left(\frac{2,27}{0,83 \cdot 0,91}\right)^2 + \left(\frac{2,27}{0,83 \cdot 2,27}\right)^2 = 10,48 \text{ Pa} \quad (18)$$

Fentiek alapján a (12) képletbe behelyettesítve az összes bevezetendő levegőmennyiség a tűzzel érintett szinten nyitott lépcsőházi ajtó esetén 2,57 m³/s (9 252 m³/h).

A tervezés alapján bevezetendő levegőmennyiség a vizsgált lépcsőházba Q_{TDC} és Q_{TDO} közül a nagyobb érték 15% további biztonsági tartalékkal növelve, azaz jelen esetben 2,96 m³/s (10 656 m³/h). Nyitott ajtók mellett körülbelül háromszorosára növekedett az igényelt légmennyiség.

B) Méretezés a szabvány szerint, a kijárat szinten nyitott nyílászárót feltételezve

Ez a tervezési koncepció azon alapul, hogy a kijárat szinten lévő nyílászáró mindig nyitott állapotban van, azaz a kívánt túlnyomáshoz szükséges térfogatáram meghatározásakor a nyitott ajtón távozó levegőmennyiséget is kompenzálni szükséges.

Vagyis Q_{TDC} értéke kiegészül a nyitott kijárat ajtón keresztül tervezési nyomáson (30 Pa) kiáramló levegőmennyiséggel (20), illetve Q_{DC} értéke egy ajtónyi résen kiáramló levegő mennyiségével csökken, hiszen a kijárat ajtó ez esetben nyitva van.

$$Q_{TDC}^{\square} = 1,5 \cdot Q_{SDC}^{\square} + Q_{ED} = 1,5 \cdot (Q_{DC}^{\square} + Q_{WALL}^{\square} + Q_{FLOOR}^{\square}) + Q_{ED} \quad (19)$$

$$Q_{ED}^{\square} = 0,83 \cdot A_{ED} \cdot 30^{0,5} \quad (20)$$

A tűzzel érintett szinten nyitott ajtót feltételezve, annak szabad keresztmetszetében megkövetelt légsebesség jelen esetben is 1 m/s. A lépcsőházban fennmaradó túlnyomás egy része a határolószerkezetek, csukott ajtók résein keresztül hoz létre áramlásokat,

míg jelentős része a kijáratú ajtón keresztül távozik a lépcsőházból. Q_{TDO} értéke ennek megfelelően kiegészül egy Q_{EDO} taggal, vagyis a nyitott ajtók mellett becsült lépcsőházi túlnyomás hatására a kijáratú ajtón kiáramló levegő mennyiségével.

$$Q_{TDO}^{\square} = [0,83 \cdot (A_{LW} + A_{LF}) \cdot P_{SC}^{0,625}] + 0,83 \cdot A_D \cdot P_{SC}^{0,5} + Q_{DO} + Q_{EDO} \quad (21)$$

$$Q_{EDO}^{\square} = 0,83 \cdot A_{ED} \cdot P_{SC}^{0,5} \quad (22)$$

Vagyis a B) esetben a kijáratú szinten nyitott állapotban lévő lépcsőházi ajtó esetén 30 Pa relatív túlnyomást kell biztosítani a lépcsőházban a kapcsolódó terekhez képest, továbbá a tűzzel érintett szinten is nyitott ajtót feltételezve annak keresztmetszetében 1 m/s légsebességet kell biztosítani, minimális túlnyomáskövetelmény nélkül.

Jelen szcenárió esetén bevezetendő levegőmennyiség a (6)–(8) és (20) képletekkel, szabvány szerinti számítással:

$$Q_{DC}^{\square} = 0,83 \cdot 0,05 \cdot 30^{0,5} = 0,227 \text{ m}^3/\text{s} \quad (23)$$

$$Q_{WALL}^{\square} = 0,83 \cdot 333,11 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 30^{0,625} = 0,255 \text{ m}^3/\text{s} \quad (24)$$

$$Q_{FLOOR}^{\square} = 0,83 \cdot 27,12 \cdot 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 30^{0,625} = 0,010 \text{ m}^3/\text{s} \quad (25)$$

$$Q_{ED}^{\square} = 0,83 \cdot 2,27 \cdot 30^{0,5} = 10,32 \text{ m}^3/\text{s} \quad (26)$$

Fentiek alapján a (21) képletbe behelyettesítve az összes bevezetendő levegőmennyiség csukott lépcsőházi ajtók mellett 11,06 m³/s (39 816 m³/h).

A tűzzel érintett szinten nyitott ajtót feltételezve, a lépcsőház becsült túlnyomása, valamint a tűzzel érintett szinten a nyitott ajtó szabad keresztmetszetében 1 m/s légáramlás biztosításához szükséges levegőmennyiség a (16)–(18) és (22) képletekkel, szabvány szerinti számítással:

$$Q_{DO}^{\square} = 1 \cdot 2,27 = 2,27 \text{ m}^3/\text{s} \quad (27)$$

$$A_{VA}^{\square} = \frac{2,27}{2,5} = 0,91 \text{ m}^2 \quad (28)$$

$$P_{SC}^{\square} = \left(\frac{2,27}{0,83 \cdot 0,91}\right)^2 + \left(\frac{2,27}{0,83 \cdot 2,27}\right)^2 = 10,48 \text{ Pa} \quad (29)$$

$$Q_{EDO}^{\square} = 0,83 \cdot 2,27 \cdot 10,48^{0,5} = 6,10 \text{ m}^3/\text{s} \quad (30)$$

Fentiek alapján a (21) képletbe behelyettesítve az összes bevezetendő levegőmennyiség a tűzzel érintett szinten nyitott lépcsőházi ajtó esetén 8,62 m³/s (31 032 m³/h).

A tervezés alapján bevezetendő levegőmennyiség a vizsgált lépcsőházba Q_{TDC} és Q_{TDO} közül a nagyobb érték 15% további biztonsági tartalékkal növelve, azaz jelen esetben 12,72 m³/s (45 792 m³/h). Nyitott ajtók mellett ebben az esetben körülbelül ötödével csökkent az igényelt légmennyiség.

C) Méretezés a szabvány ajánlásai alapján, a TvMI által javasolt értékekkel

A C) esetben megvizsgáltam, hogy valamennyi lépcsőházi ajtó csukott állapotában, a TvMI által javasolt 50 Pa relatív túlnyomás biztosításához a szabvány szerint mekkora levegőmennyiség bevezetése szükséges.

A bevezetendő levegőmennyiség a szabvány szerinti számítással a (6)–(8) képletekben szereplő értékek 50 Pa-ra való módosításával:

$$Q_{DC}^{\square} = 0,83 \cdot 0,07 \cdot 50^{0,5} = 0,411 \text{ m}^3/\text{s} \quad (31)$$

$$Q_{WALL}^{\square} = 0,83 \cdot 333,11 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 50^{0,625} = 0,351 \text{ m}^3/\text{s} \quad (32)$$

$$Q_{FLOOR}^{\square} = 0,83 \cdot 27,12 \cdot 5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 50^{0,625} = 0,014 \text{ m}^3/\text{s} \quad (33)$$

Fentiek alapján az (5) képletbe behelyettesítve az összes bevezetendő levegőmennyiség csukott lépcsőházi ajtók mellett $1,16 \text{ m}^3/\text{s}$ ($4\,176 \text{ m}^3/\text{h}$).

A vizsgált lépcsőházban a TvMI alapján feltételezett nyitott lépcsőházi nyílászárók mennyisége 3 db (kijárat szinten és két további szinten), ami egyebekben megegyezik a létesítéskor megkövetelt értékkel. Ez alapján a szükséges bevezetendő levegőmennyiség a (16)–(18) és (22) képletekkel szabvány szerinti közelítéssel:

$$Q_{DO}^{\square} = 2 \cdot 1 \cdot 2,27 = 4,54 \text{ m}^3/\text{s} \quad (34)$$

$$A_{VA}^{\square} = \frac{2 \cdot 2,27}{2,5} = 1,82 \text{ m}^2 \quad (35)$$

$$P_{SC}^{\square} = \left(\frac{4,54}{0,83 \cdot 1,82}\right)^2 + \left(\frac{2,27}{0,83 \cdot 2,27}\right)^2 = 10,48 \text{ Pa} \quad (36)$$

$$Q_{EDO}^{\square} = 0,83 \cdot 2,27 \cdot 10,48^{0,5} = 6,10 \text{ m}^3/\text{s} \quad (37)$$

Fentiek alapján a (21) képletbe behelyettesítve az összes bevezetendő levegőmennyiség a földszint és két további szinti nyitott lépcsőházi ajtó esetén $10,86 \text{ m}^3/\text{s}$ ($39\,096 \text{ m}^3/\text{h}$).

A tervezés alapján bevezetendő levegőmennyiség a vizsgált lépcsőházba Q_{TDC} és Q_{TDO} közül a nagyobb érték 15% további biztonsági tartalékkal növelve, azaz jelen esetben $12,49 \text{ m}^3/\text{s}$ ($44\,964 \text{ m}^3/\text{h}$). Nyitott ajtók mellett ebben az esetben körülbelül kilencszeresére növekedett az igényelt légmennyiség.

Légtechnikai mérések eredményei

A lépcsőházban kialakuló légállapotokat több szempontból és több elrendezésben is vizsgáltam.

- Valamennyi nyílászáró csukott állapotában kialakul-e a létesítéskor előírt relatív túlnyomás, továbbá a földszinti és a két további szinti nyitott ajtó szabad keresztmetszetén kialakul-e a létesítéskor előírt légsebesség?

- A földszinti nyitott ajtó esetén különböző ventilátor-fordulatszámok mellett vizsgáltam a lépcsőházban kialakuló tényleges túlnyomást és a nyitott ajtón mért légsebességtételeket, amelyeket összehasonlítottam a szabvány ajánlásaival.

Az eredmények kiértékelésekor rendelkezésemre állt a létesítmény átadása előtt végzett légtechnikai mérési jegyzőkönyv, amely szerint a vizsgált lépcsőházban kialakuló relatív túlnyomás a frekvenciaváltók 19 Hz-es automatikus üzeme mellett 38 Pa volt. A lépcsőház légtechnikai méretezésével kapcsolatban nem állt rendelkezésre adat. A földszinti és a két szinti nyitott ajtó esetén a nyitott ajtók szabad keresztmetszetében mért légsebesség 1,1–1,4 m/s között változott. A mérések során alkalmazott eszközök pontos adatait korábbi publikációm részletezi.²¹ A környezeti körülményeket a 4. táblázat mutatja be.

4. táblázat: Környezeti körülmények a mérés során

| A mérés időpontja | 2022. 08. 24. 8:00 | Légnomás | 1005 hPa |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------|
| Uralkodó szélirány | É | Szél erőssége | 0,5 km/h |
| Külső hőmérséklet | 21,7 °C | Lépcsőház hőmérséklete | 25,6 °C |
| Külső rel. páratartalom | 81% | Belső rel. páratartalom | 61% |

Forrás: a szerző szerkesztése

Létesítéskor érvényben lévő differenciálnyomás- és légsebesség-követelmények mérésekkel való vizsgálatának eredményei

A lépcsőház és a közlekedő között kialakuló differenciálnyomásokat valamennyi kapcsolódó térhez viszonyítva ellenőriztem. A létesítéskor irányadó előírás alapján a csukott nyílászárók mellett a közlekedőhöz viszonyított túlnyomás értéke 25–75 Pa között kell legyen.²² Az adatrögzítés frekvenciája 1 Hz volt és valamennyi mérési sorozat időtartama legalább 60 s. Az 5. táblázat a műszerből kiolvasott adatok feldolgozásának eredményeit tartalmazza.

5. táblázat: A lépcsőház és a közlekedő között kialakuló nyomásviszonyok valamennyi ajtó csukott állapota esetén

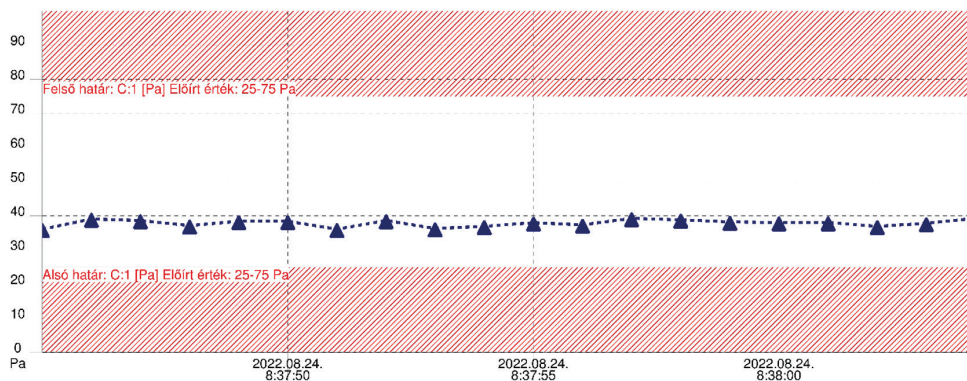
| Mérési pont | Pmin [Pa] | Pmax [Pa] | Pátlag [Pa] | korr. tap. szórás | Előírt érték [Pa] | Megfelelés | Megjegyzés |
|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------|
| 4. emelet | 37,51 | 40,91 | 39,46 | 0,907 | 25-75 | Megfelel | |
| 3. emelet | 38,62 | 40,94 | 39,90 | 0,506 | 25-75 | Megfelel | |
| 2. emelet | 38,62 | 41,61 | 40,31 | 0,732 | 25-75 | Megfelel | |
| 1. emelet | 37,98 | 42,45 | 39,74 | 0,927 | 25-75 | Megfelel | |
| Földszint | 37,84 | 40,79 | 39,16 | 0,743 | 25-75 | Megfelel | |
| -1. szint | 37,78 | 40,54 | 39,24 | 0,699 | 25-75 | Megfelel | |

Forrás: a szerző szerkesztése

²¹ MIHÁLY 2022: 69–93.

²² ME-04–132–84 1984.

Valamennyi ajtó csukott állapota esetén a frekvenciaváltó 20 Hz-re szabályozott, ami megegyezett a minimális frekvenciával. Ajtó nyitásokor a frekvencia megfelelően emelkedett, ajtó csukásakor a frekvenciaváltó visszaszabályozása automatikusan megtörtént.



3. ábra: A lépcsőházban kialakuló relatív túlnyomás a kapcsolódó terekhez képest a nyomástávadó szintjén

Forrás: a szerző szerkesztése (Testo Comfort – Software X35 programmal)

A differenciálnyomás-méréseim alapján megállapítottam, hogy a lépcsőházban kialakuló túlnyomás a létesítéskori követelményeknek megfelelt. A jelenleg megkövetelt 50 Pa $\pm 10\%$ értéket a kialakuló túlnyomás nem éri el, azonban az alapjel növelésével vélhetően ebben a nyomástartományban is megvalósítható a működés. A szabvány szerinti 30 Pa az alapjel és a minimális frekvencia további csökkentésével vélhetően megvalósítható lenne, azonban szabályozási túllendülésekre lehet számítani.

A létesítéskori légsebesség-követelmények ellenőrzése céljából a földszinti és az 1–2. emeleti ajtók nyitott állapotát feltételeztem. Valamennyi mérés esetén ellenőriztem, hogy a mért légsebességértékek mennyire reprodukálhatók. Ennek érdekében egy nyílásnál egymás után két mérési sorozatot is végeztem. Az értékeket akkor tekintettem elfogadhatónak, ha a két mérési sorozat átlagértékei közötti eltérés nem haladta meg a $\pm 10\%$ -ot, ami összhangban van az MSZ EN 12101-13:2022 ajánlásával is. A mért értékeket a 3. ábra mutatja, amelyen jól látható, hogy az egyes mérési sorozatok közötti eltérés elhanyagolható mértékű.

| | 2. emelet | 1. emelet | Földszint |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. mérési sorozat | 1,18 1,46 1,54 | 1,34 1,43 1,25 | 1,32 1,43 1,54 |
| | 1,67 1,41 1,40 | 1,71 1,73 1,60 | 1,45 1,37 1,29 |
| | 1,72 1,58 1,79 | 1,50 1,56 1,64 | 1,38 1,26 1,19 |
| | 2,07 1,87 1,86 | 1,56 1,60 1,70 | 1,65 1,28 1,06 |
| | 2,07 1,87 1,86 | 1,52 1,51 1,57 | 1,51 1,33 1,16 |
| | $\bar{v} = 1,71 \text{ m/s}$ | $\bar{v} = 1,55 \text{ m/s}$ | $\bar{v} = 1,35 \text{ m/s}$ |
| 2. mérési sorozat | 1,37 1,34 1,37 | 1,53 1,83 1,26 | 1,40 1,41 1,62 |
| | 1,56 1,27 1,37 | 1,77 1,65 1,53 | 1,49 1,34 1,41 |
| | 1,68 1,60 1,79 | 1,66 1,54 1,63 | 1,38 1,20 1,24 |
| | 2,07 1,72 1,85 | 1,52 1,61 1,67 | 1,38 1,16 1,08 |
| | 2,08 1,97 2,19 | 1,40 1,32 1,44 | 1,45 1,32 1,07 |
| | $\bar{v} = 1,68 \text{ m/s}$ | $\bar{v} = 1,56 \text{ m/s}$ | $\bar{v} = 1,33 \text{ m/s}$ |

4. ábra: A nyitott ajtók szabad keresztmetszetében rögzített légsebesséértékek m/s-ban az első és a második mérési sorozat során

Forrás: a szerző szerkesztése

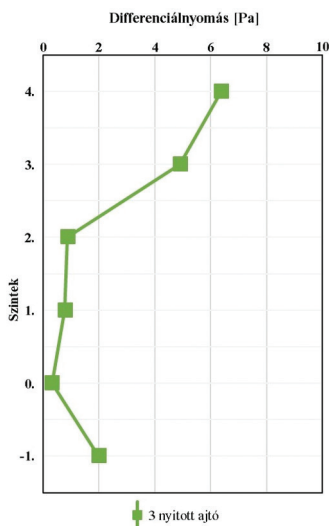
6. táblázat: A légsebességmérés eredményeinek összefoglaló táblázata

| Mérési hely | Szélesség [m] | Magasság [m] | Felület [m ²] | Mért átlagos légsebesség [m/s] | Előírt érték [m/s] | Számított átlagos térfogatáram [m ³ /h] | Megfelelés |
|-------------|---------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|--|------------|
| 4. emelet | | | | | | | |
| 3. emelet | | | | | | | |
| 2. emelet | 1,00 | 2,27 | 2,27 | 1,70 | 1 | ≈ 13 892 | Megfelel |
| 1. emelet | 1,00 | 2,27 | 2,27 | 1,56 | 1 | ≈ 12 748 | Megfelel |
| Földszint | 1,00 | 2,27 | 2,27 | 1,34 | 1 | ≈ 10 951 | Megfelel |
| -1. szint | | | | | | | |

Forrás: a szerző szerkesztése

A végeredményt táblázatba foglalva megállapítottam (6. táblázat), hogy a mért légsebesséértékek a létesítéskor érvényben lévő előírásoknak megfelelőek, és biztosítják a füst lépcsőházba jutásának megakadályozását. Megjegyzendő, hogy a kialakuló légsebességek egyebekben a jelenlegi TvMI- és szabványkövetelményeknek is megfeleltethetők.

További méréseket végeztem a három nyitott ajtó mellett kialakuló relatív túlnyomás vizsgálatára. A mérési eredményeket a 4. ábra szemlélteti.



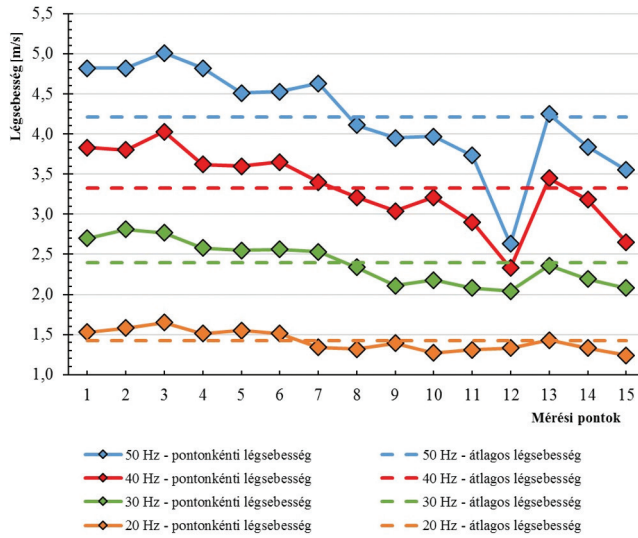
5. ábra: Szintenként mért differenciálnyomás a földszinti, 1. és 2. emeleti ajtók nyitott állapotában

Forrás: a szerző szerkesztése

A mérési eredmények jól szemléltetik, hogy három nyitott ajtó mellett a lépcsőház túlnyomása drasztikusan csökken.

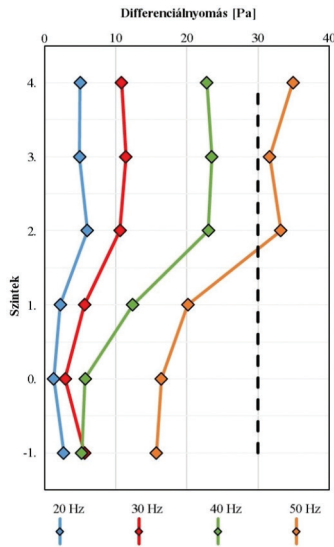
Földszinti nyitott ajtó mellett, különböző ventilátor-fordulatszámokon végzett mérések eredményei

A mérések elvégzése során a földszinti lépcsőházajtó teljesen nyitott állapotban volt. A frekvenciaváltón manuálisan beállított 20-30-40-50 Hz értékeken végeztem el valamennyi szinten a lépcsőház és a közlekedő között kialakuló nyomáskülönbség mérését, továbbá a földszinti ajtón kialakuló átlagos légsebesség mérését, ami több mint 1000 érték regisztrálását és feldolgozását jelentette. A légsebesség- és differenciálnyomás-mérések eredményeit az 5. és a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra: A földszinti nyitott ajtón kialakuló mérési pontonkénti légsebességek és átlagos légsebességek különböző ventilátor-fordulatszám esetén

Forrás: a szerző szerkesztése



7. ábra: A földszinti nyitott ajtó esetén kialakuló relatív túlnyomás szintenként különböző ventilátor-fordulatszám esetén

Forrás: a szerző szerkesztése

Megállapítható, hogy a földszinti ajtó nyitott állapotában a lépcsőház légellátó rendszere a 2–4. emeleteken a szabvány kijárat szinten nyitott ajtót feltételező metódusában leírt 30 Pa értéket is elérte, ettől lefelé a túlnyomás jelentősen esett, azonban még a pincszinten sem csökkent 10 Pa alá. Ekkor az átlagos légsebesség 4,21 m/s volt, azaz a földszinti ajtón körülbelül 34 404 m³/h levegő áramlott ki. A kísérőakna szintenkénti befúvásának köszönhetően a magasabb szinteken közel állandó túlnyomás alakult ki.

Összegzés

Vizsgálatom tárgya egy meglévő előtér nélkül kialakított füstmentes lépcsőház volt. A lépcsőház felmérését követően számításokat végeztem a lépcsőházba bevezetendő levegőmennyiség meghatározására a hazai TvMI és az európai szabvány ajánlásai alapján.

Csukott lépcsőházi nyílászárók esetén a bevezetendő levegőmennyiség a szabvány szerinti módszerrel számítva több mint ötszöröse a TvMI szerinti számításnak az alacsonyabb tervezési nyomás ellenére is. Az ajtók számított résvesztése a szabvány szerinti számítással körülbelül 2–4-szerese annak, mint amit a TvMI által ajánlott képlet meghatároz.

Nyitott ajtókra való méretezéskor a hazai előírás szigorúbbnak bizonyult, több nyitott ajtó feltételezését követelte meg a szabványban foglaltaknál, azonban a megkívánt légsebességérték a választott osztály esetén megegyező volt. A szabványtól eltérő, de annak számítási módszerével támogatott három nyitott ajtóra méretezés esetén körülbelül 1,8-szoros légmennyiség adódott.

Mérési eredményeim alapján a vizsgált lépcsőház a létesítéskori nyomás- és légsebesség-követelményeknek megfelelt, részben a jelenleg hatályos követelménynek is megfeleltethető.

Mérési eredményeim alapján a földszinti nyitott ajtó esetén a 2–4. emeleteken elérhető volt a szabvány szerint kijárat szinten nyitott ajtót feltételező méretezés nyomáskövetelménye.

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai mérések, illetve az eredmények kiértékelésekor tapasztalataim szerint a lépcsőházi légellátó rendszer méretezésére vonatkozó információk (például figyelembe vett nyitott ajtók száma, mérete, tervezett légmennyiségek) nem, vagy hiányosan állnak rendelkezésre.

Következtetések és javaslatok

Mind a harmonizált európai szabvány, mind a nemzetközi ajánlások 50 Pa-nál alacsonyabb relatív túlnyomást javasolnak fenntartani csukott lépcsőházi ajtók mellett. Mivel az ajtónyitáshoz szükséges erő kisebb nyomáson kedvezőbb, megfontolandó csukott ajtók esetén kisebb differenciálnyomás javaslata a műszaki irányelvben.

A szabályozások közötti eltérések miatt további vizsgálatok elvégzését javaslom az ajtók résvesztésértékének új mérésekkel történő meghatározásával.

Figyelembe véve a számítási módszerek összetettségét, a füstmentes lépcsőházak megfeleltetésének értékeléséhez szükséges a tervezett állapot ismerete. Ennek

érdekében javaslom, hogy a füstmentes lépcsőházak méretezésében szerepet játszó alapvető adatok a tervdokumentációban részletezésre kerüljenek. Erre vonatkozó iránymutatások közzétehetőek lennének akár a Magyar Mérnöki Kamara tervdokumentációk tartalmi és formai követelményeit tartalmazó szabályzatában is.

A füst lépcsőházba való bejutásának egyik kritikus pontja, hogy a nyitott ajtó szabad keresztmetszetén kellő légáramlás alakuljon ki. Az alkalmazott kiürítési stratégia miatt előfordulhat, hogy a hő és füst elleni védelemtől szóló TvMI alapján meghatározotthoz képest több ajtó egyidejű nyitva tartása válhat szükségessé (pl. egyidejű teljes kiürítés, teljes szakaszos kiürítés). Ebben az esetben a tervezés során javaslom figyelembe venni, hogy a kiürítési stratégiának megfelelően kerüljön méretezésre a füstmentesítő rendszer.

Amennyiben a füstmentes lépcsőházat átmeneti védett térként alakítják ki, javasolható figyelembe venni, hogy rövid idejű vagy tartósan fennálló kedvezőtlen nyomásviszonyok miatt a réseken füst áramolhat a lépcsőházba, ami a mentendő személy(ek) számára pánikhoz vezethet. Az esetlegesen beszívargó füst eltávolítására alkalmas lehet öblítőlevegő alkalmazása.

Jelmagyarázat

V – lépcsőházba bevezetendő levegőmennyiség csukott nyílászáró szerkezetekre vonatkoztatva (m^3/h)

c – TvMI szerinti állandó (Sa és S200) minősítésű nyílászárókra vonatkoztatva ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{Pa}^{-0.67}\text{m}^{-1}$)

Δp – a nyílászáró két oldala közötti nyomáskülönbség (Pa)

n – TvMI szerinti állandó (Sa és S200) minősítésű nyílászárókra vonatkoztatva (-)

l – a nyílászáró kerülete, a névleges méretre vonatkoztatva (m)

V_{ny} – nyitott ajtók légveszteségi értéke (m^3/h)

N – feltételezett nyitott lépcsőházi ajtók darabszáma (-)

ζ – ellenállás-tényező (-)

A – nyitott lépcsőházi ajtó szabad nyílásmérete (m^2)

Q_{TDC} – csukott ajtók mellett bevezetendő teljes légmennyiség (m^3/s)

Q_{SDC} – résveszteségek pótlásához szükséges légmennyiség csukott ajtók mellett (m^3/s)

A_D – csukott ajtó részfelülete (m^2)

Q_{DC} – csukott ajtók résvesztesége (m^3/s)

A_{WALL} – lépcsőházat határoló falak felülete (m^2)

A_{LW} – lépcsőházat határoló falak részfelülete (m^2)

Q_{WALL} – határoló falak résvesztesége (m^3/s)

A_{FLOOR} – lépcsőházat határoló födémek felülete (m^2)

A_{LF} – lépcsőházat határoló födémek részfelülete (m^2)

Q_{FLOOR} – födémek résvesztesége (m^3/s)

Q_{DO} – nyitott ajtón kiáramló levegő térfogatárama (m^3/s)

v – tervezési sebesség (m/s)

A_{DOOR} – nyitott ajtó szabad felülete (m^2)

A_{VA} – elvezetőfelület hatásos felülete (m^2)

- Q_{VA} – elvezetőfelületen kiáramló levegő térfogatárama (m^3/s)
 v_{vent} – áramlási sebesség tervezett átlagos értéke az elvezető felületen (m/s)
 P_{SC} – a lépcsőházban kialakuló túlnyomás nyitott nyílászáró(k) esetén (Pa)
 Q_{TDO} – nyitott ajtó(k) mellett bevezetendő teljes légmennyiség (m^3/s)
 Q_{ED} – nyitott kijárati ajtón kiáramló levegő térfogatárama tervezési nyomáson (m^3/s)
 A_{ED} – kijárati szint nyitott ajtajának felülete (m^2)
 Q_{EDO} – nyitott kijárati ajtón kiáramló levegő térfogatárama PSC nyomáson (m^3/s)

Irodalomjegyzék

- ANTAL Zoltán – VASS Gyula – KÁTAI-URBÁN Lajos (2017): Atomerőmű létesítés tűzvédelmi követelményeinek vizsgálata. *Védelem Tudomány*, 2(1), 17–30.
- AMBRUS István et al. (2006): Módosulások a hő- és füstelvezetésben. *Védelem Katasztrófa- és Tűzvédelmi Szemle*, 13(2), 11–12.
- AS 1668.1:2015 (2015): *The use of ventilation and air conditioning in buildings, Part 1: Fire and smoke control in buildings*. Standards Australia Limited.
- BÉRCZI László – BADONSZKI Csaba (2021): A tűzvédelmi tervezés fő tartópillérei a tűzvédelmi műszaki irányelvek. *Védelem Tudomány*, 6(2), 66–96.
- HURLEY, Morgan J. et al. szerk. (2016): *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York, NY: Springer. Online: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- International Code Council (2020): *International Building Code*. Falls Church, VA: International Code Council.
- International Code Council and Society of Fire Protection Engineers (2022): *Fire Safety for Very Tall Buildings: Engineering Guide*. The Society of Fire Protection Engineers Series. Cham: Springer. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79014-1>
- KLOTE, John H. (1991): *Design Manual for Smoke Control Systems*. NISTIR ; 4551. U.S. Dept. of Commerce, National Institute of Standards and Technology. Online: <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.4551>
- KLOTE, John H. – MILKE, James A. (1992): *Design of Smoke Management Systems*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Society of Fire Protection Engineers.
- KLOTE, John H. – MILKE, James A. (2002): *Principles of Smoke Management*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- KLOTE, John H. et al. (2012): *Handbook of Smoke Control Engineering*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- LEE, Ann – LAU, Ghar Ek (2023): Smoke Control in High-Rise Residential Buildings with Stair Pressurization Systems. *Fire*, 6(4), 132–153. Online: <https://doi.org/10.3390/fire6040132>
- LOUGHEED, Gary – KO, Yoon J. (2016): *RP-1447 Performance of Stairwell Pressurization System with Open Doors*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ME-04–132–84 (1984): Füstmentes lépcsőházak követelményei. Építésügyi Szabványosítási Központ.

- MIHÁLY István (2022): Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai méréseinek tapasztalatai I. rész. *Védelem Tudomány*, 7(4), 69–93.
- MSZ EN 12101-13 Füst- és hőszabályozó rendszerek. 13. rész: Nyomáskülönbség elvén működő rendszerek (PDS). Tervezési és számítási módszerek, átvételi vizsgálat, rutinvizsgálat és karbantartás. Magyar Szabványügyi Testület, 2022.
- NFPA 92: Standard for Smoke Control Systems. National Fire Protection Association, 2021.
- RECKNAGEL, Hermann – EBERHARD Sprenger – ALBERS, Karl-Josef (2022): *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Brauchwassererwärmung und Kältetechnik 2023/2024,1, Band 1 : einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte*, 81. Auflage. München: ITM InnoTech Medien GmbH: Oldenbourg DIV, Dt. Industrie-Verl. Kleinaitingen.
- TvMI 3.4:2022.06.13. Hő és füst elleni védelem Tűzvédelmi Műszaki Irányelv. 2022.
- VARGA Ferenc (2018): Assessment of the Procedural and Technical Conditions for the Hungarian Fire Investigation System in Line with International Experiences. *Hadmérnök*, 13(4), 261–276.

Jogi források

- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
489/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet a tűzvédelmi hatósági eljárások általános és különös szabályairól