

Doktori (PhD) értekezés

Mihály István

2026

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**

Mihály István

**A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak mérési
eredményekkel támogatott műszaki
fejlesztésének lehetőségei**

Doktori (PhD) értekezés

Tudományos témavezetők:

.....

Dr. Bérczi László PhD
tűzoltó dandártábornok

.....

Dr. Varga Ferenc PhD
tűzoltó dandártábornok

BUDAPEST, 2026.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
A KUTATÁS AKTUALITÁSA	4
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA.....	6
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK	8
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK	8
KUTATÁSI MÓDSZEREK	9
RELEVÁNS SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE	10
AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE, TARTALMA ÉS ELHATÁROLÁSOK.....	20
1. MEGLÉVŐ TÚLNYOMÁSOS FÜSTMENTES LÉPCSŐHÁZAK LÉGTECHNIKAI MÉRÉSEKKEL TÁMOGATOTT VIZSGÁLATA	22
1.1. Túlnyomásos füstmentes lépcsőházakra vonatkozó létesítési követelmények változásai	22
1.2. Vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak jellemzői.....	29
1.3. Módszerek az elvárt légtechnikai paraméterek teljesülésének ellenőrzéséhez	40
1.4. Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak méréseinek eredményei.....	47
1.5. A biztonsági szint növelésének lehetőségei	62
1.6. Részkövetkeztetések.....	67
2. FÜSTGÁTLÓ AJTÓK RÉSEIN VALÓ LÉGÁRAMLÁS BECSLÉSE TÚLNYOMÁSOS FÜSTMENTESÍTŐ RENDSZEREK TERVEZÉSE SORÁN	69
2.1. A réseken keresztül történő füstterjedés korlátozásának jelentősége.....	69
2.2. A nyomáskülönbség elvén működő rendszereket határoló ajtók szivárgási felületének becslése a gyakorlatban	72
2.3. Módszerek légáteresztő képesség meghatározására.....	77
2.4. Az alkalmazott műszerek bemutatása	81
2.5. A vizsgált füstmentes előterek bemutatása	83
2.6. Ajtók résein való légáramlás becslése.....	85
2.7. A különböző módszerekkel végzett mérések eredményeinek összehasonlítása	89

2.8. Egyszárnyú füstgátló ajtó szivárgási felületének becslése	92
2.9. Összehasonlító mérés egyszárnyú, nem füstgátló ajtóval	103
2.10. Különböző anyagú ragasztószalagok összehasonlítása	106
2.11. Részkövetkeztetések.....	109
3. ZÁRSZERKEZET KIALAKÍTÁSÁNAK HATÁSA AZ AJTÓ MOZGÁSBA	
HOZÁSÁHOZ SZÜKSÉGES ERŐRE TÚLNYOMÁSOS FÜSTMENTES	
LÉPCSŐHÁZAKBAN.....	111
3.1. Az ajtó nyitáshoz szükséges erő kifejtésre vonatkozó követelmények.....	111
3.2. Nyitási erő értelmezése és mérése túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén.....	116
3.3. Nyitási erő méréséhez használt eszközök	125
3.4. Nyitási erő méréséhez alkalmazott módszer	126
3.5. Ajtószárnyak mozgásba hozásához szükséges erő mérési eredményei	128
3.6. Részkövetkeztetések.....	141
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK	143
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	146
AZ ÉRTEKEZÉS AJÁNLÁSAI	147
A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA	148
HIVATKOZOTT IRODALOM.....	149
A TÉMAKÖR BŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM	162
MELLÉKLETEK	163
1. Fogalmak	164
2. Alkalmazott rövidítések jegyzéke	168
3. Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke	169
4. Mérések során alkalmazott műszerek jellemzői.....	174
5. Kohéziós táblázat	177

BEVEZETÉS

A KUTATÁS AKTUALITÁSA

Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról szóló 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet (a továbbiakban: OTSZ) megfogalmazása szerint a füstmentes lépcsőházba az épülettűz alkalmával képződő füst és mérgező égésgázok bejutásának lehetőségét korlátozni kell, hogy a biztonságos kiürítésre és a mentésre meghatározott ideig alkalmas maradjon. [1, o. 4. § (2)] Ennek egyik lehetősége a füstmentes lépcsőház túlnyomás alá helyezése, amikor a lépcsőház légterébe – bizonyos esetekben a lépcsőház előterébe is – juttatott frisslevegő által olyan pozitív nyomáskülönbség jön létre a kapcsolódó terekhez képest, amely korlátozza a füst bejutásának lehetőségét a lépcsőházi ajtók és az egyéb szerkezetek résein keresztül. További elvárás ezen rendszerekkel szemben, hogy meghatározott darabszámú nyitott lépcsőházi ajtó esetén is korlátozzák a füst bejutásának lehetőségét, mely a nyitott nyílászáró szabad keresztmetszetében létrehozott, a lépcsőházból kifelé irányuló levegőáramlással biztosítható.

A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. törvény (a továbbiakban: Tvt.) szerint OTSZ által meghatározott biztonsági szint elérhető tűzvédelmet érintő nemzeti szabvány betartásával, a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekben (a továbbiakban: TvMI) kidolgozott műszaki megoldások, módszerek alkalmazásával vagy ezektől eltérő megoldással, ha az azonos biztonsági szintet a tervező igazolja. [2, o. 3/A. § (3)] Az OTSZ szerint „túlnyomásos füstmentes lépcsőház, valamint túlnyomásos füstmentes előtér esetén az ajtók nyitott és zárt állapotában is biztosítani kell a füstmentességet”. [1, o. 97. § (2) a)]

Hazánkban túlnyomásos füstmentes lépcsőházak kialakításának módjára, épületgépészeti méretezésére alapvetően a *Hő és füst elleni védelem TvMI* ad megoldási lehetőségeket. A TvMI kidolgozásáért felelős *Tűzvédelmi Műszaki Bizottság* a műszaki fejlődés eredményeit figyelemmel kíséri, a hazai és nemzetközi tapasztalatokat elemzi, és szükség szerint, de legalább évente felülvizsgálja a TvMI-ket, melyek tartalmát indokolt esetben módosítja. [3, o. 1. §]

Európai szinten, a nyomáskülönbség elvén működő füst- és hőszabályozó rendszerek tervezésének módszereit a magyar nemzeti szabványként bevezetett MSZ EN 12101-13:2022 tartalmazza, melyhez szorosan kapcsolódik a lépcsőházi készletekre vonatkozó MSZ EN 12101-6:2022 szabvány is. A *CEN-CENELEC Management Centre (CCMC)* az európai szabványok közzétételét követően rendszeresen, legfeljebb öt évenként kezdeményezi azok felülvizsgálatát. [4]

The image shows the front cover of a technical guideline book. At the top center is the official emblem of the Hungarian Fire Protection Service, featuring a shield with a crown on top and various symbols inside. Below the emblem, the text 'BELVÉDELMINISZTERIUM' and 'ORSZÁGOS KATASZTRÓFAVÉDELMI FŐFELVÁLLATOSÁG' is printed in black. The main title 'Tűzvédelmi Műszaki Irányelv' is in large, bold, white letters on a red background. Below it, the English title 'Fire Protection Technical Guideline' is also in white. Underneath the English title, the Hungarian text 'Azonosító: TVMI 3.6:2025.02.01.' is printed. A large orange section occupies the middle of the cover, containing the Hungarian title 'Tűzvédelem;' and the English title 'Protection against heat and smoke spread' in bold black letters. At the bottom, the author's name 'Dr. Gyula Zoltán' and his title 'Magyar Tűzvédelmi Szolgálat vezetője' are printed in black. A small circular stamp is visible on the left side of the bottom section. The book is bound in a dark cover, and the spine is visible on the left.

5

A kutatásaim során kiemelt szerepe volt annak, hogy a megvalósult túlnyomásos füstmentesítő rendszerek vizsgálata által szerzett tapasztalatokra alapozva fogalmazzak meg javaslatokat. A korábbi előírások szerint létesült túlnyomásos füstmentes lépcsőházakon és túlnyomásos füstmentes előtereken tudományos igényességgel végzett mérések és vizsgálatok eredményei rámutattak azokra a részletekre, melyekre vonatkozóan fejlesztési javaslatot lehet megfogalmazni.

A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Az elmúlt évtizedek során hazánkban számos olyan épület – elsősorban középmagas és magasépület – létesült, melyekben a kiürítés függőleges szakaszát túlnyomásos füstmentes lépcsőházon keresztül tervezték és valósították meg. Bizonyos esetekben a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak pihenőrészei átmeneti védett térként is szolgálhatnak [1, o. 55. § (1) c)], illetve közvetlenül kapcsolódhat hozzájuk biztonsági felvonó is. Ugyan a lépcsőházak füstmentesítése kialakítható természetes szellőzéssel is [1, o. 97. § (1)], de ennek lehetőségét adott esetben a lépcsőház épületen belüli elhelyezkedése, homlokzati kapcsolata vagy annak hiánya, továbbá a tűzoltó egységek beavatkozási feltételeinek biztosítása nem teszi lehetővé.

Fentiekből következik, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak működésképtelensége vagy nem megfelelő működése mind az épület kiürítésére mind a tűzoltó egységek beavatkozására globális hatással van. A rendellenes működés hatása nem csupán egyetlen építményszintre terjedhet ki, hanem a lépcsőház által összekötött szintek mindegyikére. A túlnyomásos füstmentes lépcsőház a hő és füst elleni védelem egyik legkritikusabb eleme.

1. A túlnyomásos füstmentesítés tervezésére vonatkozó szempontok, a műszaki fejlődéssel párhuzamosan, folyamatos változásokon mentek keresztül az évtizedek alatt. Az elvárt légtechnikai paraméterek eltérőek lehetnek attól függően, hogy egy túlnyomásos füstmentes lépcsőházat tartalmazó épület építési engedélyének kiadásakor – vagy az épület tűzvédelmi helyzetének a füstmentesítést befolyásoló átalakításának időszakában – milyen jogszabályi környezet volt érvényben. A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén a csukott ajtókon mért nyomáskülönbség és a nyitott ajtókon mért légsebesség értékek vonatkozásában nincs a megfelelőség értékelésére irányuló egységes útmutatás a létesítés időpontjától függően. Ebből következően nem áll rendelkezésre releváns információ arra vonatkozóan, hogy a meglévő hazai túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megfelelnek-e a létesítéskor velük szemben támasztott légtechnikai paramétereknek.

2. A több, mint tíz éven át tartó, különböző épületekben végzett vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy azon túlnyomásos füstmentes lépcsőházi előterekben és füstmentes előterekben, ahol az MSZ EN 1634-3 szabvány szerint vizsgált és az MSZ EN 13501-2 szabvány szerint osztályozott füstgátló ajtókat (S_a , S_m/S_{200}) építettek be, számos esetben a beszabályozás során szélsőségesen nagy fojtás alkalmazása vált szükségessé az egyes előterek túlnyomását biztosító végpontokon. Ez felveti annak kérdését, hogy a füstgátló ajtók résvesztése nem vehető-e figyelembe kisebb értékkel a korábban alkalmazott, nem az európai szabványok szerint vizsgált és osztályozott ajtókhöz képest. Az ajtók résvesztése kapcsán fontos annak figyelembe vétele is, hogy a szabványos vizsgálat során végzett mérések laboratóriumi körülmények között zajlanak, szigorú peremfeltételek betartása mellett. A beépített ajtóknak a beépítés helyén történő vizsgálata által a kivitelezés és használat során kialakult résméretekről valós képet kaphatunk. A túlnyomásos füstmentes előtereket határoló szerkezetekbe beépített nyílászárók ily módon meghatározott szivárgási jellemzői kevésbé ismertek, a jelenlegi előírások túl- vagy alulbecsülhetik a tényleges értékeket. A mérések elvégzéséhez ugyanakkor aránytalan ráfordítást nem igénylő módszert célszerű alkalmazni.

3. Amennyiben egy épületben az OTSZ szerinti tömegtartózkodásra szolgáló helyiség kerül kialakításra, úgy a helyiség kiürítésére szolgáló, majd azt követően a menekülési útvonalon beépített ajtóknak egy mozdulattal nyithatónak kell lenniük. [1, o. 59. § (4)] Ebből következik, hogy amennyiben a kiürítés során bejárando útvonalon túlnyomásos füstmentes lépcsőházon is keresztül kell haladni, úgy a túlnyomásos térbe nyíló ajtókon adott esetben az MSZ EN 1125 szabvány szerinti pánikrudas vasalatokat kell alkalmazni. Túlnyomásos füstmentes lépcsőház és előtér ajtóinak esetében a nyithatóságot úgy szükséges kialakítani, hogy a nyitáshoz szükséges erő kifejtés mértéke ne haladja meg a 100 N-t. [8, o. 46] A nyitási erő mérésére a TvMI-k nem adnak konkrét útmutatást, ugyanakkor a különböző záruk épületvasalatok esetén a nyitáshoz szükséges erő kifejtés helye a nyitási erő nagysága szempontjából kritikus lehet.

A kutatómunkám tárgya tehát a túlnyomásos füstmentesítés műszaki fejlesztési lehetőségeinek vizsgálata, mely meglévő túlnyomásos füstmentesítő rendszereken végzett mérések eredményein alapul. A legfontosabb mért paraméterek a nyomáskülönbség, légsebesség és nyitási erő.

KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

A tudományos problémák feltárását követően az alábbi hipotéziseket állítottam fel:

1. Feltételezésem szerint a hazánkban meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak az esetek döntő többségében nem teljesítik a létesítéskor elvárt légtechnikai paramétereket, azaz a csukott nyílászárók esetén teljesítendő nyomáskülönbség és a nyitott ajtók esetén elérendő minimális légsebesség értékeket. A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak elvárt légtechnikai követelményeire vonatkozó korábbi szabályozások komplexitásának következtében egységes iránymutatás kidolgozása szükséges a létesítéskor elvárt nyomáskülönbség és légsebesség követelményeknek való megfelelésértékeléséhez.
2. Feltételezésem alapján méréseken alapuló tudományos vizsgálat megalapozhatja annak lehetőségét, hogy a túlnyomásos füstmentes előtéri ajtók szivárgási vesztesége a túlnyomásos előtér saját légellátó rendszerével meghatározható legyen. Feltételezem továbbá, hogy az előtéri túlnyomásos szellőzés méretezésekor az ajtókon keresztül távozó légmennyiség számítása során az MSZ EN 12101-13 szabvány által ajánlott résfelület csökkenthető a füstgátlási teljesítménnyel is rendelkező ajtók esetében.
3. Feltételezem, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló eltérő működtetőberendezéssel ellátott ajtók esetén a nyitáshoz szükséges erő kifejtés nem azonos ugyanazon geometriai jellemzőkkel rendelkező kilincses és pánikrudas vasalatok esetén. Feltételezem továbbá, hogy az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtókon alkalmazandó kiegészítő jelölésekkel optimalizálható.

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A kutatási célkitűzéseimet – a tudományos problémák meghatározásánál már ismertetett – három fő kutatási részterületen fogalmazom meg:

1. Célkitűzésem tudományos igényességű mérésekkel támogatva vizsgálni meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban kialakuló differenciálnyomás és légsebesség értékeket, amelynek keretében mérések sorozatán keresztül vizsgálom a csukott nyílászárók mellett kialakuló relatív túlnyomás és előírt darabszámú nyitott nyílászáró esetén a nyílászáró szabad keresztmetszetében kialakuló légsebesség mértékét. Táblázatokat dolgozok ki annak érdekében, hogy a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban mért differenciálnyomás és légsebesség értékek megfeleltetése egységesen megítélhető legyen.

2. Túlnyomásos füstmentes előtér légtömörség mérésének eredményeit hasonlítom össze célműszer, illetve a saját légellátó rendszer és hagyományos műszerek alkalmazásával annak érdekében, hogy megállapítsam ezek alkalmazhatóságát légtömörség mérés céljából. Vizsgálom meglévő túlnyomásos füstmentes előterekben füstgátló ajtók résvesztését, annak érdekében, hogy javaslatot tegyek a füstgátló ajtók résméret értékére az európai szabvány mellékletének ajánlásával összhangban.
3. Túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló kilincses illetve pánikrudas vasalatokkal biztosított ajtók nyitásához szükséges erő nagyságának becslését és mérését végzem el, továbbá vizsgálom annak lehetőségét, hogy az ajtón elhelyezett nyitási mechanizmus jelölés pozicionálásával optimalizálható-e a nyitási erő a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba és túlnyomásos füstmentes előtérbe nyíló ajtók esetén.

KUTATÁSI MÓDSZEREK

A kutatási témám egyes részterületeinek kidolgozása során az általános kutatási módszereket alkalmaztam, mint például az analízis, szintézis, indukció és dedukció módszerei. Az értekezés kidolgozása során – négyéves kutatási tervemnek megfelelően – a kutatási célkitűzések teljesítése érdekében az alábbi kutatási módszereket alkalmaztam.

1. Hazai és nemzetközi szakirodalom átfogó tanulmányozása a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak, nyomáskülönbség elvén működő rendszerek vonatkozásában, különös tekintettel a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezésére vonatkozó ajánlásokra, az ajtók légtömörségének vizsgálatára vonatkozó előírásokra és az ajtó nyitáshoz szükséges erő kifejtés meghatározása vonatkozásában.
2. Elemző-logikai tevékenység, amelynek szerves részét képezi a jelenlegi és a korábbi szabályozási környezet értékelése, illetve az ebből eredő következtetések levonása alapján javaslatok megfogalmazása is.
3. Külföldi műszaki megoldások tanulmányozása, hazai megoldásokkal történő összehasonlító elemzése.
4. Kísérlettervezés, a kísérleti modelleken elvégzett mérések eredményeinek elemzése, értékelése, illetve az ebből eredő következtetések levonása alapján javaslatok megfogalmazása.

5. Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak differenciálynomás és légsebességmérés módszerének összefoglalása, a mért eredmények kiértékelése a korábbi szabályozás feldolgozásának eredményéből összeállított táblázatok alapján.
6. Túlnyomásos füstmentes előtereket határoló ajtók résveszteségének meghatározására alkalmazható egyszerűsített, becslésre szolgáló módszer kidolgozása, validált mérési eredménnyel való összehasonlítása.
7. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egy- és kétszárnyú ajtókon végzett nyitási erőmérések eredményeinek összevetése a szabályozásban elvárt értékekkel
8. Szakmai konzultáció a kutatott témában a szakmai és tudományos körökben is elismert szakemberekkel.
9. Kutatási részeredmények tudományos feldolgozása, publikálása hazai tudományos konferenciákon, valamint felsőoktatási foglalkozásokon történő előadása.

RELEVÁNS SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

Jelen szakirodalmi összefoglalóban célom elemezni és értékelni a kutatási témámhoz kapcsolódó nemzetközi és hazai jogi szabályozás előírásait, szabványok, műszaki irányelvek, ajánlások tartalmát, a legjobb gyakorlatot tükröző nemzetközi és hazai mértékadó műszaki szakirodalomban foglaltakat.

A túlnyomásos füstmentesítésre vonatkozó követelmények, műszaki megoldások – általánosságban a tűz elleni védelemhez hasonlóan – jellemzően nemzetenként eltérőek. Ebből kifolyólag az évtizedek során többféle megközelítés is kialakult arra vonatkozóan, hogyan biztosítható egy adott tér menekülésre alkalmas állapotának fenntartása. Világszerte a magasépületek megjelenése tette egyre sürgetőbbé, hogy egy esetlegesen bekövetkező tűz alkalmával a benttartózkodó személyek biztonsággal elhagyhassák az épületet, továbbá a tűzoltói beavatkozást végzők számára is biztosított legyen a tűzzel érintett területek megközelítése, mely szempontból a lépcsőházak kitüntetett szerepet kapnak. Simon Lay által készített tanulmány szerint – amely tűzvédelmi szakemberek, gyártók, üzemeltetők és kutatók tapasztalataira támaszkodik – a túlnyomásos rendszerek 35%-a nem működik rendeltetésszerűen. [9]

A több építményszinttel rendelkező épületekben a menekülésre, mentésre és tűzoltói beavatkozásra legalkalmasabb útvonalak a lépcsőházak. A tűz elleni védelem – és ezzel együtt a lépcsőházak védelme – már a XIX. század elejétől megjelent a városi házépítés követelményei között [10, o. 296–297] és bizonyos lépcsőházak felső részének füstelvezető nyílásokkal való kialakítása is előírás volt. [11, o. 159–160], [12, o. 212–215]

A növekvő épületmagasságok új kihívások elé állították a tűzvédelmi szakmát. Egyes források szerint a túlnyomásos szellőzés füstmentesítés céljára történő felhasználása Angliában és Ausztráliában az 1950-es évekre nyúlik vissza. [13, o. 416] 1972-ben Hobson és Stewart a kor legrészletesebb és legátfogóbb kutatását végezte a túlnyomásos füstmentesítés területén. Eredményeik alapul szolgáltak az 1978-ban megjelent BS 5588 szabványnak, mely tartalmazta a menekülési útvonalak füst elleni védelmének tervezését túlnyomásos szellőzés alkalmazásával. [14, o. 107–118] Ezek eredményeinek egy részét felfedezhetjük még a napjainkban hatályos vonatkozó európai szabványban és annak elődszabványaiban is.

Míg Magyarországon az első középmagas és magasépületek tűzvédelmével foglalkozó ágazati szabvány a lépcsőházak felső részén kialakítandó *füstelvezető nyílást* írt elő [15], addig 1974-ben a lépcsőházi tér túlnyomás alá helyezésének lehetőségét is tartalmazó szabvány jelent meg, de elsődleges szerepet továbbra is a *füstelvezető nyílás* kapott. [16], [17, o. 16–17] A téma fontosságát jelzi, hogy az ezidőtájt épült Semmelweis Egyetem Elméleti Orvostudományi Tömbjének lépcsőházát a kivitelezés során kellett túlnyomásos füstmentesítéssel ellátni. [18], [19, o. 292]

A hazai viszonylatban úttörőnek számító, 1979-ben már kidolgozás alatt álló, ME-04–132–84 jelű építésügyi ágazati műszaki előírás 1984. december 1-jétől kötelezően alkalmazandó volt. [20], [21] Az előírás tartalmazta a túlnyomásos szellőzés alkalmazásának általános előírásait, továbbá az előtérről vagy anélkül kialakított túlnyomásos szellőztetésű lépcsőházak követelményeit. Számottevő változást ezt követően az „új megközelítésű” OTSZ és a TvMI-k hoztak.

Nemzetközi és hazai jogi szabályozás bemutatása

Hazánkban az elvárt biztonsági szintet az OTSZ tartalmazza, mely a korábbi szabályzatoktól eltérően új szempontok és elvárások alapján készült. [22], [23] Az OTSZ megfogalmazásában a füstmentesítés a védett helyiségbe a füst menekülésre nézve veszélyes mértékű bejutását meggátló megoldások összessége. [1, o. 4. § (2) 51.] Szintén az OTSZ határozza meg azon helyiségek körét, ahol füstmentesítés létesítése kötelező. A füstmentesítő rendszerek – elsősorban füstmentes lépcsőházak – kialakítására vonatkozó megoldási javaslatokat a *Hő és füst elleni védelem TvMI* tartalmaz, mely szerint túlnyomásos füstmentesítés alkalmazásakor az OTSZ füstmentes lépcsőház fogalmának megfelel az olyan lépcsőház, melyet a TvMI vagy a vonatkozó MSZ EN 12101-13 szabvány alapján alakítottak ki. [7, o. 49]

Németországban a túlnyomásos szellőztető rendszerekre vonatkozó követelményeket a *Magasépületek Építésének és Üzemeltetésének Irányelve* (Muster-Hochhaus-Richtlinie – MHHR) és a *Német Építési Technológiai Intézet* (Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt) által kiadott építési műszaki előírásokról szóló irányelv (Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen – MVV TB) tartalmazza. [24], [25]

Ausztriában az *Osztrák Építéstechnikai Intézet* (Österreichisches Institut für Bautechnik – OIB) tesz közzé túlnyomásos füstmentesítésre is vonatkozó irányelveket, mint például a 22 m-nél magasabb padlószintű épületek tűzvédelmére vonatkozó OIB-330.2-032/23. [26]

A *Nemzetközi Építési Szabályzat* (International Building Code – IBC) szerint a 75 lábnál (22,86 m) magasabb / 30 lábnál (9,144 m) mélyebben fekvő szinteket is kiszolgáló lépcsőházat, légiirányító tornyok lépcsőházait úgy kell kialakítani, hogy azokba a tűz során keletkező égéstermékek bejutása korlátozott legyen. [27]

A füstelvezető rendszerek tervezésének kiindulópontja Amerikában az NFPA 92 szabvány, melyre a *Nemzetközi Szabvány Tanács* (International Code Council – ICC) és az NFPA (National Fire Protection Association – Nemzeti Tűzvédelmi Szövetség az Amerikai Egyesült Államokban) szabványok is hivatkoznak. [28]

Ausztráliában a *Nemzeti Építési Szabályzat* (National Construction Code – NCC) határozza meg a hő- és füstelvezető rendszerek létesítésére vonatkozó követelményeket. [29], 8. o.]

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak illetve túlnyomásos füstmentes előterekben az elvárt légtechnikai paraméterek teljesülését a használatbavételt megelőzően, továbbá a hatékonyságot befolyásoló átalakítást követően ellenőrizni kell. [1, o. 18. melléklet]

Az MSZ EN 12101-13 szabvány szerint a vizsgálatok során a szabványban szereplő követelmények teljesüléséről kell meggyőződni. [5], 44. o.] Az AS 1668.1 szabvány előírja, hogy a sikeresen üzembehelyezett rendszerek vizsgálati eredményeit dokumentálni kell és a helyszínen kell tárolni a későbbiekben történő tervezések és karbantartások során történő felhasználása céljából. [[29], 138. o.] Az NFPA 92 szintén tartalmaz utalást arra vonatkozóan, hogy a vizsgálatok dokumentációját a tulajdonosnak át kell adni. [[30], 92-74. o.]. Az ellenőrzésre, felülvizsgálatra és karbantartásra vonatkozó hazai tűzvédelmi műszaki irányelv nem tartalmaz javaslatot részletes légtechnikai mérések elvégzésének és a dokumentálás módjára, illetve az adatok kezelésére vonatkozóan [31, o. 25] A *Hő és füst elleni védelem TvMI* szerint a nyomáskülönbség és légmennyiség méréseket reprodukálható módon kell elvégezni. [7, o. 154]

A német VDMA 24188 (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.) szerint az ellenőrző vizsgálat során szakértő közreműködésével kell meggyőződni részletesen a tűzvédelmi koncepciónak illetve az arra épülő terveknek való megfelelést mérésekkel. [[32], 21.o.].

Ausztriában a vonatkozó TRVB 112 S még ennél is részletesebben fogalmazza meg az átvételi és felülvizsgálati eljárások során elvégzendő mérések és azok dokumentálásának módját. [33]

Nemzetközi és hazai mértékadó szakirodalom bemutatása

Nemzetközi szakirodalom bemutatása

Amerikában a túlnyomásos füstmentesítés, mint az épületen belüli füstterjedés korlátozásának egy lehetséges módjának kutatása már az 1960-as években megkezdődött. A kutatási témához kapcsolódó első vizsgálatok *G. T. Tamura* és *A. G. Wilson* nevéhez fűződik, akik kezdetben a levegő, majd a füst épületen belüli mozgásának jellemzőit vizsgálták, különös tekintettel a kéményhatás okozta füstterjedésre. [34]

Ezzel közel egyidőben, Angliában szintén folytak a túlnyomásos szellőztető rendszerek füstterjedés korlátozására történő alkalmazására irányuló kutatások *E. G. Butcher*, *P. J. Fardell* és *J. J. Clarke* által, akik megállapították, hogy a túlnyomásos szellőzés alkalmas a füst terjedésének korlátozására kijáratok utakon. [35]

Az 1980-as évek végén Kanadában egy 10 emeletes vizsgálati épületet építettek (*Fire Tower*), melyet kifejezetten valós léptékű tűzteszt elvégzésére terveztek. Az épület közlekedőket, aknákat, felvonóaknát, lépcsőházat tartalmazott, mely alkalmas volt a füstterjedés különféle nyomásviszonyok közötti vizsgálatára is. [36]

Az előteres lépcsőházak tervezési irányelveit *Hobson és Stewart* publikálta 1972-ben, mely táblázatos formában beépített ajtókon mért részveszteség értékeket illetve számított résfelületet ismertető táblázat is szerepelt. [37]

1979-ben jelent meg *John H. Klote és Irwin A. Benjamins* közös publikációja „*Lépcsőházi túlnyomásos rendszerek*” címmel, melyben több, az Egyesült Államokban akkoriban alkalmazott kialakítást tárgyal, és ismerteti a rendszerek tervezésénél alkalmazott kiindulási feltételeket. [38]

Klote később több összefoglaló szakkönyvet is készített. 1992-ben jelent meg *James A. Milke*-vel közösen jegyzett könyve a füstelvezető rendszerek tervezéséről. [39] 2002-ben a füstelvezetés alapelveit bemutató könyvük [40], majd 2012-ben és 2024-ben a füstelvezetésről szóló kézikönyv jelent meg. [41], [42]

Az első szabványban is megjelenő, túlnyomásos füstmentesítésre vonatkozó követelmények Ausztráliában az AS 1668.1:1974 volt. [43] Nem sokkal később követte Angliában a BS 5588-4:1978, melynek számos eleme jelent meg a későbbi MSZ EN 12101-6:2005 európai szabványban. Amerikában az első ilyen kiadvány az NFPA 92A volt 1988-ban.

Napjaink releváns nemzetközi szakirodalmaként európai szinten a magyar nemzeti szabványként is bevezetett MSZ EN 12101-13 szabványt kell kiemelni, mely előírásainak alkalmazása által is biztosítható az OTSZ-ben foglalt követelményeknek való megfelelés. [7] A szabvány mellékletét képező táblázatban fellelhetők a *Hobson és Stewart* által jegyzett publikációban szerepeltetett mérési eredmények a résméretek. [37], 67. o.] Az MSZ EN 12101-13 szabvány sok tekintetben megújult az elődszabványhoz (MSZ EN 12101-6:2005) képest. A nyomáskülönbség elvén működő füst- és hőszabályozó rendszerek osztályba sorolása egyszerűbbé vált, két osztályra került felosztásra. Részletes számítási módszert ajánl a tervezéshez, továbbá a lépcsőházak vizsgálatával kapcsolatban is. Fontos megemlíteni, hogy a minimálisan elvárt túlnyomás értéke 30 Pa-ra csökkent, továbbá nyitott ajtókon 1 m/s illetve 2 m/s légsebesség értéket követel meg, a méretezési osztálytól függően, mellyel egyidőben a korábbi 0,75 m/s légsebesség érték elhagyásra került. Az ajtónyitáshoz szükséges erő kifejtés megengedett legnagyobb értéke 100 N.

Ausztráliában napjainkban alkalmazott füstmentes lépcsőházak tervezésére is vonatkozó szabvány a 2018-ban módosított AS 1668.1:2015. A szabvány szerint olyan ajtók esetén, ahol az ajtó felett továbbá 0,5 méter (füstgyűjtő) tér van már 0,8 m/s áramlási sebesség is biztosítja, hogy a füst a lépcsőházba ne juthasson be. Ettől függetlenül a szabvány 1 m/s átlagos légsebességet ír elő a nyitott ajtó szabad keresztmetszetében. Csukott ajtók esetén a lépcsőházban megengedett relatív túlnyomás értéke 20-80 Pa között mozog. Az ajtók nyitáshoz megengedett maximális erő kifejtést 110 N-ban korlátozza a szabvány, mely 10 N-al meghaladja a vonatkozó TvMI-ben meghatározott hazai értéket.

Az NFPA 92 2024-ben aktualizált kiadásában a csukott lépcsőházi ajtóknál megkövetelt minimális túlnyomás sokkal differenciáltabban kerül meghatározásra. Csukott ajtók esetén sprinklerrel védett épületben elegendő 12,5 Pa túlnyomás biztosítása. Sprinkler védelem nélküli épületben a belmagasságtól függően 2,7 m-ig 25 Pa, 4,6 m-ig 35 Pa, míg 6,4 m-ig 45 Pa túlnyomást kell biztosítani. Ezen értékek 927°C-os tűztéri hőmérsékletet feltételeznek. A szabványban általánosságban nem javasolnak 1,02 m/s-nál nagyobb sebességgel légpótlást. Az ajtónyitáshoz megengedett maximális erő kifejtést a szintén 2024-ben aktualizált NFPA 101 tartalmazza, mely szerint ez az érték nem haladhatja meg a 133 N-t.

Amerikában végzett kutatási projekt rávilágított arra, hogy egyetlen lépcsőházi ajtó kinyitása is ahhoz vezethet, hogy a lépcsőház határoló szerkezetén fellépő nyomáskülönbség 20 Pa alá csökken, ami a sprinkler védelem nélküli épületben keletkező tűz esetén előírt minimális tervezési nyomáskülönbség. [44, o. 43–44] Továbbá a szél jelentős hatással lehet a lépcsőházi túlnyomásos rendszer működésére. [45, o. 14–15], mely körülmény nem elhanyagolható, tekintettel arra, hogy napjainkban növekszik a szélsőséges szeles események valószínűsége. [46, o. 11], [47]

Az IBC 2024 szerint a minimálisan létrehozandó túlnyomás sprinklerezett épületben 12,4 Pa, míg sprinklerrel nem védett épület esetén legalább a számításba vett tűz által létrehozott maximális nyomáskülönbség kétszerese. A megengedett legnagyobb túlnyomásnak az ajtó nyitásához szükséges erő kifejtés korlátozása szab határt. [27, o. 909.6.3, 909.20.5.2] Ezt kiegészíti az IFC 2024 (International Fire Code), mely szerint sprinklerrel védett épületben előtér nélkül kialakítható füstmentes lépcsőház, melyben legalább 25 Pa, de legfeljebb 87 Pa túlnyomást kell biztosítani csukott ajtók esetén. [48, o. 909.20.4]

Németországban a tradicionálisan megengedett maximális túlnyomás 50 Pa [49] A VDMA 24188 a lépcsőházakat – azok kialakításának, helyiségkapcsolatának, épületen belüli elhelyezkedésének függvényében – többféle csoportba sorolja. Általánosságban elmondható, hogy azokban az esetekben, ahol csukott ajtók esetén is minimális túlnyomáskövetelményt támaszt az előírás ott 15 Pa értéket ír elő. A maximálisan megengedett túlnyomás az ajtó nyitásához megengedett erő ismeretében számítható, mely nem haladhatja meg a 100 N-t. A minimálisan megkövetelt nyitott ajtón kialakuló légsebesség 1 m/s illetve 2 m/s, a lépcsőházi helyiségkapcsolatok és a kiürítési koncepció függvényében. Biztonsági lépcsőházak esetén az MVV TB 2 m/s légsebességet ír elő, míg tűzoltó felvonók előtereibe 0,75 m/s-ot. Ezek az értékek összhangban vannak a már visszavont MSZ EN 12101-6:2005 szabványban foglaltakkal.

Ausztriában a TRVB 112 S elsősorban a védelmi cél és az épület elrendezése függvényében határoz meg követelményeket. Általánosságban elmondható, hogy csukott ajtók esetén a biztosítandó relatív túlnyomás 30 Pa, míg a maximálisan megengedett túlnyomás értéke az ajtó nyitásához szükséges erőtől függ, melynek megengedett értéke legfeljebb 100 N. A nyitott ajtók esetén előírt minimális légsebességek 1 m/s illetve 2 m/s, mely függ attól, hogy a lépcsőházat kifejezett tűz esetén (pl.: beavatkozás során) is használatra tervezik.

Az NFPA 92 szerint számos épület szellőzőrendszere alkalmas lehet a szivárgási veszteségek ellenőrzésére. [[30], 92-72. o.]

Akkor megfelelő a túlnyomásos rendszer, ha a határoló szerkezeteken kialakuló nyomáskülönbségek a tervezés során meghatározott minimális és maximális értékek között maradnak. [50, o. 1800]

Hazai mértékadó szakirodalom bemutatása

Általánosságban elmondható, hogy hazánkban kifejezetten a túlnyomásos füstmentesítéssel, túlnyomásos füstmentes lépcsőházakkal kapcsolatos publikációk, közlemények csekély számban jelentek meg, mely a téma kutatásának aktualitását is alátámasztja. A jól kialakított füstmentes lépcsőház a hő- és füstelvezetéssel kialakított lépcsőháznál lényegesen nagyobb biztonságot jelent. [51] A füstmentesítés esetén épületgépészeti és építészeti elemek akadályozzák meg, hogy a hő és a füst a védendő térbe bejusson. Ezeken a helyeken az éghető anyagok jelenléte kizárt vagy olyan mértékben korlátozott, hogy a tűzkeletkezés kockázata a lehető legalacsonyabb. [52] Azaz ebben az esetben a cél, hogy bevezetett levegő túlnyomása által a füst lépcsőházba való bejutása korlátozott legyen, nem pedig a füst eltávolítása. [53]

Magyarországon az első túlnyomásos füstmentes lépcsőházak kialakításával foglalkozó műszaki előírás 1984-ben jelent meg, mely megkülönböztetett természetes szellőzésű, előteres vagy előtér nélküli túlnyomásos füstmentes lépcsőházakat. [21] A túlnyomásos szellőztetésű előtér nélküli lépcsőházban csukott nyílászárók esetén 25-75 Pa relatív túlnyomást kellett biztosítani középmagas épületekben. Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházban középmagas épületben legalább 25 Pa, magasépületben legalább 50 Pa relatív túlnyomást kellett biztosítani. A minimálisan megkövetelt légsebesség érték földszint és két további szinti nyitott nyílászáró esetén 1 m/s, magasépületekben 1,5 m/s volt. Ugyan a műszaki előírás még a levegő felső szinten történő betáplálását írta elő, később a tervezői gyakorlat arra világított rá, hogy a legmegfelelőbb megoldás ha a hő- és füstelvezetést minden esetben a tető fölé vezetik, a légpótlást, illetve a túlnyomásos tűzvédelmi légtechnikai rendszerek légbeszívó nyílását pedig a terepszinten alakítják ki. [54] A lépcsőházakon legalább $L 4$ légzárási osztálynak megfelelő ajtókat kellett alkalmazni az MSZ 9386 szabvány [55] szerint, melyek készülhettek üvegezett kivitelben (5 mm vastagságú hőálló vagy huzalbetétes üvegezéssel). [56]

Keszthelyi István 2002-ben megjelent cikkében felhívja a figyelmet arra, hogy a minimálisan megkövetelt légsebességek felépülése nem mindig biztosított azokban az esetekben, ahol a lépcsőházból kiáramló levegő elvezetése nem megoldott. [57]

Hazánkban főként az axiálventilátorokkal kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak terjedtek el, elsősorban kedvező áruk miatt. Ezen gépek esetén is gondoskodni kell a túlzott mértékű nyomás levezetéséről, melyre a frekvenciaváltóval történő szabályozás mellett korábban a nyomáskapcsolóval történő gépindítás-leállítás, az automatikus ajtónyitás is elterjedt megoldás volt. [58] Általánosságban elmondható, hogy a megfelelő rendszer kialakítása meglehetősen nehéz feladat, többek között azért is, mert minden lépcsőház kialakítása más és más. [59] Túlnyomáslevezetés nélkül a lépcsőházakban 400-500 Pa-os túlnyomás is kialakulhat amely lehetetlenné teheti az ajtó nyitását. [60]

Nagyobb átmérőjű axiálventilátor alkalmazásával alacsonyabb fordulatszám, kisebb teljesítmény és csendesebb üzem mellett is biztosítható a lépcsőházi csukott ajtók melletti elvárt túlnyomás, azonban ilyen esetekben is beépítésre kerülhetnek túlnyomás levezető felületek. [61]

A 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet lényegi változtatás nélkül átvette az ME-04-132-84 előírásait, kiegészítve a füstgátló ajtókra vonatkozó követelménnyel [62] Egy fontos új előírásként lehet megemlíteni, hogy a füstmentes lépcsőházból közvetlenül a szabadba, vagy zárt közlekedőn keresztül kellett a szabadba jutást biztosítani. [63]

Ezt megelőzően csupán az MSZ 595/4-74 *Építmények tűzvédelme. Középmagas és magasépület*. 4.17. szakasza tartalmazott annyi előírást, hogy belső fekvésű lépcsőházak esetén, amennyiben a füstmentesítés más módon nem megoldható, legalább 50 Pa túlnyomást kell biztosítani. [16]

A 28/2011. (XII. 5.) BM rendelet már a korábbinál kisebb relatív túlnyomást követelt meg, előtér nélküli lépcsőházak esetén 25-50 Pa-t. [64] A hazai gyakorlatban a jogszabálytól eltérő műszaki megoldás esetén, ellensúlyozó műszaki megoldásként gyakran megjelent, hogy az épület szinte valamennyi lépcsőházát túlnyomásos füstmentes lépcsőházként alakítják ki. [65]

Az új OTSZ-ben a preszkriptív megközelítés helyett előtérbe kerültek a mérnöki módszerek, a tervezői szabadság. Ezzel egyidőben megjelentek a TvMI-k is. A túlnyomásos füstmentesítés lépcsőházak kialakítására vonatkozó műszaki megoldásokat is bemutató első TvMI 2015. március 30-án lépett hatályba.

Általánosságban elmondható, hogy a tervezők és szakértők előnyben részesítik a tűzvédelmi műszaki irányelvekben közzétett megoldási lehetőségeket, mellyel az OTSZ által elvárt biztonsági szint teljesíthető. [66]

Az „új megközelítésű” OTSZ és a hozzá kapcsolódó TvMI-k a korábbi előírásoktól eltérően, sokkal részletesebben foglalkoznak a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak kialakításának feltételeivel. Az előírt túlnyomás értéke $50 \text{ Pa} \pm 10\%$, mely érték a füst kizárását hivatott biztosítani. Mivel ajtó nyitásához kifejtendő maximális erő legfeljebb 100 N értékkel került meghatározásra, ezért a kialakuló nyomáskülönbség és a maximális nyitási erő kifejtés az ajtószárny tervezett méretét is befolyásolhatja. Ebből következik, hogy a módosult előírás már figyelembe veszi azt a tényt is, hogy a lépcsőházban kialakuló – esetleg túlzottan nagy nyomás – a menekülést nehezíti vagy akár ellehetetleníti. Természetesen a nyitási erő túlzottan nagy értéke visszavezethető az ajtó nagyobb felületére, mely esetleg a kiürítési koncepció miatt válik kívánatossá, vagy az ajtócsukó szerkezet nem megfelelő beállítására.

Ahhoz, hogy az előírt túlnyomást a lépcsőházban szabályozni lehessen a műszaki irányelv elsősorban a PID algoritmussal történő szabályozást részesíti előnyben, azaz a fordulatszám szabályozással rendelkező (frekvenciaváltóról működtetett) ventilátorok az aktuális visszacsatolójel függvényében változtatják meg a ventilátor fordulatszámát úgy, hogy az előírt értékek közötti túlnyomást tartsa fenn a lépcsőházban a kapcsolódóterekhez képest.

Újabb hazai kutatások rávilágítottak arra, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakat határoló szerkezetek integritása kritikus hatást gyakorol az épületen belüli hő- és füstterjedés korlátozására, a menekülés feltételeinek biztosítására a kiürítés rendelkezésreálló időn belül. A megfelelően méretezett túlnyomásos füstmentes lépcsőház nemcsak a bent tartózkodók biztonságos térbe távozását szolgálja, hanem alkalmas környezeti feltételeket biztosíthat a tűzoltói beavatkozás során. [67], [68], [69]

Összegzés

Jelen szakirodalmi összefoglalóban bemutattam a kutatási témám szempontjából releváns, a túlnyomásos füstmentesítéssel kapcsolatos nemzetközi és hazai jogi szabályozást. Ezt követően a kutatási problémához kapcsolódó műszaki megoldások, irányelvek, szabványok tartalmát, továbbá a témához szorosan kapcsolódó hazai és nemzetközi tanulmányok és publikációk eredményeit vizsgáltam.

Megállapítható, hogy a kutatási témához kapcsolódó nemzetközi szakirodalom gazdagnak mondható, számos kutatás és fejlesztés folyt a korábbi évtizedekben és valós léptékű tesztek is végrehajtottak. A legátfogóbb és legrészletesebb kutatások Amerikában és Kanadában készültek, eredményeik kellően részletezettek. A korábbi kutatások eredményeképp elmondható, hogy napjainkban nemzetközi szinten a témával kapcsolatos legfontosabb források az EU területén az MSZ EN 12101 szabványsorozat, különös tekintettel annak 13. részére.

Amerikában legmeghatározóbb az NFPA 92, melynek legújabb revíziója 2024. évben készült el, mindemellett az IBC 2024 előírásai is relevánsnak mondható. A németországi VDMA 24188 és az ausztriai TRVB 112 S is tartalmaz adaptálásra megfontolandó műszaki tartalmakat, akárcsak az ausztráliai AS 1668.1 szabvány.

A kutatási témával kapcsolatos hazai szakirodalom mennyisége igen csekély, főként a korai műszaki előírás és a jogi források adnak támpontot, továbbá az ajtók légzárásával foglalkozó nemzeti szabványok.

Fentiek alapján megállapítható, hogy a választott kutatási téma aktuális, eredményei várhatóan beilleszthetők lesznek a hazai szabályozásba.

AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE, TARTALMA ÉS ELHATÁROLÁSOK

A disszertáció célkitűzéseivel összefüggésben a doktori értekezésemet három tartalmi fejezetre bontva dolgozom ki az alábbiak szerint.

Az **első fejezetben** elvégzem a hazai túlnyomásos füstmentes lépcsőházak – létesítés időpontjától függő – követelményrendszerek vizsgálatát a csukott ajtóknál elvárt differenciálnyomás és a meghatározott darabszámú nyitott nyílászáró szabad keresztmetszetében elvárt légsebesség vonatkozásában. Az eredményeket táblázatba foglalom, mely a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházban végzett légtechnikai mérések eredményeinek értékelését támogatja. Foglalkozom továbbá meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai mérésével, mely során elemzem, hogy a jelenleg üzemelő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tényleges nyomáskülönbség és légsebesség paraméterei milyen mértékben felelnek meg a létesítéskor elvárt követelményekkel.

Az értekezés **második fejezetében** megvizsgálom azokat a hazai és nemzetközi műszaki ajánlásokat, amelyek a túlnyomásos lépcsőházakat határoló ajtók résveszteségének becslésére szolgálnak. Az ajánlott résméreték és résveszteség tényezők összefoglalását követően megvizsgálom annak lehetőségét, hogy meglévő túlnyomásos füstmentes előtereket határoló ajtók résméretének becslésére alkalmazható-e az adott helyiség túlnyomást biztosító légellátó rendszere. Ezt követően további mérésekkel megvizsgálom és meghatározom már beépített, egyszárnyú, füstgátló nyílászárók résveszteségét különböző nyitásiirányok esetén, melyből kifejezhető az ajtók résmérete, résveszteség tényezője.

A disszertáció **harmadik fejezetében** elvégzem a túlnyomásos lépcsőházakba nyíló ajtók nyitásához szükséges erő kifejtésre vonatkozó hazai és nemzetközi követelményeket. Megvizsgálom az egy- és kétszárnyú ajtók esetén alkalmazott különböző zárszerkezetek kialakítását. A nyitási mechanizmustól függően kidolgozom kétszárnyú, szimmetrikus kialakítású, ajtócsukóval ellátott pánikrudas ajtó mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés becslésének módszerét. Foglalkozom továbbá meglévő, beépített túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egy- és kétszárnyú ajtók nyitási erő mérésének módszerével és amérés eredményeinek értékelésével, a nyitási erő kifejtés optimalizálásának módszerével.

Az értekezés elkészítésénél az alábbi elhatárolási szempontokat veszem figyelembe:

1. Meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban végzett méréseim kizárólag a létesítéskor az adott lépcsőházra elvárt nyomáskülönbség és légsebesség paraméterek megfelelőségének értékelésére vonatkozik.

2. A vizsgált füstgátló ajtók eredményei az MSZ EN 1634-3 szerint vizsgált és az MSZ EN 13501-2 szerint osztályozott, egyszárnyú füstgátló ajtókra alkalmazható, 6,1 m-es réshosszig, 10 Pa és 50 Pa közötti nyomáskülönbség esetén, környezeti hőmérsékleten.
3. A vizsgálataim és kutatásom során nem végeztem elemzést általános módon a tűzvédelmi szimulációkkal kapcsolatban, nem hajtok végre szimulációs kísérleteket tűz- és füst szimulációk formájában, azonban a kapott eredmények egy része adaptálható szimulációs tervezések bemeneti paramétereiként.
4. A nyitási erő meghatározásának tárgya kizárólag az önműködő csukószerkezettel ellátott, túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egy- és kétszárnyú ajtók mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés. A vizsgálatok nem terjednek ki a zárszerkezet kioldásához (kilincs, pánikrúd lenyomásához) szükséges erő kifejtés mértékére.

A kutatásaimat 2025. december 19-én zártam le.

1. MEGLÉVŐ TÚLNYOMÁSOS FÜSTMENTES LÉPCSŐHÁZAK LÉGTECHNIKAI MÉRÉSEKKEL TÁMOGATOTT VIZSGÁLATA

Jelen fejezetben – a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakra vonatkozó létesítési követelmények időbeli változásának bemutatását követően – meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak engedélyezéskori előírásoknak való megfelelését vizsgálom mérésekkel támogatva.

1.1. Túlnyomásos füstmentes lépcsőházakra vonatkozó létesítési követelmények változásai

Az irodalmi összefoglalóban bemutatásra került a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megjelenése a tűzvédelem komplex rendszerében. Nyilvánvaló, hogy ezen előírások tartalma folyamatos változáson ment keresztül a technikai fejlődésének és a tapasztalatok adaptálásának megfelelően. Az MSZ 595/1-1974 szabványban még az alábbiak szerint definiálták a füstmentes lépcsőházakat:

„Füstmentes lépcsőház: nem éghető anyagú, meghatározott tűzállósági határértékű szerkezetekkel határolt, szabadba vezető kijáráttal rendelkező, önműködően csukódó ajtókkal, hő- és füstelvezetővel ellátott lépcsőház.” [70]

A szabvány későbbi, 1979-ben közzé tett kiadásában már egy tartalmilag pontosított definíció található:

„Meghatározott tűzállósági határértékű szerkezetekkel határolt olyan – szabadba vezető kijáráttal rendelkező, önműködően csukódó ajtókkal ellátott – lépcsőház, amelybe az épülettűz alkalmával füst és toxikus égésgázok bejutásának lehetősége meghatározott mértékben korlátozott, így az az épület biztonságos kiürítésére mindenkor alkalmas marad.”

Itt már érzékelhető, hogy kidolgozás alatt volt a füstmentes lépcsőházakra vonatkozó ágazati műszaki előírás, amely már megkülönböztetett természetes szellőzésű és túlnyomásos szellőzésű füstmentes – előtérrel vagy előtér nélkül kialakított, zárt – lépcsőházakat.

Az ME-04–132–84 megjelenésével a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak kialakítására vonatkozó szabályok átfogóvá váltak. [21] Visszavonása a 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet megjelenésével történt meg, amely azonban légtechnikai méretezés szempontjából nem hozott jelentős változásokat, így gyakorlatilag a 28/2011. (IX. 6.) BM rendelet megjelenéséig – több mint 30 éven keresztül – szinte azonos szempontok szerint készültek a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak. [64], [71]

Jelentős változást az új megközelítésű OTSZ megjelenése hozott, melynek szemlélete már a nyomáskülönbséges rendszerek tervezésére akkoriban vonatkozó MSZ EN 12101-6:2005 szabvány felé közelített, így a relatív túlnyomásra vonatkozó követelmények mellett az ajtók nyitási erejének korlátozására és a lépcsőházi nyomásszabályozás reakció idejének meghatározására irányuló előírások is megjelentek benne.

Napjainkban az ezzel kapcsolatos műszaki ajánlásokat a *hő és füst elleni védelem TvMI* tartalmazza. Megemlítendő, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezésére vonatkozóan 2005. december 1. óta létezik magyar nemzeti szabványként bevezetett európai szabvány is, mely 2022-ben teljesen átdolgozásra került, azonban ennek alkalmazása – sajnálatos módon – még napjainkban sem terjedt el hazánkban.

Tekintettel arra, hogy a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak elvárt légtechnikai paramétereinek megfelelőségére vonatkozó összefoglaló nem állt rendelkezésre, célul tűztem ki, hogy hazánkban a különböző időszakokban elvárt légtechnikai paramétereket táblázatos formában foglaljam össze. Ennek kiemelt szerepe, hogy a lépcsőházak méretezése alapjául szolgáló előírás ismeretében a légtechnikai mérések eredményei egységesen kiértékelhetők legyenek. Azaz egy adott lépcsőház megfelelősége – légtechnikai szempontból – megítélhető legyen.

Nem helyes a gyakorlatban elterjedt azon megközelítés, hogy a lépcsőházak légtechnikai mérésekor a mérés elvégzésekor hatályos OTSZ-ben elvárt légtechnikai paraméterek teljesülését próbálják igazolni. A korábbi szabályozások szerint létesült lépcsőházak légellátó rendszerétől nem elvárható, hogy az aktuális műszaki követelményeknek megfelelő legyen. Fentiek természetesen nem jelentik és nem is jelenthetik automatikusan azt, hogy ne adódhatna olyan – a tűzvédelmi helyzetet kedvezőtlenül befolyásoló – változás az épületben, ami a túlnyomásos füstmentes lépcsőház aktuális előírásoknak való megfelelőségét tenné szükségessé. Ezt azonban egyedileg kell megítélni a tűzvédelmi tervezői illetve tűzvédelmi szakértői kompetencia keretében.

A 1-2. táblázatokban az előtérrel és előtér nélkül kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházakra vonatkozó alapvető légtechnikai követelmények kerültek összefoglalásra legfeljebb középmagas épületek esetében. [72] A táblázatok tartalmazzák, hogy az adott létesítéskori előírás milyen időbeli hatállyal rendelkezett. A csukott lépcsőházi ajtók vonatkozásában a lépcsőház-előtér és az előtér-közlekedő között kívánt nyomástartomány mellett megjelenik a bizonyos időszakban elvárt egy nyitott lépcsőházi ajtó mellett elvárt túlnyomás, továbbá az előírt darabszámú nyitott lépcsőházi ajtó szabad keresztmetszetében elvárt minimális légsebesség értéke.

1. táblázat – Előtér nélkül kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető légtechnikai követelményeinek változásai legfeljebb középmagas épületekben, szerkesztette a szerző

Előíró	Időszak	Relatív túlnyomás		Légsebesség előírt számú nyitott ajtó esetén
		Csukott ajtók	1 nyitott ajtó	
MSZ 595/4-74	1975.01.31.- 1984.11.30.	0,005 N/cm ² (50 Pa)	-	-
ME-04-132-84	1984.12.01.- 2008.05.21.	25-75 Pa	-	1 m/s
9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet	2008.05.22.- 2011.10.05.	25-75 Pa	-	1 m/s
28/2011. (IX. 6.) BM rendelet	2011.10.06.- 2015.03.04.	25-50 Pa	-	1 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet	2015.03.05.- 2015.03.29.	50 Pa ± 10%	10 Pa	1 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet és TvMI 3.1:2015.03.30.	2015.03.30.- 2017.11.30.	50 Pa ± 10%	10 Pa	1 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet és TvMI 3.2:2017.12.01.	2017.12.01.- 2020.01.21.	50 Pa ± 10%	10 Pa	1 m/s
TvMI 3.3:2020.01.22.	2020.01.22.- 2022.06.12.	50 Pa ± 10%	(10 Pa) (mellékletben)	1 m/s
TvMI 3.4:2022.06.13.	2022.06.13.- 2024.01.31.	50 Pa ± 10%	(10 Pa) (mellékletben)	1 m/s
TvMI 3.5:2024.02.01.	2024.02.01.- 2025.01.31.	50 Pa ± 10%	(10 Pa) (mellékletben)	1 m/s
TvMI 3.6:2025.02.01.	2025.02.01.-	50 Pa ± 10%	-	1 m/s

Az 1. táblázat alapján elmondható, hogy a legfeljebb középmagas épületekben létesült előtér nélküli túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban több, mint 30 éven keresztül az elvárt relatív túlnyomás a kapcsolódó terekhez képest 25-75 Pa volt. Ez a napjainkban kívánatos 45-55 Pa közötti differenciálnyomáshoz képest jelentős eltérésnek tekinthető. A lépcsőházi nyitott ajtók szabad nyílás m²-enkénti felületére számított 1,0 m³/s légvesztési érték gyakorlatilag változatlan.

Noha a későbbiekben megkövetelt, egy nyitott lépcsőházi ajtó mellett biztosítandó 10 Pa relatív túlnyomással kapcsolatban a tervezői vélemények megosztóak voltak. Megemlítendő, hogy a nyomáskülönbséges rendszerek tervezésével is foglalkozó hatályos európai szabvány 1 nyitott ajtó mellett 30 Pa relatív túlnyomást biztosító rendszerek (nyitott kijáratú ajtós elrendezés) tervezésére is tartalmaz iránymutatást.

2. táblázat – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető légtechnikai követelményeinek változásai legfeljebb középmagas épületekben, szerkesztette a szerző

Előíró	Időszak	Relatív túlnyomás			Légsebesség előírt számú nyitott ajtó esetén
		Csukott ajtók		1 nyitott ajtó	
		Lépcső- ház- előtér	Előtér- kapcs. tér		
MSZ 595/4-74	1975.01.31.- 1984.11.30.	0,005 N/cm ² (50 Pa)		-	-
ME-04–132–84	1984.12.01.- 2008.05.21.	> 5 Pa	> 20 Pa	-	1 m/s
9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet	2008.05.22.- 2011.10.05.	> 5 Pa	> 20 Pa	-	1 m/s
		25-75 Pa a lépcsőház és a közlekedő között			
28/2011. (IX. 6.) BM rendelet	2011.10.06.- 2015.03.04.	10-15 Pa	-	-	1 m/s
		25-75 Pa a lépcsőház és a közlekedő között			

54/2014. (XII. 5.) BM rendelet	2015.03.05.- 2015.03.29.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	10 Pa	1 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet és TvMI 3.1:2015.03.30.	2015.03.30.- 2017.11.30.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	10 Pa	1 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet és TvMI 3.2:2017.12.01.	2017.12.01.- 2020.01.21.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	10 Pa	1 m/s
TvMI 3.3:2020.01.22.	2020.01.22.- 2022.06.12.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	(10 Pa) (mellék- letben)	1 m/s
TvMI 3.4:2022.06.13.	2022.06.13.- 2024.01.31.	-	10-50 Pa	(10 Pa) (mellék- letben)	1 m/s
		50 Pa ± 10%			
TvMI 3.5:2024.02.01.	2024.02.01.- 2025.01.31.	-	10-50 Pa	(10 Pa) (mellék- letben)	1 m/s
		50 Pa ± 10%			
TvMI 3.6:2025.02.01.	2025.02.01.-	-	10-50 Pa	-	1 m/s
		50 Pa ± 10%			

A 2. táblázat alapján elmondható, hogy a legfeljebb középmagas épületekben létesült előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban a lépcsőház és az előtér, az előtér és a kapcsolódó terek között biztosítandó relatív túlnyomás értéke több alkalommal is változott. Ennek oka valószínűleg az ilyen légtechnikai rendszerek beszállításával kapcsolatos nehézségekre vezethető vissza, melyet a meghatározott irányú, kis értékű nyomáskülönbségek elvárása okozza. Ezekben a rendszerekben már a külső-belső hőmérsékletkülönbségből adódó nyomáskülönbség is számottevően befolyásolhatja a néhány *Pa* nagyságrendű értékek valamennyi szinten való teljesülését. Más szóval, egy nyári időszakban az előírásnak megfelelően beszállított túlnyomásos előtér a téli időszakban lehetséges, hogy nem teljesíti az elvárt differenciálnyomás követelményt. A vonatkozó TvMI-ben megjelölt szélesebb nyomástartomány könnyebben betartható, ugyanakkor ennek ellenére is fontos szempont lenne hazánkban is figyelembe venni a hőmérsékletkülönbségből, széliránytól és sebességtől függő befolyásoló hatásokat a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezése során.

3. táblázat – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető légtechnikai követelményeinek változásai magasépületekben, szerkesztette a szerző

Előíró	Időszak	Relatív túlnyomás			Légsebesség előírt számú nyitott ajtó esetén
		Csukott ajtók		1 nyitott ajtó	
		Lépcső-ház-előtér	Előtér-kapcs. tér		
MSZ 595/4-74	1975.01.31.-1984.11.30.	0,005 N/cm ² (50 Pa)		-	-
ME-04–132–84	1984.12.01.-2008.05.21.	> 7 Pa	> 43 Pa	-	1,5 m/s
9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet	2008.05.22.-2011.10.05.	> 7 Pa	> 43 Pa	-	1,5 m/s
		50-75 Pa a lépcsőház és a közlekedő között			
28/2011. (IX. 6.) BM rendelet	2011.10.06.-2015.03.04.	20-35 Pa	-	-	1,5 m/s
		50-75 Pa a lépcsőház és a közlekedő között			
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet	2015.03.05.-2015.03.29.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	10 Pa	1 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet és TvMI 3.1:2015.03.30.	2015.03.30.-2017.11.30.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	10 Pa	1,0 m/s / 1,5 m/s
54/2014. (XII. 5.) BM rendelet és TvMI 3.2:2017.12.01.	2017.12.01.-2020.01.21.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	10 Pa	1,0 m/s / 1,5 m/s
TvMI 3.3:2020.01.22.	2020.01.22.-2022.06.12.	50 Pa ± 10%	10-15 Pa	(10 Pa) (mellékletben)	1,5 m/s

TvMI 3.4:2022.06.13.	2022.06.13.- 2024.01.31.	-	10-50 Pa	(10 Pa) (mellék- letben)	1,5 m/s
		50 Pa ± 10%			
TvMI 3.5:2024.02.01.	2024.02.01.- 2025.01.31.	-	10-50 Pa	(10 Pa) (mellék- letben)	1,5 m/s
		50 Pa ± 10%			
TvMI 3.6:2025.02.01.	2025.02.01.-	-	10-50 Pa	-	1,5 m/s
		50 Pa ± 10%			

A 3. táblázat alapján megállapítható, hogy a magasépületekben létesített előteres túlnyomásos lépcsőházakban a megkövetelt minimális nyomáskülönbség a szabályozás kezdeti szakaszában is 50 Pa volt. A lépcsőház előtere és az ahhoz kapcsolódó egyéb terek (közlekedők) között tartandó 43 Pa nyomáskülönbség napjainkban 10-50 Pa értékre változott. Az előírt darabszámú nyitott ajtó szabad keresztmetszetében biztosítandó térfogatáram már a korai szakaszban is másfélszerese volt az ugyanilyen kialakítása magasépületnek nem minősülő épületekben.

Megfontolandó, hogy valamennyi lépcsőházi ajtó csukott állapotában az előtér és a kapcsolódó tér között kialakuló 10 Pa nyomáskülönbség helyett magasabb érték kerüljön meghatározásra, mivel a hőmérsékletkülönbség miatt a kapcsolódó térben ennél nagyobb nyomás is kialakulhat. [42, o. 206–208] A csukott ajtó résein keresztüli áramlás a hőmérsékletkülönbség növekedésével intenzívebbé válik. [73, o. 1840], [74, o. 1896] Ez különösen kritikus, ha az előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőház nagy légterű (open space) helyiséghez vagy teremgarázshoz csatlakozik. [7, o. 54–55] A mértékadó kockázati osztálynak megfelelő tűzállósággal rendelkező (S₂₀₀) füstgátló ajtó a szivárgást minimalizálja, de nem tudja kiküszöbölni. Az előtér és a lépcsőház közötti nyomás kiegyenlítődés szintén nem kívánatos jelenség a füstterjedés korlátozása tekintetében.

Az 1-3. táblázat jól szemlélteti, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakra vonatkozó műszaki követelmények hozzávetőleg az elmúlt tíz évben estek át jelentősebb változáson.

Ez alapján kijelenthetjük, hogy a jelenleg is üzemelő épületekben található túlnyomásos füstmentes lépcsőházak – amennyiben az épületben a tűzvédelmi koncepciót jelentősen érintő változás nem történt – számottevő része az 1975 és 2014 közötti előírások mentén működnek napjainkban is. Egy épület életciklusában a működés fázisa a leghosszabb, amely során a nem megfelelő használat, nem megfelelő intézkedések közvetett vagy közvetlen veszélyeket idézhetnek elő az életciklusban. [75, o. 50–53] Ennek kockázatát csökkenthetjük a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak időszakosan végzett teljes körű felülvizsgálatával. Sok esetben tapasztalható, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak első, használatbavételi engedélyezési eljáráshoz kapcsolódó, légtechnikai mérési jegyzőkönyve kényszerből igazolja az elvárt légtechnikai paraméterek teljesülését. Ennek egyik oka lehet a mérést végző személy vagy szervezet beruházótól vagy kivitelezőtől való függése.

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megfelelő működése még kritikusabb, ha abban átmeneti védett teret alakítanak ki, vagy az épület kiürítési stratégiája olyan, hogy egy időben a feltételezettnél több nyílászáró lesz nyitott állapotban, esetlegesen szakaszos kiürítés során az épület teljes kiürítése időben elhúzódik.

1.2. Vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak jellemzői

A mérések tervezése során fontos volt, hogy különböző rendeltetésű és felépítésű épületek túlnyomásos füstmentes lépcsőházait vizsgáljam. A lépcsőházakat befogadó épületek létesítésének, illetve a túlnyomásos füstmentes lépcsőház légellátórendszerét is érintő felújításának ideje 1975 és 2015 között volt. Összesen 157 alkalommal végeztem méréseket túlnyomásos füstmentes lépcsőházakon, melynek célja a létesítési követelményeknek való megfelelés vizsgálata volt.

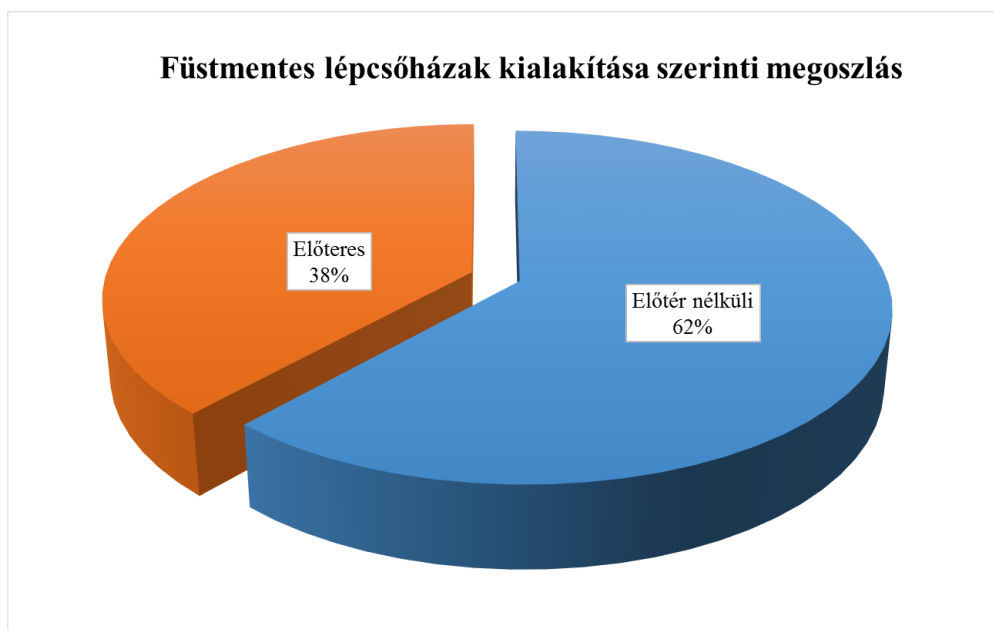
1.2.1. A vizsgált épületek építészeti kialakításának és rendeltetésének jellemzői

A vizsgált lépcsőházak releváns jellemzőinek feltárása, valamint ezek rögzítése kulcsfontosságú volt, mivel a megfelelésértékeléséhez későbbiekben zsinórmértékül szolgál.

A mérések megkezdése előtt fontos volt megállapítani, hogy az adott épületben meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőház mikor létesült, az épület építési engedélye mikor került kiadásra. Ennek ismerete elengedhetetlen, hiszen a lépcsőház megfelelőségének értékelésekor a létesítéskor hatályos követelményeknek való megfelelést vizsgáltam. Egy-egy épületben, a dokumentációk részleges vagy teljes hiánya esetén, lehetőség van levéltári dokumentumok kikérésére, de sok esetben a ventilátorok vagy az azokat hajtó villanymotorok gyártási ideje, a felvonókönyvekben szereplő engedélyszámok is jó támpontot nyújtanak.

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető geometriai jellemzői voltak a lépcsőház szélessége és hossza, az egyes szintek belmagassága, a lépcsőkarok szélessége és az orsótér mérete. Fontos ezenkívül még feljegyezni, hogy melyik szinten hány darab ajtó nyílik a lépcsőházba, ezek milyen teljesítményjellemzőkkel rendelkeznek, van-e a lépcsőháznak homlokzati kapcsolata, illetve található-e benne nyitható ablakok. A lépcsőházból a szabadba vezető kijárat kialakítását is rögzítettem.

Az előtérrel, illetve az előtér nélkül kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak közel azonos arányban szerepeltek a vizsgált mintákban, de nagyobb arányban fordult elő az előtér nélküli változat. A kialakítás szerinti pontos megoszlást a 2. számú ábra szemlélteti. Az előteres lépcsőházak létesítése magasépületekben, illetve egyes középmagas épületek létesítésekor alapvetően kötelező volt. Egyéb esetekben jellemzően valamilyen jogszabálytól (szabványtól) való eltérés ellensúlyozása (pl.: tűzoltási felvonulási terület hiánya) vagy biztonsági felvonó előterének védelme miatt kerültek kialakításra előterek.



2. ábra – A vizsgált lépcsőházak kialakítása szerinti megoszlás, készítette a szerző

Bár az előterek szerepe a tervezői gyakorlatban esetenként vitatott, alapvetően az alábbi okokból alkalmasak a füst lépcsőházba való bejutásának korlátozására:

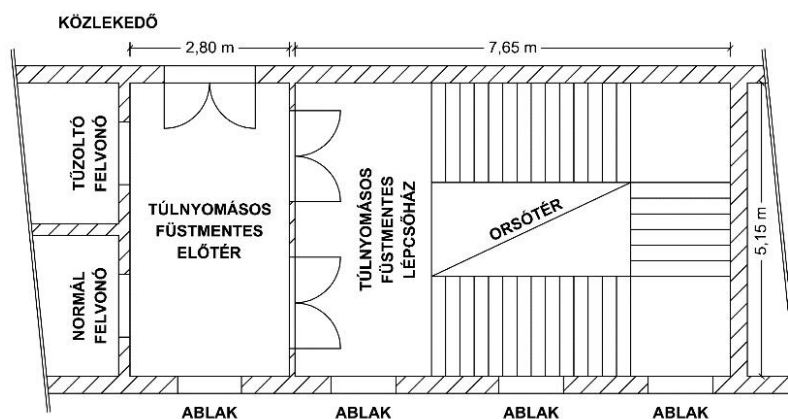
- A légtechnikai szempontból megfelelően beszabályozott előtérben a lépcsőházhoz képest kisebb, míg a kapcsolódó egyéb terekhez képest nagyobb relatív nyomás alakul ki. Ezáltal a szerkezeti réseken (elsősorban az ajtók résein) átáramló levegő statikus állapotban – amikor valamennyi lépcsőházi ajtó csukott állapotban van – közel azonos légcserével szellőzteti az előteret.

- Az előtéri ajtó nyitása nem okozza közvetlenül a lépcsőházi túlnyomás gyors csökkenését. Míg az előtér nélkül kialakított lépcsőházakban az ajtó nyitásával egyidejűleg a túlnyomás a lépcsőházban gyorsan esik, addig az előtér mintegy zsilipként működve, korlátozza a gyors nyomásváltozásokat a lépcsőházban.
- A lépcsőházi légellátó rendszertől függetlenül működő előtéri befűvő rendszer a lépcsőházi füstmentesítő rendszer meghibásodásakor képes egy minimális túlnyomás biztosítására, mely korlátozott ideig ugyan, de csökkentheti a füst lépcsőházba való beszivárgásának mértékét. Emiatt különös tervezői megfontolást igényel olyan módszer alkalmazása, amikor a lépcsőházból átvezetett speciális légszelepen keresztül biztosítják egy pinceszinti füstmentes előtér szellőzését ahelyett, hogy önálló ventilátorról biztosítanák annak füstmentességét. Az ebből fakadó kockázatok és költségek mérlegelése a tervezők kompetenciája kell, hogy legyen.

Az építmények magassága szerinti besoroláshoz négy csoport került meghatározásra. Ezek közül első csoport volt a magasépületek, melyek 30 m feletti legfelső használati szinttel rendelkeztek és a vizsgált lépcsőházak esetén 17-19 szintet kötöttek össze.

Második csoportba a középmagas épületek tartoztak, melyekben a lépcsőházban összekötött szintek száma általában 4-12 szint közé esett. Fontos kiemelni, hogy ez a szám nem utal közvetlenül az épület talajszint feletti szintjeinek számára, mivel egy középmagas épületben nem szükségszerű, hogy valamennyi túlnyomásos füstmentes lépcsőház az épület összes szintje között összeköttetést biztosítson.

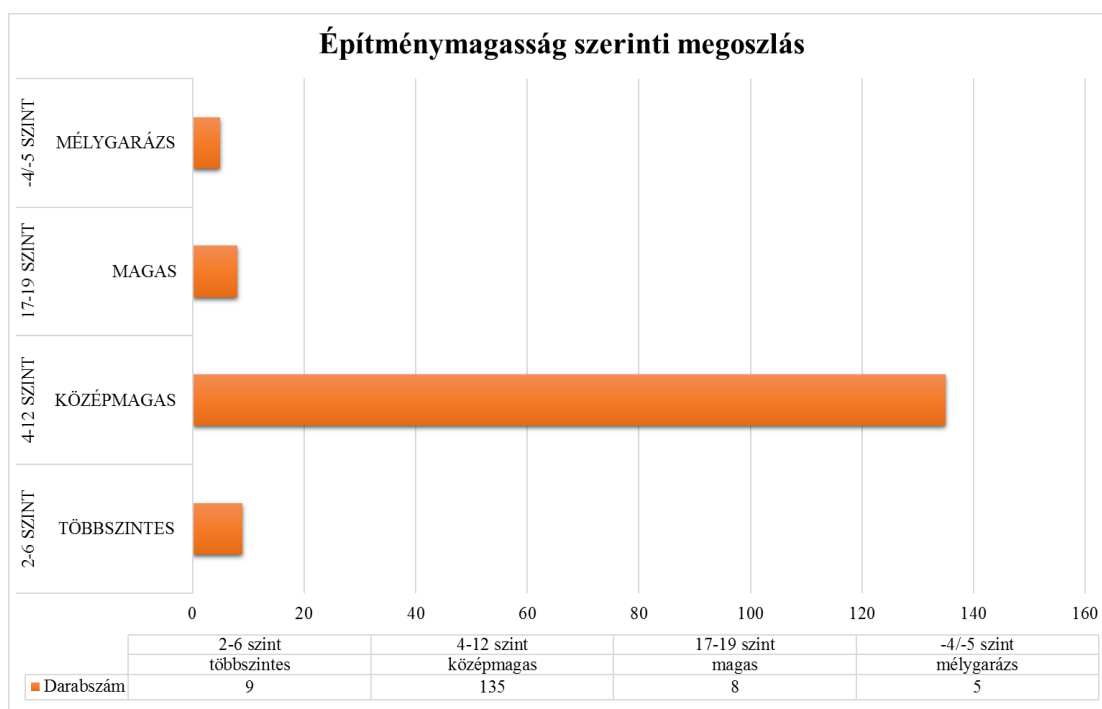
A harmadik csoportba a többszintes épületek tartoztak, melyek olyan menekülésben korlátozott személyek szállásolására szolgáltak, ahol a menekülési képességet jellemzően nem az életkortól függő körülmény korlátozta. Ezeknek a lépcsőházaknak a pihenőrésze az átlagosnál nagyobb volt, továbbá legtöbbször a biztonsági felvonó is közvetlenül a túlnyomásos füstmentes lépcsőházhoz csatlakozott (3. ábra).



3. ábra – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőház az előtérhez kapcsolódó tűzoltó felvonóval, készítette a szerző

A negyedik csoportba azok a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak kerültek besorolásra, amelyek a csatlakozó terepszinten elhelyezkedő kijáratí szint kivételével csak talajszint alatti szinteket kötöttek össze. Ezek minden esetben személygépjárművek tárolására szolgáló rendeltetések voltak, ahol a tűzoltói beavatkozás egyetlen megközelítési útvonalát a túlnyomásos füstmentes lépcsőház jelentette.

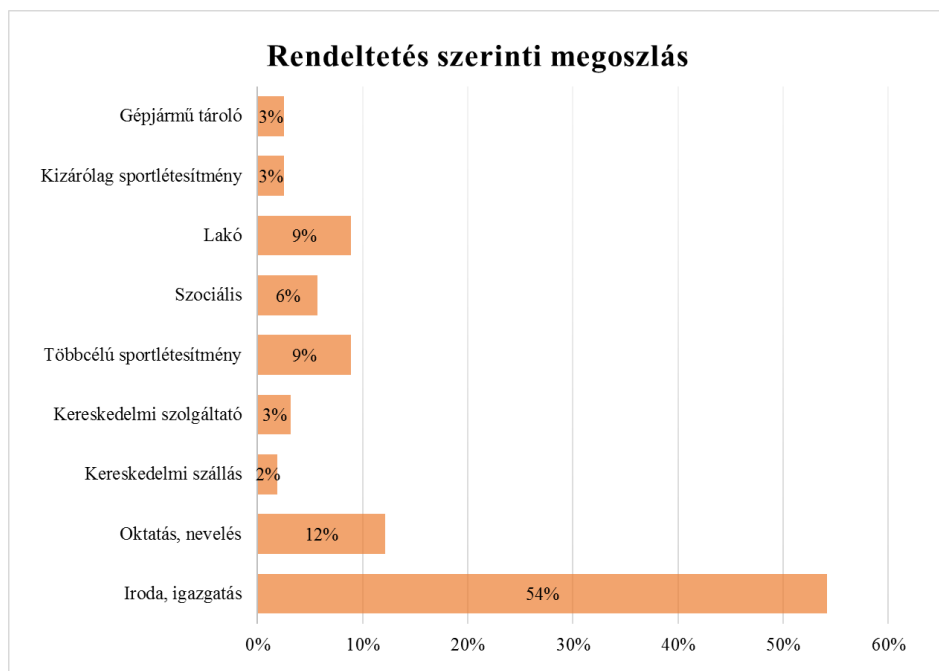
A 4. számú ábra a vizsgált épületek építménymagasság szerinti besorolásának megoszlását szemléltetik.



4. ábra – Az építmények magasság szerinti megoszlása, készítette a szerző

A 4. ábra alapján a minta döntő többsége középmagas épület volt. Ennek oka, hogy a magasépületek építése a lépcsőházak létesítésének időkorében kevésbé volt elterjedt, míg a többszintes épületekben – eltérő rendelkezés hiányában – jellemzően nem volt kötelező túlnyomásos füstmentes lépcsőházat létesíteni. Kizárólag talajszint alatti mélygarázs megközelítésére szolgáló lépcsőházak szintén kevésbé jelennek meg, mivel jellemzően a középmagas épületek füstmentes lépcsőházai a talajszint alatti szintek megközelítését is biztosították.

A vizsgált épületek alaprendeltetése elsősorban közösségi alaprendeltetés. Ezen belül is irodai és oktatási rendeltetésű épületek voltak döntő többségben. Törekedtem arra, hogy a minták a rendeltetések minél szélesebb skáláját fedjék le, így a lépcsőházakat befogadó épületeket kilenc rendeltetés köré csoportosítottam az 5. ábra szerint.



5. ábra – A vizsgált épületek rendeltetés szerinti megoszlása, készítette a szerző

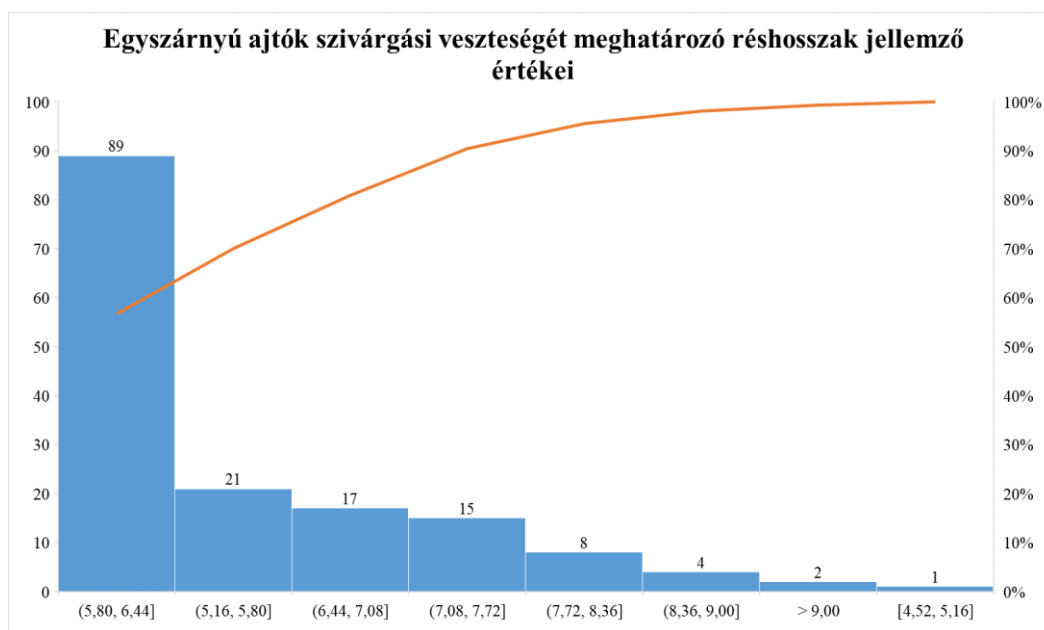
A minta több, mint fele iroda, igazgatási rendeltetés volt. Ennek két fő oka, hogy ezekben a létesítményekben a legegyszerűbb a mérést torzító hatások nélkül hétvégén, vagy hétköznapi hajnali órákban a méréseket elvégezni. Másrészt a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakkal rendelkező középmagas épületek jellemzően irodaházak, lakó rendeltetésű épületekben gyakrabban kerül alkalmazásra természetes szellőzésű füstmentes lépcsőház.

Különösen nehéz a mérések megszervezése a már működő lakó alaprendeltetésű épületekben, szociális intézményekben, továbbá olyan létesítményekben, ahol a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak közvetlenül vagy közvetve túlnyomásos tisztaterekhez kapcsolódnak.

Olyan egészségügyi létesítményekben, ahol tisztaterek nyernek elhelyezést a hő- és füstelvezető rendszerek, túlnyomásos füstmentes lépcsőházak vizsgálata, karbantartása kiemelt körütekintést igényel, mivel a kapcsolódó szintekre még a csukott nyílászáró résein keresztül is nagy mennyiségű kezeletlen levegő áramlik be, nyitott lépcsőházi ajtó esetén pedig ez az érték jellemzően tízezer m³/h nagyságrendű.

A vizsgált lépcsőházakba nyíló ajtók 54%-a egyszárnyú volt jellemzően. Az ajtók kevesebb, mint 20%-a rendelkezett S_a vagy S₂₀₀ teljesítmény jellemzővel, ugyanakkor ez a vizsgált lépcsőházak létesítésének időpontját is figyelembe véve nem tekinthető kirívónak alacsonynak. Azonban kiemelendő, hogy az ajtók közel 70%-a rendelkezett tűzállósági teljesítményjellemzővel.

A lépcsőházakba nyíló egyszárnyú ajtók jellemző réshosszait a 6. számú ábra szemlélteti. A vizsgált egyszárnyú lépcsőházi ajtók szivárgási réseinek átlagos hossza 6,09 m volt 0,23 m szórással (n=85), míg a kétszárnyú ajtók esetén ez az érték 6,85 m volt, azonban 1,06 m szórással (n=72), melynek oka az aszimmetrikus szárnykialakításra vezethető vissza.



6. ábra – A vizsgált lépcsőházak ajtóinak szivárgási réshosszainak jellemző értékei, készítette a szerző

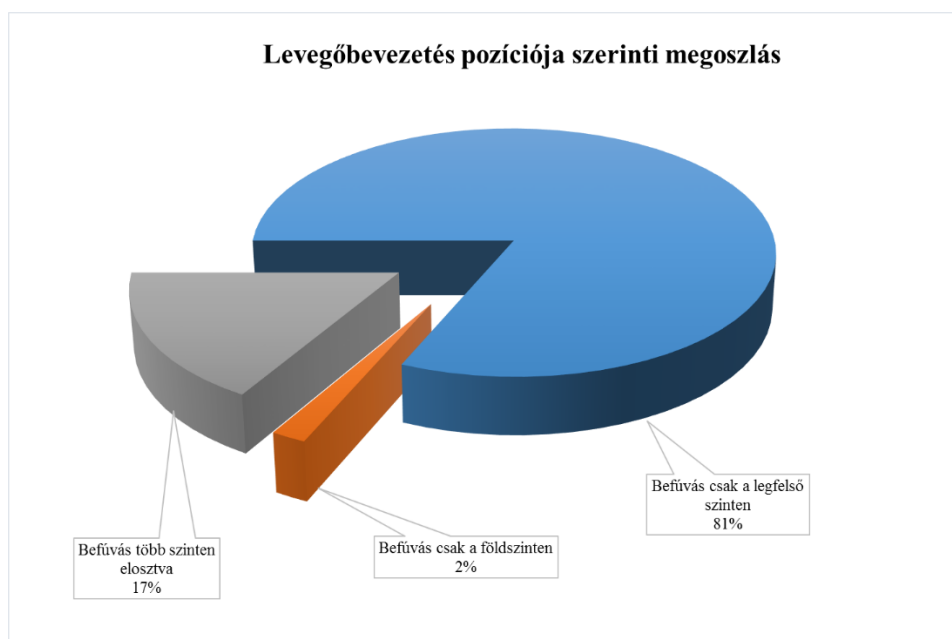
1.2.2. A vizsgált lépcsőházak légellátásának és szabályozásának jellemzői

Összhangban a vizsgált lépcsőházak létesítésének időszakában hatályos előírásokkal – mely szerint jellemzően a levegőt lehetőleg a legfelső szinten kellett betáplálni – a levegő befűvés jellemzően a lépcsőházak legfelső szintjén valósult meg.

Az összesen 157 mérésből 128 esetben csak a legfelső szinten történt levegő bevezetés, 26 olyan lépcsőház volt, ahol a levegőbevezetés több szinten elosztva történt és mindösszesen 3 esetben csak a földszinten történt frisslevegő bevezetés. Azokon a helyeken, ahol a levegő bevezetése több szinten elosztva valósult meg a frisslevegő beszívása szintén a legfelső szinten történt, azaz a frisslevegő beszívása csaknem minden esetben a legfelső szintről történik. A levegőbevezetése szerinti pozíció megoszlását a 7. ábra mutatja.

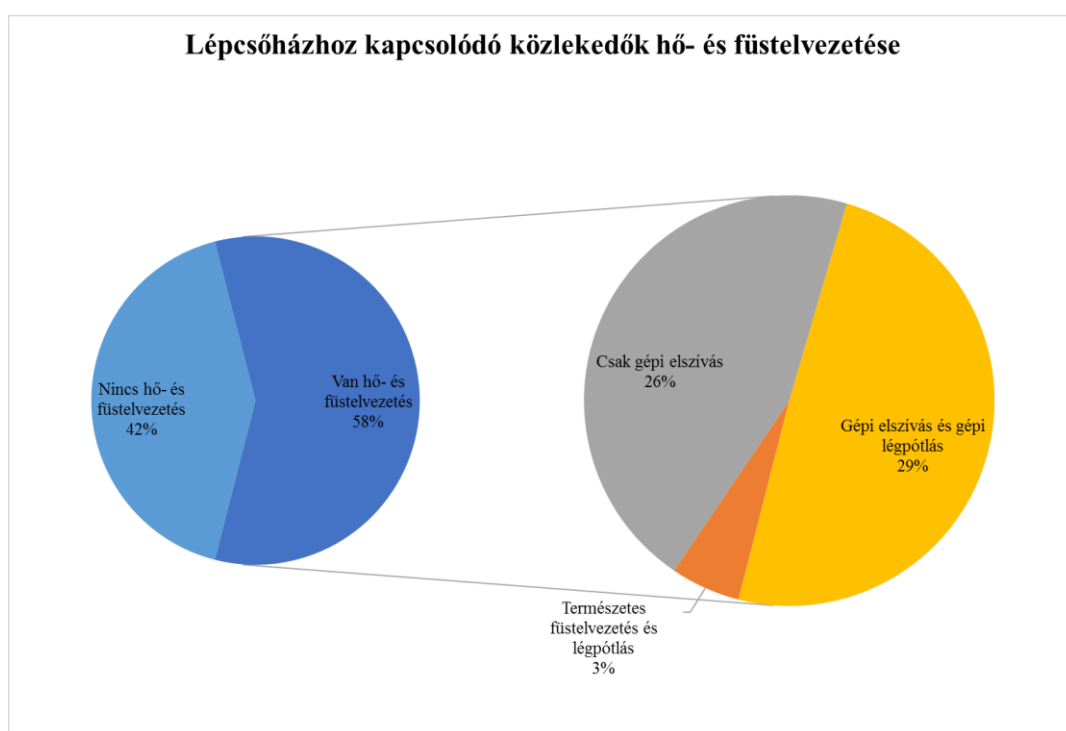
Fentiek alapján megállapítható, hogy a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak frisslevegő beszívása kedvezőtlenül a legfelső szinten helyezkedik, egyedüli frisslevegővételi pontként, így a homlokzati nyílászárókon kijutó vagy az éghető magú homlokzati hőszigetelőrendszer égéséből felszabaduló füst lépcsőházba való visszaszívása nem zárható ki. Kockázatot jelenthet továbbá a levegő beszívási pontjához közel elhelyezkedő füstkidobás is. Az ilyen rendszerek esetében egyedileg vizsgálandó, hogy a füst lépcsőházba való bejutásának kockázata a lépcsőházi légellátó rendszeren keresztül miképpen csökkenthető.

Nem elhanyagolható azon kialakítások okozta kockázat, amikor a lépcsőházi füstmentesítő ventilátor padlástéren helyezkedik el, ahol a padlástérben keletkező tűz közvetlenül veszélyezteti a gépet és a frisslevegő beszívást. Ez a jelenség lapostetők esetében is jelentkezhet és különösen veszélyes lehet, ha a tetőn napelem panelek kerültek telepítésre. Szellőző gépházakban, teremgarázsokban elhelyezett ventilátorok, továbbá a szabályozást biztosító egyéb berendezések szintén kockázatként azonosíthatók a meglévő rendszerek vonatkozásában.



7. ábra – A vizsgált levegőbevezetés pozíciója szerinti megoszlása, készítette a szerző

Egy adott szinten lévő lépcsőházi ajtó két oldala között kialakuló nyomáskülönbséget befolyásolhatja a kapcsolódó tér hő- és füstelvezetése. Ezek a hő- és füstelvezető rendszerek zárt közlekedőknél a legtöbb esetben kiegyenlített vagy depresszív nyomásviszonyúak, de rosszul szabályozott gépi légpótlás esetén akár túlnyomás is kialakulhat. Az MSZ 595/4 előírása alapján a zárt közlekedőkön kialakított legalább 1 m² felületű kézzel nyitható ablakokat nem tekintetem hő- és füstelvezetésnek, mivel ezek nem lépnek működésbe automatikusan vagy a lépcsőház indításának jelére. Depresszív nyomásviszonyú szellőzés jellemzően a homlokzati kapcsolat nélküli zárt közlekedőkön az 1 m² felületű kézzel nyitható ablakok kiváltásaként, továbbá tűzgátló előterek szellőzéseként jelentek meg a vizsgálatok során. A lépcsőházakhoz kapcsolódó terek hő- és füstelvezetésének jellegét a 8. ábra foglalja össze.

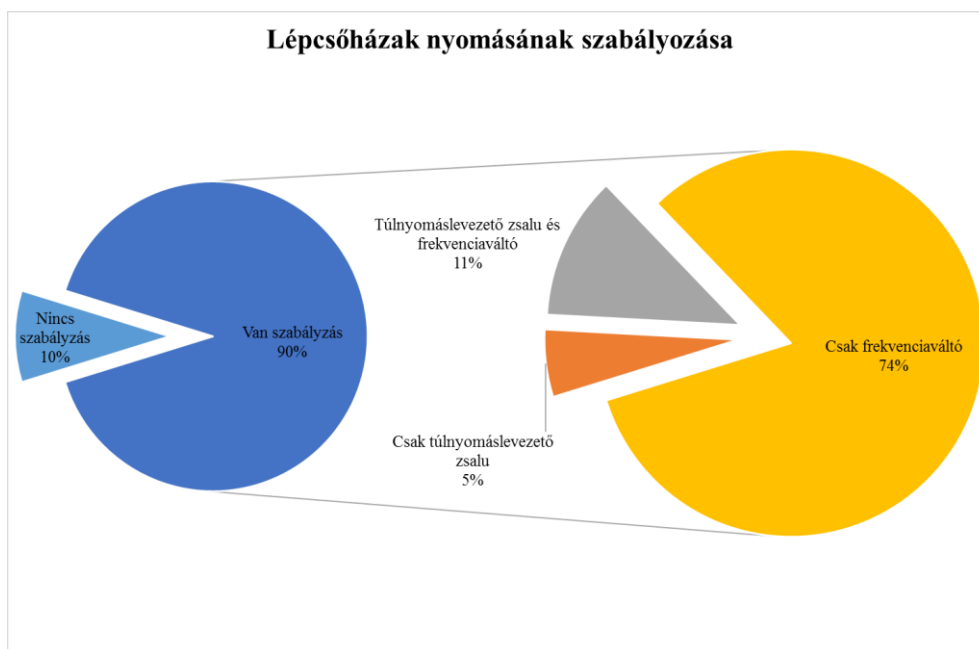


8. ábra – A lépcsőházakhoz kapcsolódó közlekedők hő- és füstelvezetése, készítette a szerző

A 8. számú ábra alapján elmondható, hogy a lépcsőházakhoz vagy azok előteréhez csatlakozó terek többségében létesült hő- és füstelvezetés és szinte minden esetben alkalmaztak gépi elszívást. A természetes füstelvezetés és természetes légpótlás együttes alkalmazása elenyésző volt. A kapcsolódó terekben egyetlen esetben sem létesült kifejezetten a nyitott lépcsőházi ajtón kiáramló levegő elvezetésére szolgáló műszaki megoldás.

A mért eredmények kiértékelésekor fontos figyelembe venni a kapcsolódó terek légtömörségét, valamint hő- és füstelvezetéssel való ellátottságát, különösen, ha az depresszív nyomásviszonyú. Ezen körülmények mind a relatív túlnyomás, mind a nyílászárók szabad keresztmetszetén kialakuló térfogatáram esetén releváns tényezők lehetnek. [72]

Egy másik sarkalatos eleme a túlnyomásos füstmentesítésnek a lépcsőházban kialakuló túlnyomás korlátozása, azaz a nyomás szabályozása. Ennek az évtizedek alatt több módszere alakult ki. A helyszíni vizsgálatok során előfordultak fojtótárcsás szabályozások, a befűvő ventilátor szívó és nyomó oldala közé épített bypass ágak, ventilátorok nyomáskapcsolóval történő indítása illetve leállítása, valamint görgős zárral szerelt szabadba nyíló ajtók alkalmazása, melyek a túlnyomás hatására kinyílnak és nyitva maradnak. Ez utóbbi megoldást a mérések során úgy tekintettem, hogy a lépcsőház nem rendelkezik nyomásszabályozással, ugyanis az esetek döntő többségében a korabeli görgős zárat már lecserélték vagy beléptetővel látták el az ajtót, melyek automatikus nyitása a túlnyomásos füstmentesítő rendszer indulásával egyidejűleg nem volt biztosított. A leggyakrabban előforduló megoldás azonban a gépek fordulatszámának frekvenciaváltóval történő szabályozása egy vagy több nyomástávadó segítségével, mely egyes esetekben kiegészül túlnyomáslevezető szerkezettel. Ugyanakkor tisztán túlnyomáslevezető szerkezettel megvalósított nyomásszabályozás is előfordult. A 9. ábra jól szemlélteti, hogy azokban a vizsgált lépcsőházakban, ahol volt kiépítve nyomásszabályozás legtöbb esetben fordulatszám-szabályozást alkalmaztak.

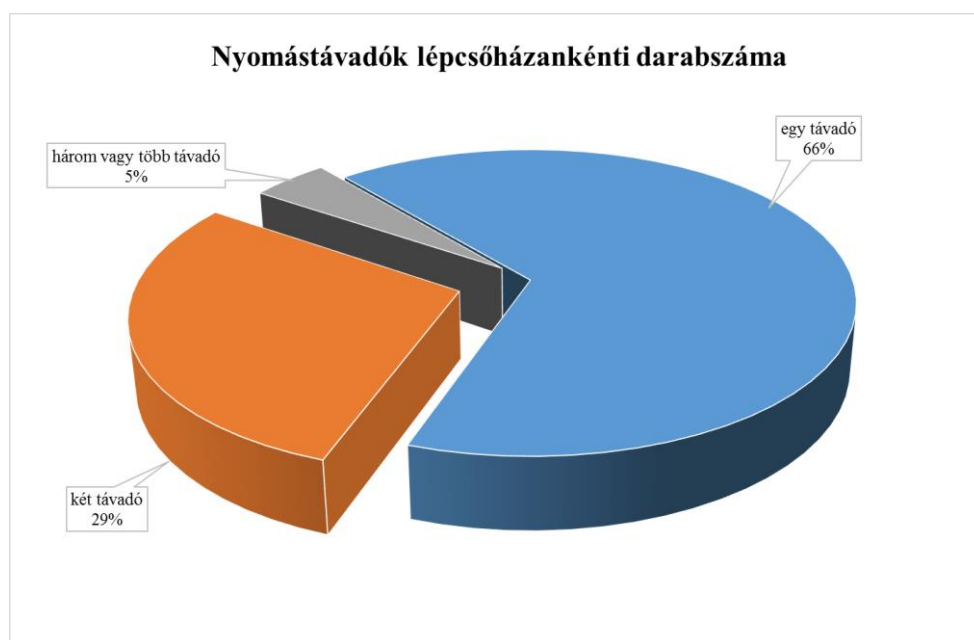


9. ábra – A vizsgált túlnyomásos lépcsőházak nyomásszabályozásának módja, készítette a szerző

A vizsgált mintában leggyakrabban alkalmazott frekvenciaváltóval történő, zárt hurkú szabályozás jellemzően egy darab nyomástávadó visszacsatoló jele alapján működött, mely általában a legfelső szint alatti szinten vagy a földszinten került elhelyezésre.

Két vagy több távadó alkalmazásakor a megfelelőség aránya valamivel nagyobb volt, de statisztikailag nem bizonyult szignifikánsnak, hogy a távadók számának növelése hatással lenne a nyomáskritériumnak való megfelelőségre. Ugyanakkor ez az eredmény nem zárja ki, hogy a távadók minimálisan megkövetelt mennyiségénél több nyomástávadó alkalmazása ne növelné a rendszer üzembiztonságát, mivel a redundáns mérési elrendezés egyetlen távadó meghibásodása esetén csökkentheti a teljes szabályozási rendszer érzékenységét.

A frekvenciaváltóval szabályozott túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban alkalmazott nyomástávadók számának megoszlását a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra – A frekvenciaváltóval szabályozott túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban alkalmazott nyomástávadók számának megoszlása, készítette a szerző

A vizsgálatok során rögzítésre került továbbá a lépcsőházi füstmentesítés indításának módja is. Beépített tűzjelző berendezés három épület kivételével mindenhol létesült és vezérelte a lépcsőházi túlnyomásos füstmentesítést. A kézi indítás lehetőségét három csoportra bonthatjuk. Egyik a lépcsőháztól távolabb elhelyezkedő, központi helyről történő kézi indítás („tűzabló”, mai megnevezése hő- és füstelvezetés tűzoltósági vezérlőablója), második csoport a szintenként kialakított kézi indítókapcsoló, míg harmadik csoport volt az az indítási mód, amikor a földszintről és a legfelső szintről lehet kézzel indítani a füstmentesítő ventilátor(oka)t, köztes szinteken nincs kiépítve kézi indítókapcsoló.

Az esetek 62%-ában létesült „tűzabló”, míg a szintenkénti kézi indítás lehetősége csak 24%-ban volt biztosítva. A földszintről és a legfelső szintről történő kézi indítás lehetősége csupán 3 esetben valósult meg. Fentiek alapján a vizsgált lépcsőházakról elmondhatjuk, hogy alapvetően automatikus tűzjelző berendezés általi indítással rendelkeznek és a kézzel történő beavatkozás jellemzően a lépcsőháztól távolabb elhelyezett kapcsolóról vagy elosztószekrényről lehetséges.

A kialakuló nyomáskülönbséggel kapcsolatban további fontos szempont, hogy a füstmentes lépcsőház milyen helyiségkapcsolatokkal rendelkezik. A vizsgált lépcsőházak 83%-a az emeleti szinteken közlekedőhöz kapcsolódott. Ez a kialakítás kedvezőnek tekinthető abban az esetben, ha a közlekedőn az éghető anyagok mennyisége nem jelentős, továbbá a közlekedő kellően nagy ahhoz, hogy a lépcsőházból kijutó levegő elvezethető legyen. A közlekedők több, mint 50%-a rendelkezett homlokzati kapcsolattal, nyitható ablakkal és a közlekedők több, mint feléhez csatlakozott felvonó aknaajtó is. Azokban az esetekben, amikor a lépcsőház vagy annak előtere nem közlekedő funkciójú helyiséghez csatlakoztak többféle elrendezés volt meghatározható. Egyes füstmentes lépcsőházak fedett átriumhoz csatlakoztak, melyekben kivétel nélkül létesült hő- és füstelvezetés. A lépcsőházi füstmentesítő rendszer működtetésekor a nyitott nyílászárókon kiáramló levegő az átrium füstelvezető szerkezetein keresztül távozott, így megfelelő kapacitású ventilátorok esetén a szükséges légsebesség értékek az ajtók szabad keresztmetszetében ki tudtak alakulni. Egyéb esetekben a füstmentes lépcsőházak valamilyen használati térhez csatlakoztak, így például nagy légterű (open space) iroda helyiségekhez vagy gépjárműtárolóhoz.

A vizsgált lépcsőházakhoz az esetek 17%-ában közvetlenül csatlakozott gépészeti akna, melyekben a levegő elvezetése nem volt biztosított. Kiemelendő, hogy a lépcsőházak 47%-ában egyéb helyiség is csatlakozott a lépcsőházhoz, mely jellemzően szellőző gépház, sprinkler gépház, felvonó gépház, kazánház, takarítószer tároló illetve raktározásra szolgáló helyiségek. Amennyiben kis légterű, nem szellőző helyiség csatlakozik a túlnyomásos füstmentes lépcsőház légteréhez, akkor az ajtó két oldala között a nyomáskülönbség rövid idő alatt kiegyenlítődhet, melynek következtében még a csukott ajtó résein keresztül is füst áramolhat a lépcsőház légterébe.

A lépcsőházak 59%-a rendelkezett homlokzati kapcsolattal. A homlokzati kapcsolattal rendelkező lépcsőházak több, mint fele a szabadtér felé kézzel nyitható ablakkal csatlakozott. Az ablakok segédeszköz nélkül történő nyithatósága az esetek döntő többségében nem valósult meg, mivel a létesítéskori előírások ezt nem követelték meg.

A lépcsőházak légterének egyharmadához felvonóakna is kapcsolódott, melynek résvesztését szintén kompenzálnia kell a lépcsőházi légellátó rendszernek. Tűzoltó felvonók esetén a vonatkozó nemzeti szabvány szerint a gépház nélküli felvonóknál közvetlenül a szabadba szellőző, a felvonó akna alapterületének 4%-át kitevő keresztmetszetű szellőzőnyílás létesítését írja elő. [76, o. 4], [77]

A kijáratok szintén a szabadba való távozást többféle megoldás jellemezte. A vizsgált lépcsőházak csupán 27%-ában volt lehetőség a lépcsőházból közvetlenül a szabadba távozni. Mindemellett elenyésző, csupán 8% volt azon lépcsőházak aránya, ahol a füstmentes lépcsőházból tűzgátló szerkezetekkel határolt közlekedőn keresztül lehetett szabadba jutni. Az esetek 65%-ában a szabadba távozás valamilyen használati téren (pl: előcsarnokon, fedett átriumon) keresztül volt lehetséges.

1.3. Módszerek az elvárt légtechnikai paraméterek teljesülésének ellenőrzéséhez

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak mérésekor – figyelembe véve jelen kutatás elhatárolásait – két fő paramétert vizsgáltam. Az egyik ilyen paraméter a csukott lépcsőházi ajtók mellett kialakuló nyomáskülönbség mértéke valamennyi, a lépcsőházhoz csatlakozó helyiség esetén az épületek valamennyi szintjén. A másik paraméter a tervezéskor előírt darabszámú nyitott lépcsőházi ajtók szabad keresztmetszetében kialakuló légsebesség, illetve térfogatáram. A kétféle jellemző meghatározása eltérő műszerezettséget igényel.

A mérési bizonytalanság kifejezéséhez a GUM és a JCGM ajánlásait vettem figyelembe. [78], [79] A bizonytalanság A-típusú összetevője a legalább 30 s hosszúságú 1 Hz frekvenciájú mintavételezés statisztikai szórásából származtatható, míg a B-típusú összetevők közé a műszer pontosságából származó bizonytalanságát és a digitális kijelzés felbontásából adódó bizonytalanságát soroltam. A hibák lehető legkisebb mértékűre csökkentése érdekében a műszer nullázását valamennyi mérési sorozat előtt elvégeztem. A mérésre használt csővezetékek T alakú elágazásban végződtek csökkentve az esetlegesen zavaró dinamikus összetevőket. A mérés során a lépcsőházat nem használták, a mérés során a műszert nem kellett mozgatni és az adatgyűjtés automatikus volt, ezért a kézi leolvasásból, szubjektív döntésekből származó mérési bizonytalanság a statisztikai szórásban megjelenik.

Az A-típusú mérési bizonytalanság a nyomásingadozásból és a környezet hatásaiból adódik mely ajtónként (mérési helyenként) eltérő, ezért általános jellemzőként nem értelmezhető.

1.3.1. Differenciálynomás mérése csukott lépcsőházi ajtóknál

Csukott lépcsőházi ajtó esetén annak meghatározására, hogy a lépcsőház légtere és csukott ajtó lépcsőházzal ellentétes oldalán lévő kapcsolódó tér között mekkora nyomáskülönbség alakul ki differenciálynomásmérő műszert alkalmaztam. A mérés eredményéből következtetni lehet arra, hogy a kialakuló túlnyomás vélhetően képes-e korlátozni a füst lépcsőházba való bejutását a különböző réseken keresztül.

A nyomáskülönbség mérésére Testo 435-4 és Testo 400 alaplészereket alkalmaztam. A Testo 400 műszer felbontása 0,1 Pa, míg pontossága $\pm 0,3 \text{ Pa} \pm$ a mért érték 1%-a ± 1 digit A Testo 435-4 műszer felbontása 1,0 Pa, míg pontossága $\pm 2 \text{ Pa} \pm$ a mért érték 1% a ± 1 digit.

A vizsgálatok értékelése során a műszerek B-típusú bizonytalansági összetevője meghatározása a 4. táblázatban foglaltak szerint becsülhető 0-75 Pa nyomástartomány esetén. A gyártó által megadott pontossági értéket a vizsgált tartomány felső határára vetítve, egyenletes eloszlást feltételezve vettem figyelembe.

4. táblázat – Az alkalmazott műszer felbontásából és pontosságából adódó bizonytalanság, szerkesztette a szerző

Komponens	Alkalmazott összefüggés	Testo 400	Testo 435-4
B-típusú bizonytalanság - abszolút komponens	$u_1 = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$	0,173 Pa	1,155 Pa
B-típusú bizonytalanság - relatív komponens	$u_2 = \frac{a_{i,75Pa}}{\sqrt{3}}$	0,433 Pa	0,433 Pa
B-típusú bizonytalanság - kijelzési (digit) komponens	$u_3 = \frac{1 \cdot \text{digit}}{\sqrt{3}}$	0,058 Pa	0,577 Pa
Kombinált B-típusú bizonytalanság	$u_B = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$	0,470 Pa	1,362 Pa
Kiterjesztett bizonytalanság (k=2)	$U = k \cdot u_B$	$\pm 0,94 \text{ Pa}$	$\pm 2,72 \text{ Pa}$

A méréseket a lépcsőház valamennyi szintjén és valamennyi nyílászáróján elvégeztem, mely során ideális esetben a (1)-(2) egyenlőtlenség teljesül, miszerint

$$p_{\text{lépcsőház},i} > p_{\text{kapcsolódó terek},i} \quad (1)$$

$$\Delta p_{\min} \leq \Delta p_{\text{mért}} \leq \Delta p_{\max} \quad (2)$$

ahol

$p_{\text{lépcsőház},i}$ – az i -edik mérési helyen kialakuló abszolút nyomás a lépcsőházban (hPa)

$p_{\text{kapcsolódó terek},i}$ – az i -edik mérési helyen a lépcsőházhoz azonos szintben kapcsolódó térben kialakuló abszolút nyomás (hPa)

$\Delta p_{\text{mért}}$ – mért nyomáskülönbség a kapcsolódó terekhez képest (Pa)

Δp_{min} – a lépcsőház méretezésekor figyelembe vett minimálisan biztosítandó túlnyomás a kapcsolódó terekhez képest (Pa)

Δp_{max} – a lépcsőház méretezésekor figyelembe vett maximális túlnyomás a kapcsolódó terekhez képest (Pa)

Nyomáskülönbség meghatározására, a túlnyomásos lépcsőházak megfelelőségének értékelésekor, az abszolútnyomásokból történő különbségképzés nem biztosít kellő pontosságot mivel ezek célja alapvetően nem kis nyomáskülönbségek mérése, felbontásuk jellemzően 10-100 Pa nagyságrendű, ezért ezt a módszert erre a célra alkalmazni nem szabad.

A nyomáskülönbségmérő műszer pozitív kivezetését minden esetben a lépcsőházi térbe vagy a túlnyomásos füstmentes előtérbe vezetem ki. A negatív kivezetés a csatlakozó, relatív alacsonyabb nyomásúnak feltételezett térbe, előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházban a lépcsőházból az előtérbe került kivezetésre. A mérések pontosságának növelése, zavaró hatások kiküszöbölése érdekében a nyomás érzékelési pontok egy T elágazásban végződtek.

Az elágazást a műszer csatlakozócsonkjával légtömör szilikoncső kötötte össze. Elágazás hiányában alkalmas lehet erre a célra Prandtl-cső statikus nyomás mérésére szolgáló (–) csatlakozásának használata is. Az adott mérési helyen a nyílászáró két oldala között a helyi sajátosságoknak megfelelően a szilikoncső az ajtó körüli résen vagy kulcsnyíláson került átvezetésre (1. kép).

A mérések megkezdése előtt a lépcsőházat bejártam, meggyőződtem róla, hogy valamennyi nyílászáró csukott állapotban van, az ajtók tömítése szemrevételezéssel megfelelő-e továbbá szabad szemmel látható integritási problémák azonosíthatók-e a lépcsőházat határoló szerkezeteken. Ezt követően történt meg a ventilátorok villamos és gépészeti szempontú ellenőrzése, mely elsősorban a forgásirány és a légcsatornába esetlegesen beépített motoros zsaluk megfelelőségének, nyomáslevezetők mechanikai állapotának vizsgálatára irányult.

Amennyiben a berendezések indításának feltételei adottak voltak a lépcsőházi túlnyomást biztosító rendszerek üzembe lettek helyezve, majd rendszertől függően a közel stacioner nyomásállapot elérését követően kerültek elvégzésre a mérések.

Egy mérési helyen az adatok másodpercenként kerültek rögzítésre a körülményektől függően 30-60 másodperc időtartamon keresztül.

A mérést elvégeztem a lépcsőház és a kapcsolódó terek között, előtérrel kialakított lépcsőház esetén az előtér és a kapcsolódó terek között is.

n db mérési érték esetén a minta átlagát az (3) képlettel határoztam meg [80, o. 16–18]

$$\Delta \bar{p} = \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2 + \dots + \Delta p_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i}{n} \quad (3)$$

n db mérési érték esetén (ahol $n \geq 10$) a minta korrigált tapasztalati szórását a (4) képlettel határoztam meg [80, o. 16–18]

$$s = \sqrt{\frac{(\Delta p_1 - \Delta \bar{p})^2 + (\Delta p_2 - \Delta \bar{p})^2 + \dots + (\Delta p_n - \Delta \bar{p})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta p_i - \Delta \bar{p})^2}{n-1}} \quad (4)$$



1. kép – Nyomáskülönbség mérés és regisztrálás csukott lépcsőházi ajtón keresztül, szerző felvétele

A frekvenciaváltóval szabályozott lépcsőházak esetén ellenőriztem annak teljesülését, hogy a lépcsőház nincs-e légtechnikai szempontból oly mértékben túlméretezve, mely kedvezőtlenül alacsony frekvencián történő működést idézhet elő.

1.3.2. Légsebességmérés és térfogatáram számítás

Az előírt darabszámú nyitott ajtók mellett légsebességmérést végeztem a szabad nyílászáró szabad keresztmetszetében. A mérések végezhetők hődrótos áramlásérzékelővel vagy szárnykerekű aneométerrel is.

A légsebesség mérésére Testo 0635 9335 60 mm átmérőjű szárnykerekű anemométert, 0635 1025 és 0635 1570 típusú hődrótos szondákat, valamint 0635 9430 100 mm átmérőjű szárnykerekű szondákat alkalmaztam. A Testo 0635 9335 műszer felbontása 0,01 m/s, míg pontossága $\pm 0,1 \text{ m/s} \pm \text{a mért érték } 1,5\%$ -a. A Testo 0635 1025 műszer felbontása 0,01 m/s, míg pontossága $\pm 0,03 \text{ m/s} \pm \text{a mért érték } 5\%$ -a. A Testo 0635 1570 műszer felbontása 0,01 m/s, míg pontossága $\pm 0,03 \text{ m/s} \pm \text{a mért érték } 4\%$ -a. A Testo 0635 9430 műszer felbontása 0,01 m/s, míg pontossága $\pm 0,1 \text{ m/s} \pm \text{a mért érték } 1,5\%$ -a.

A vizsgálatok értékelése során a műszerek B-típusú bizonytalanságának meghatározása az 5. táblázatban foglaltak szerint becsülhető 0-3 m/s légsebesség értékek esetén. A gyártó által megadott pontossági értéket a vizsgált tartomány felső határára vetítve, egyenletes eloszlást feltételezve vettem figyelembe.

5. táblázat – Az alkalmazott érzékelő felbontásából és pontosságából adódó bizonytalanság, szerkesztette a szerző

Komponens	Alkalmazott összefüggés	0635 9335	0635 1025	0635 1570	0635 9430
B-típusú bizonytalanság - abszolút komponens	$u_1 = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$	0,058 m/s	0,017 m/s	0,017 m/s	0,058 m/s
B-típusú bizonytalanság - relatív komponens	$u_2 = \frac{a_{i,3 \text{ m/s}}}{\sqrt{3}}$	0,026 m/s	0,087 m/s	0,069 m/s	0,026 m/s
B-típusú bizonytalanság - felbontási komponens	$u_3 = \frac{i_{felb}}{\sqrt{12}}$	0,003 m/s	0,003 m/s	0,003 m/s	0,003 m/s
Kombinált B-típusú bizonytalanság	$u_B = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$	0,064 m/s	0,089 m/s	0,071 m/s	0,064 m/s
Kiterjesztett bizonytalanság (k=2)	$U = k \cdot u_B$	$\pm 0,13 \text{ m/s}$	$\pm 0,18 \text{ m/s}$	$\pm 0,14 \text{ m/s}$	$\pm 0,13 \text{ m/s}$

Minden esetben ügyelni kell arra, hogy a mért érték a műszer gyártó által megadott mérési tartományába essen. Egy mérési helyen legalább 15 db mérési pont került felvételre minden esetben (11. ábra). Mérési pontonként az adatrögzítés időtartama 15-30 másodperc között változott.

A mérési pontok helyét az (5) összefüggéssel határoztam meg [81, o. 37–55]

$$\frac{s_i}{S} = \frac{h_i}{H} = \frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot k} \quad (5)$$

Ahol (s_i ; h_i) az i -edik mérési pont koordinátája

S – az ajtónyílás szabad szélessége (m)

H – az ajtónyílás szabad magassága (m)

k – a mérési pontok száma, minimum $k=15$

A figyelembe vett légsebesség a mérési pontokon mért légsebességek átlagaként került meghatározásra (6).

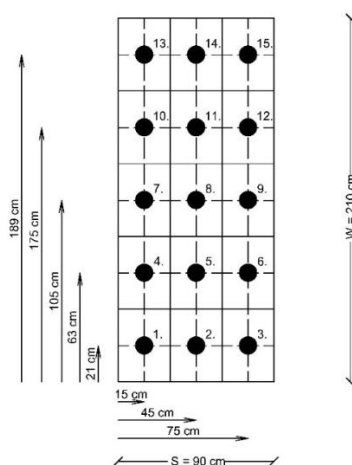
$$v_{n,\bar{a}} = \frac{\sum_{i=1}^k v_i}{k} \quad (6)$$

ahol

$v_{n,\bar{a}}$ – az n -edik lépcsőházi ajtón átáramló levegő átlagos sebessége (m/s)

v_i – az i -edik mérési ponton mért légsebesség (m/s)

k – a mérési pontok száma, minimum $k=15$



11. ábra – A nyílászáró szabad keresztmetszetében felvett mérési pontok száma és elhelyezkedése a vizsgálatok során 90/210 nyílásméret esetén, készítette a szerző [72]

A mérések elvégzése során ügyelni kell arra, hogy a levegő áramlásának útvonalai a mérések befejezéséig ne változzanak meg (pl.: ha a mérés kezdetekor a főbejárat csukva van, akkor a mérések befejezéséig csukva kell tartani). Ez fontos a mérés hibáinak korlátozása végett is. A mérési eredmények megbízhatósága növelhető, ha egy ajtónál két mérési sorozatot végeznek és ezek átlagértékei közötti eltérés nem haladja meg a $\pm 5\text{-}10\%$ -ot. Ez összhangban van az MSZ EN 12101-13:2022 ajánlásával is. [5, o. 50–51] Erre vonatkozó konkrét mérési eredmény példáját mutatja be a 12. számú ábra.

	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
	$\bar{v} = 1,68 \text{ m/s}$	$\bar{v} = 1,56 \text{ m/s}$	$\bar{v} = 1,33 \text{ m/s}$

12. ábra – A nyitott ajtók szabad keresztmetszetében rögzített légsebesség értékek m/s-ban az első és a második mérési sorozat során, készítette a szerző [68]

Az elvégzett mérések alapján megállapítható, hogy a nyitott ajtó szabad keresztmetszetében kiáramló levegő sebességének mérésére a szárnykerekese aneométer és a hődrótos szonda is megfelelő műszerek.

1.3.3. Egyéb jellemzők meghatározása

Bármely mérés esetén alapvető követelmény a későbbi reprodukálhatóság. Ehhez elengedhetetlen mind az épületen belüli, mind pedig az épületen kívüli állapotjellemzők rögzítése.

Ilyen jellemzők az épületen kívüli (külső) hőmérséklet, a szélirány, a szélsébség, a külső relatív páratartalom, az épületen belüli (belső) hőmérséklet, belső relatív páratartalom és a légnyomás. Az szélsébség és a szélirány meghatározására gyakorlatban a mérés helyszínéhez közel eső meteorológiai állomások adatai is felhasználhatók.

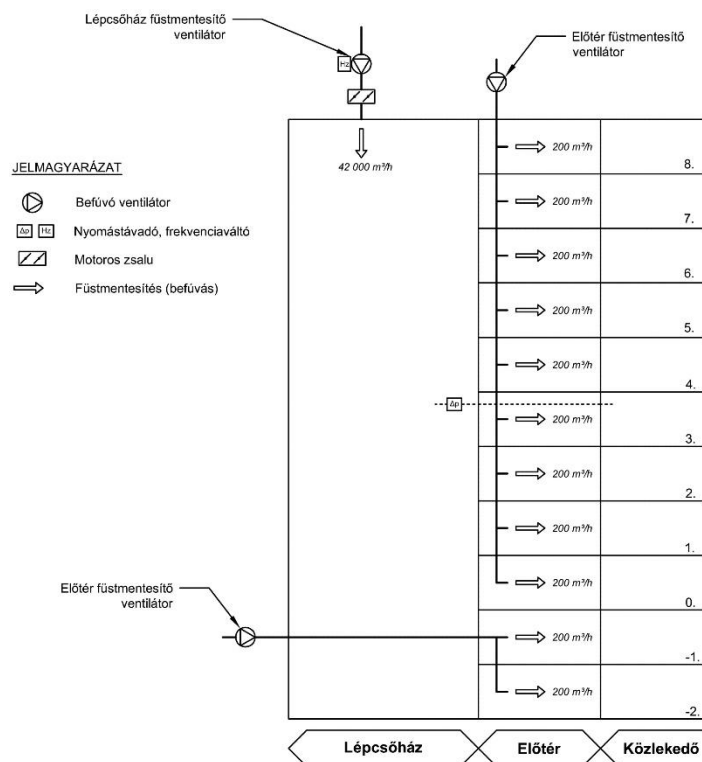
A nyitott ajtón végzett légsebességmérések során a légsebességmérésre szolgáló műszerbe épített vagy külön, hőmérséklet mérésre szolgáló műszerrel rögzíthető az áramló közeg hozzávetőleges hőmérséklete. A rögzített állapotjelzők alkalmasak arra is, hogy a mért térfogatáram értékek normál állapotra (273,15 K, 101 325 Pa) is átszámíthatók legyenek.

Egyes lépcsőházi füstmentesítő ventilátorok áramfelvételéről rendelkezésre álló korábbi adatok alapján megállapítható volt az is, hogy téli időszakban, amikor a ventilátor közvetlenül a szabadteréből hideg levegőt szív, a mért áramfelvételek magasabbak voltak a nyári időszakhoz képest. Ez a szükséges tengelyteljesítmény környezeti körülményektől függő változására hívja fel a figyelmet, mivel a gép által szállított közeg jellemzői gyakorlatilag a külső környezet állapotjelzőitől függenek.

1.4. Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak méréseinek eredményei

Valamennyi vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőház használatbavételi engedéllyel rendelkező, üzemelő épületben található. A lépcsőházak OTSZ szerinti üzemeltetői ellenőrzését, továbbá felülvizsgálatát és karbantartását dokumentálták.

A füstmentesítő ventilátorok között számos olyan is volt, melynek karbantartását a szerző végezte, így a mélyebb helyismeret pontosabb összkép kialakítását, továbbá korábbi mérési eredményekkel való összevetését tette lehetővé. Általános akadályként fogalmazható meg, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak kialakításáról, működéséről nem áll rendelkezésre releváns dokumentáció. Ilyen esetekben szükségessé válhat felmérési terv készítése is egy meglévő rendszer esetén, melyre példát az 13. ábra mutat.



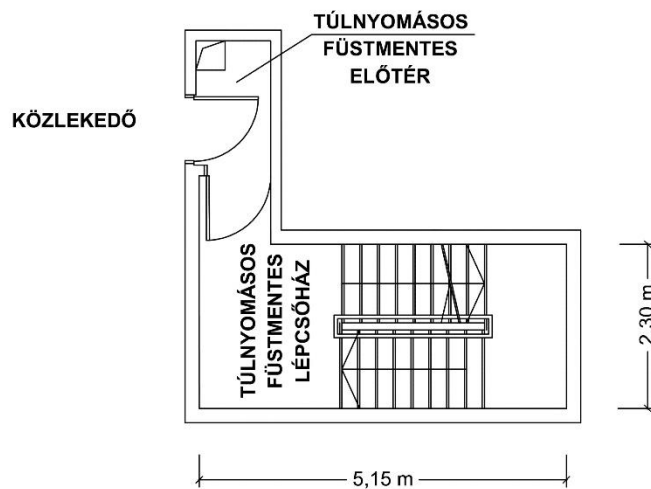
13. ábra – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőház vizsgálatához kapcsolódó felmérési terv, készítette a szerző [82]

Ahol rendelkezésre állt az épület átadási dokumentációja, első légtechnikai mérés jegyzőkönyve ott a kapott eredményeket összehasonlítottam az általam mért értékekkel. Az elvégzett differenciálynomás mérések és légsebesség mérések eredményeit az alábbiakban ismertetem.

1.4.1. Differenciálynomás mérések eredményei

A lépcsőházba kialakítandó és csukott lépcsőházi ajtók mellett fenntartandó relatív túlnyomás elsődleges szerepe az ajtók és egyéb szerkezetek résein történő füstbejutás megakadályozása illetve korlátozása. [83]

Alapvetően elmondhatjuk, hogy az előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházban az előtér (14. ábra) szerepe, hogy az ajtó nyitásakor fellépő nyomáscsökkenés ne érintse közvetlenül a lépcsőházi túlnyomást, továbbá az esetlegesen bejutó füst részére egy „zsákot” képezzen. Ez utóbbi cél megvalósításában azonban problémát okoz, ha az előtéri túlnyomást biztosító rendszer szabályozása nem megfelelő és az előtérben kialakuló túlnyomás eléri vagy meghaladja a lépcsőházi tér nyomását. Ebben az esetben az előtérben felgyülemlett, füsttel szennyezett levegő az ajtó és a szerkezetek résein keresztül a lépcsőházba juthat.



14. ábra – Túlnyomásos előtérrel kialakított lépcsőház jellemző helyiségkapcsolata általános emeleti szinten [82]

A nyomáskülönbség mérések eredményének értékelésekor nem megfelelőnek tekintetem azokat a rendszereket, ahol valamely lépcsőházzal határos nyílászárónál a létesítéskor előírt minimális relatív túlnyomás a lépcsőház javára nem alakult ki, továbbá azon eseteket, ahol ez a nyomásérték meghaladta a létesítéskori követelményekben meghatározott maximális értéket. Előbbi a füst lépcsőházba való beszivárgásának kockázatát hordozza magával, míg a megengedettnél nagyobb túlnyomás megakadályozhatja a lépcsőházba való bejutást.

Extrém esetben a lépcsőházban kialakuló túlnyomás már oly mértékű lehet, hogy az a határoló szerkezetek károsodásához vezethet. Általánosan elfogadott, hogy a falazott szerkezetek 500 Pa nyomásnak, míg a könnyűszerkezetek csak 250 Pa nyomásnak képesek ellenállni. [84, o. 6] Ezen értékek azonban a füstmentes lépcsőházi nyílászárók esetén elfogadhatatlanul magasak és a lépcsőházba való bejutást már oly mértékben korlátozzák, hogy megfontolandó a rendszerbe történő azonnali beavatkozás kezdeményezése. Ilyen megoldás lehet a földszinti nyílászáró zárszerkezetének ideiglenes eltávolítása a lépcsőházi nyomásszabályozás megtervezésének elkezdésével egyidejűleg.

Amennyiben a nyitott nyílászáró nem biztosítható, akkor megfontolandó a lépcsőházi füstmentesítő rendszer biztonsági okból való lekapcsolása. A megnövekedett kockázat ellensúlyozására –a javításra irányuló tevékenységek azonnali megkezdése mellett is – egyedi mérlegelés alapján további műszaki intézkedések szükségesek.

A mérések során összesen 1362 db ajtónál végeztem differenciálynomás mérést. A vizsgált lépcsőházak 56%-ában volt regisztrálható valamennyi lépcsőházat határoló nyílászáró esetén az előírt tartományba eső túlnyomás.

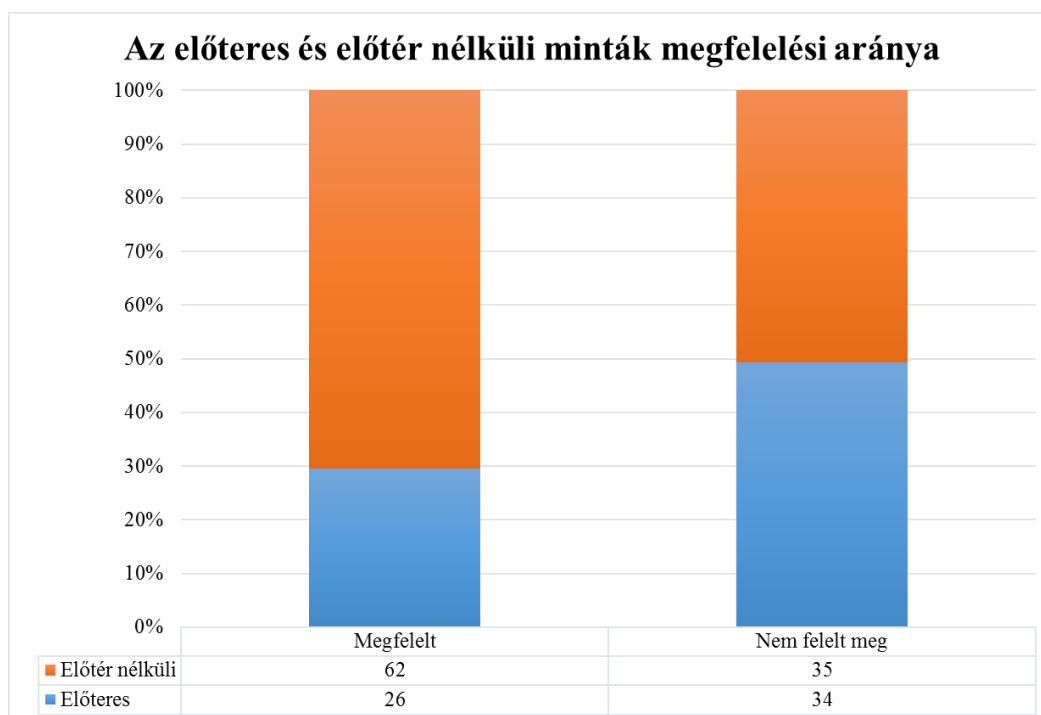
A lépcsőházak 44%-a (69 esetben) legalább egy nyílászáró esetén nem tudta teljesíteni a relatív túlnyomásra vonatkozó követelményt.

A 69 esetből 26 olyan lépcsőház volt, azaz a teljes minta 17%-a, amikor az elvárt túlnyomás egyetlen ajtónál sem esett a kívánt tartományba.

Az eredmények értékelése alapján az előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak 57%-a nem felelt meg legalább egy ajtónál a kívánt nyomáskövetelményeknek, míg az előtér nélküli lépcsőházak esetében ez az arány 36% volt.

Nem jelenthető ki azonban, hogy az előtérrel kialakított lépcsőházak kevésbé volnának biztonságosak. Az előtéri légellátó rendszer, illetve annak beszabályozatlansága az előtér nélküli lépcsőházakhoz képest további hibalehetőségként jelenik meg.

A 15. számú ábra a nyomáskirtériumoknak való megfelelést mutatja be valamennyi vizsgált lépcsőház vonatkozásában.

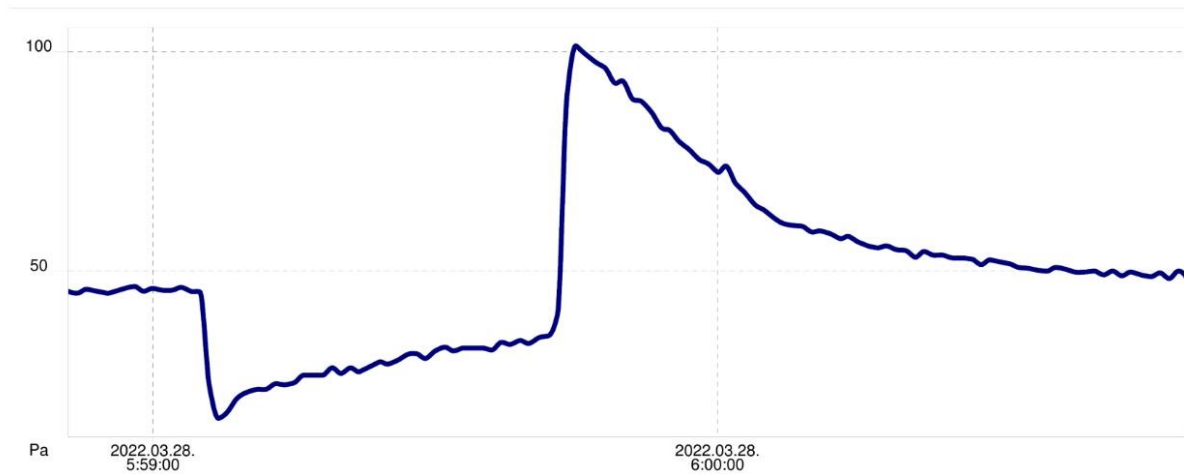


15. ábra – Nyomáskülönbség követelmény teljesülésének megoszlása a vizsgált lépcsőházak esetében, készítette a szerző

A nem megfelelőségek elsősorban az alábbi okokra vezethetők vissza:

- Direkt üzemű ventilátor alkalmazása mechanikus (gravitációs) túlnyomáslevezető szerkezet nélkül.
 - Létesítéskor szabadba nyíló ajtó túlnyomás hatására nyíló zárszerkezetét lecserélték vagy beléptetővel látták el, ezért az ajtó automatikus nyitása nem biztosított.
 - Nyomáskapcsolóról vezérelt gépek nem megfelelő működése.
 - Bypass ág alulméretezettsége vagy nem megfelelő működése.
- Direkt üzemű ventilátor alkalmazása mechanikus (gravitációs) túlnyomáslevezető szerkezet alkalmazásával.
 - Túlnyomáslevezető alulméretezett, emiatt a rajta, illetve az esetlegesen hozzá vezető légszatórnán, fellépő nyomásvesztés a lépcsőházban az elvárt értéknél nagyobb nyomáskülönbség kialakulásához vezet.
 - Lépcsőkar légellenállására visszavezethető túlnyomás problémák, azaz a levegő áramlásának útjában a lépcsőkarokon, áttörés nélküli korlátokon akkora nyomásesés lép fel, amely az elvárt értéknél nagyobb nyomáskülönbséget okoz elsősorban a ventilátorhoz közel, a levegő bevezetés szintjein.
- Frekvenciaváltó alkalmazásával összefüggő hibák.
 - A megengedett legkisebb fordulatszámmon a megengedettnél nagyobb túlnyomás alakul ki, és nincs a túlnyomás elvezetését biztosító szerkezet.
 - Nem megfelelő alapjel (túl magas vagy túl alacsony), PID tagok nem optimális megválasztása.
 - Nyomástávadó meghibásodása, illetve a nyomáskülönbség érzékelésére szolgáló kivezetések eltömődése.
 - Nyomástávadó kivezetéseinek kedvezőtlen elhelyezése (pl.: depresszív nyomásviszonyú hő- és füstelvezetéssel rendelkező térbe).
- Előtéri légellátó rendszer beszabályozatlansága.
- Komfortszellőzésben járatos motoros (elsősorban huzatvédelem céljából létesített) zsaluk meghibásodása.

A nyomáskülönbség időbeli változásának regisztrálása (16. ábra) alkalmas a szabályozással összefüggő problémák feltárására, feltéve, hogy a mérési adatok rögzítése kellően nagy frekvenciával történik.

MűszerTípus
Sorozatszám435-4
02670018

16. ábra – Differenciálynymásmérés grafikus ábrázolása az idő függvényében, készítette a szerző Testo Comfort – Software X35 programmal

A nyomáskritérium szempontjából nem megfelelőnek minősített, előtér nélküli 35 lépcsőház közül 19 esetben a túlnyomás meghaladta a megengedett határértéket. Ezekben az épületekben jellemzően 80–250 Pa közötti, egy esetben pedig 464 Pa nagyságú nyomáskülönbség volt mérhető.

További 17 előtér nélküli lépcsőházban a mért értékek a minimálisan előírt túlnyomást sem érték el: a legkisebb regisztrált relatív nyomáskülönbségek a lépcsőházi nyílászáróknál 6 Pa és 24 Pa között alakultak.

Ugyanakkor a vizsgált minták alapján csupán öt esetben maradt az átlagos túlnyomás az adott lépcsőház valamennyi ajtajánál 25 Pa alatt, tehát a nem megfelelő differenciálynomás a legtöbb épületnél csak néhány nyílászáróra korlátozódott. Egy olyan eset volt, amikor a lépcsőházban előfordult a minimális értéket el nem érő és a maximális értéket meghaladó érték is.

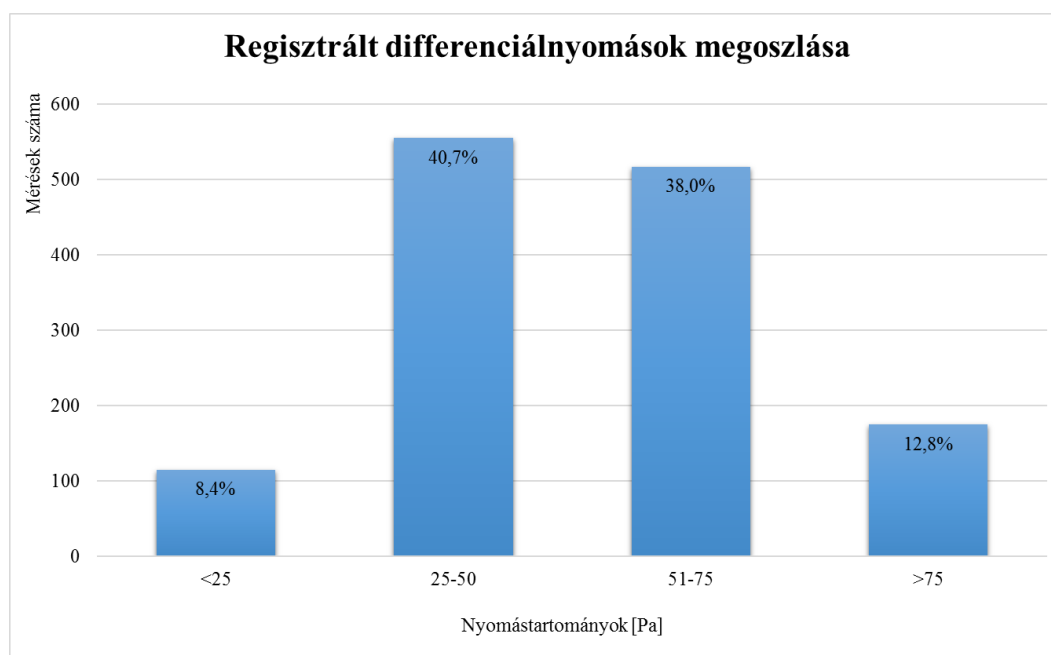
Az előtérrel kialakított, de a nyomáskritériumnak szintén nem megfelelő 34 lépcsőház közül 25 esetben a túlnyomás meghaladta a megengedett értéket, amely tipikusan 80–240 Pa közötti tartományban mozgott. A kilenc, minimális értéket el nem érő esetben a legkisebb relatív túlnyomások 1–20 Pa között, magasépületben 42–49 Pa között voltak mérhetőek. A vizsgált minták alapján 5 esetben maradt az átlagos túlnyomás az adott lépcsőház valamennyi ajtajánál 25 Pa alatt.

Az előtérrel rendelkező lépcsőházak esetében további lehetséges hibaforrást jelent a különböző helyiségkapcsolatok (például lépcsőház–előtér, előtér–kapcsolódó tér) közötti, az előírástól eltérő nyomásviszony. Tipikus problémaként említhetők azok az esetek, amikor az előtérben kialakuló túlnyomás meghaladja a lépcsőházét, illetve amikor az ajtók között mért differenciálnyomás eloszlása nem felel meg az előírt követelményeknek.

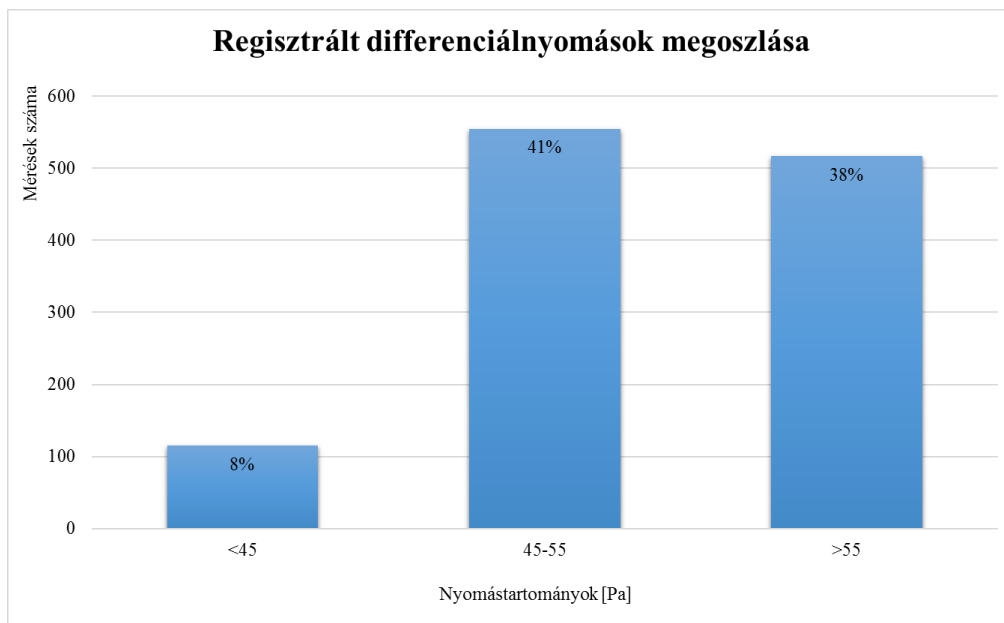
A vizsgálatok során összesen 60 előtérrel rendelkező lépcsőház méréseit végeztem el. A mérési eredmények alapján 25 esetben a lépcsőház és az előtér közötti nyomáskülönbség nem érte el az előírt értéket, ezen belül pedig 9 olyan lépcsőház volt, ahol az előtéri túlnyomás meghaladta a lépcsőházban mérhető értéket. Ezen hibák a gyakorlatban többnyire az anemosztátok megfelelő beszabályozásával viszonylag egyszerűen korrigálhatók voltak. Jelentős túlméretezés esetén azonban célszerűbb megoldásnak bizonyult volna a ventilátorok fojtása helyett alacsonyabb nyomáskarakteristikájú berendezések alkalmazása.

Az előtér és a közlekedő tér közötti differenciálnyomás a 60 vizsgált lépcsőházból 48 esetben legalább egy helyen nem érte el a minimális követelményt. Ez a jelenség különösen kritikus, mivel az ilyen ajtók már a lépcsőházon kívüli, füstfejlődés szempontjából veszélyeztetett terekhez kapcsolódnak, így a kisebb nyomáskülönbség a füstterjedés elleni védelem szempontjából fokozott kockázatot jelent.

A 17. és 18. számú ábrákon összefoglaltam, hogy 1362 db ajtó esetén hogyan oszlott meg a regisztrált relatív túlnyomás különböző nyomástartományokban.



17. ábra – Regisztrált differenciálnyomások különböző nyílászáróknál 25-75 Pa közötti tartományokban, készítette a szerző



18. ábra – Regisztrált differenciálynnyomások különböző nyílászáróknál $50\pm 10\%$ Pa tartományokban, készítette a szerző

Az 17. számú ábra jól szemlélteti, hogy a regisztrált átlagos nyomáskülönbségek közel 80%-a esik a korabeli 25-75 Pa eszmei tartományba.

Ha a 18. számú ábra szerint összehasonlítjuk a jelenlegi előírások szerinti 45-55 Pa közötti elvárással (külső referenciaponthoz viszonyítva), akkor szembeűnő, hogy az esetek 41%-ában kialakult a lépcsőházban a kapcsolódó, túlnyomásos szellőzést nem igénylő térhez képest ez az érték.

A fordulatszám szabályozás és/vagy túlnyomáslevezető szerkezet nélkül létesített túlnyomásos fűstmentes lépcsőházak esetén a megengedettnél nagyobb nyomás kialakulásának oka a nyomáslevezetésre tervezett nyílászáró (ajtó) zárbetét cseréje, vagy beléptetővel való felszerelése volt. Ezek a körűlmények az ajtók túlnyomás általi nyitását akadályozták vagy ellehetetlenítették. Az ilyen lépcsőházakban a beépített ventilátor karakterisztikájának és a lépcsőház légtömőrségének függvényében 100-600 Pa közötti tartósan fennálló túlnyomás volt regisztrálható. Ezen nyomásértékek már a lépcsőházba való bejutás akadályozásán kívül a határoló szerkezetekben (nyílászárók, függőnyfalak, szerelt falszerkezetek) is károkat okozhatnak.

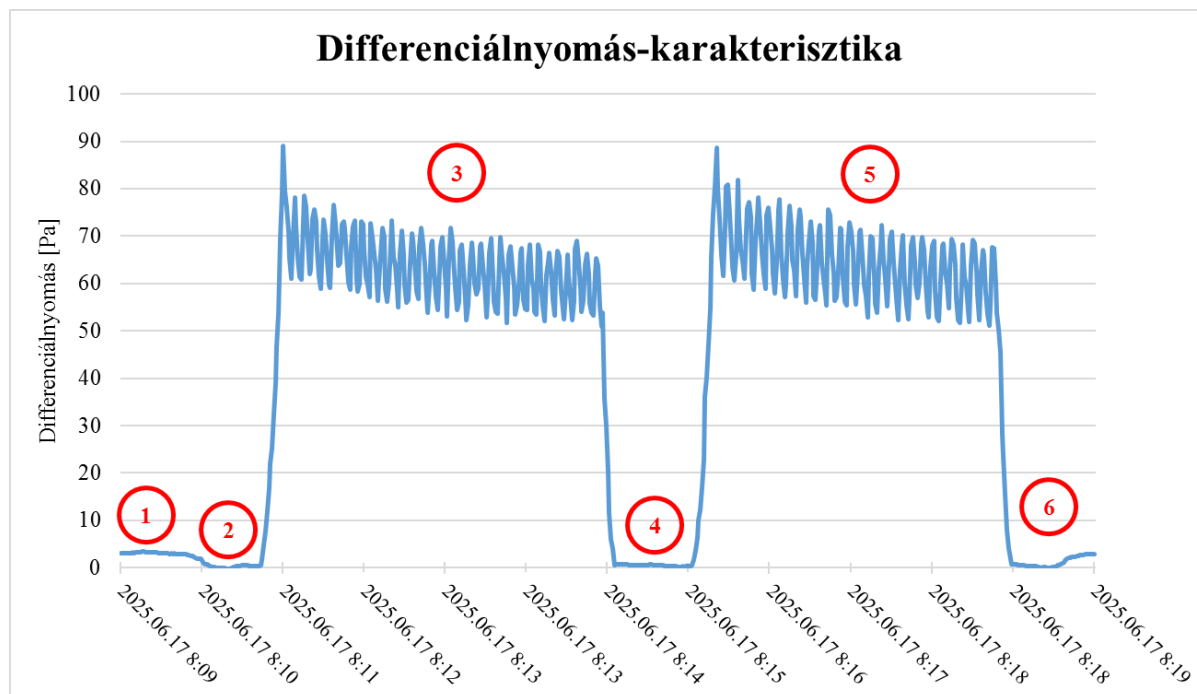
A kívánt értéknél nagyobb túlnyomás fordulatszám szabályozással rendelkező lépcsőházi fűstmentesítő ventilátorok esetén elsősorban a szabályozásban alkalmazott túl nagy alapjelre, elenyésző esetben nyomástávadó hibára volt visszavezethető. Jellemző volt továbbá, hogy a ventilátort alsó frekvencia korlátja 10-15 Hz volt.

Nagy légtömörségű lépcsőházak esetén, továbbá azokon a helyeken, ahol nagynyomású axiálventilátorokat telepítettek, a minimális fordulatszámon kialakuló munkaponti nyomás is a megengedettnél nagyobb túlnyomás kialakulását eredményezte. Ezen épületeknél a túlnyomáslevezető szerkezet utólagos beépítése – a ventilátor cseréje nélkül – nem elkerülhető.

A túlnyomásos füstmentes lépcsőház differenciálnyomás követelményeknek való megfelelése akkor állapítható meg nagy biztonsággal, ha a nyomáskülönbség mérését valamennyi, a lépcsőházhoz vagy annak előteréhez közvetlenül kapcsolódó ajtón elvégzik.

A nyomáskülönbség mérés eredményeit a 1-3. számú táblázatok szerint kell értékelni, figyelembe véve a létesítéskor vagy jelentős átalakításkor hatályos követelményeket. A követelményeknek valamennyi nyílászáró esetén egyidejűleg kell teljesülnie. A környezeti állapotjelzők pontos rögzítése a mérés reprodukálhatóságának egyik kulcsa, mely későbbi vitás esetekben a mérést végző személy érdeke is.

Noha a korábbi előírások a mért értékek elfogadhatósági tartományát növelték, amennyiben azok meteorológiai viszonyoktól függetlenül elérik az előírt érték 75%-át, gyakorlatban azonban ezt kellő biztonsággal megítélni nem lehetséges. Egy nyári időjárási körülmények mellett éppen megfelelő nyomáskülönbség érték a téli hónapokban nem biztos, hogy létrejön.



19. ábra – Differenciálnyomás-karakterisztika értelmezése, készítette a szerző

Amennyiben lehetséges, valamennyi lépcsőház esetén javasolt elkészíteni egy nyomáskülönbség-karakterisztika adatsort, mely a lépcsőház későbbi méréseinek kiértékeléséhez segítséget nyújthat.

A 19. ábrán olyan lépcsőház karakterisztikája látható, amely két frisslevegővételi ponttal rendelkezik. Erről leolvashatjuk, hogy a kezdeti nyugalmi szakaszt (1) követően kb. 50 másodperc alatt nyitott ki az „A” oldali füstcsappantyú (2), majd szabályozási túllendüléssel kb. 64,9 Pa átlagos túlnyomás alakult ki (3), és ekkor a frekvenciaváltó 11,5-13,5 Hz között üzemelt. A frisslevegővételi pont váltásakor a gép leállt, az „A” oldali füstcsappantyú csukódásával egyidőben megkezdődött a „B” oldali füstcsappantyú nyitása (4). A „B” oldal nyitását követően a ventilátor ismét elindult, és immáron a másik frisslevegővételi pontról szívva, kb. szintén 64,9 Pa túlnyomást hozott létre szabályozási túllendüléssel (5), mely során a frekvenciaváltó 11,6-13,5 Hz között üzemeltette a gépet. A lekapcsolást követően a nyomás visszaesett a kezdeti értékre (6) majd beállt a lépcsőház kürtőhatásból adódó néhány Pa nagyságrendű nyomáskülönbség.

A differenciálnyomás-karakterisztika értelmezhető a szabályozás reakciójára egy lépcsőházi ajtó nyitásakor és csukásakor is. Az általam felvett karakterisztika négy alapvető szakaszból áll, melyek a következők (20. ábra):

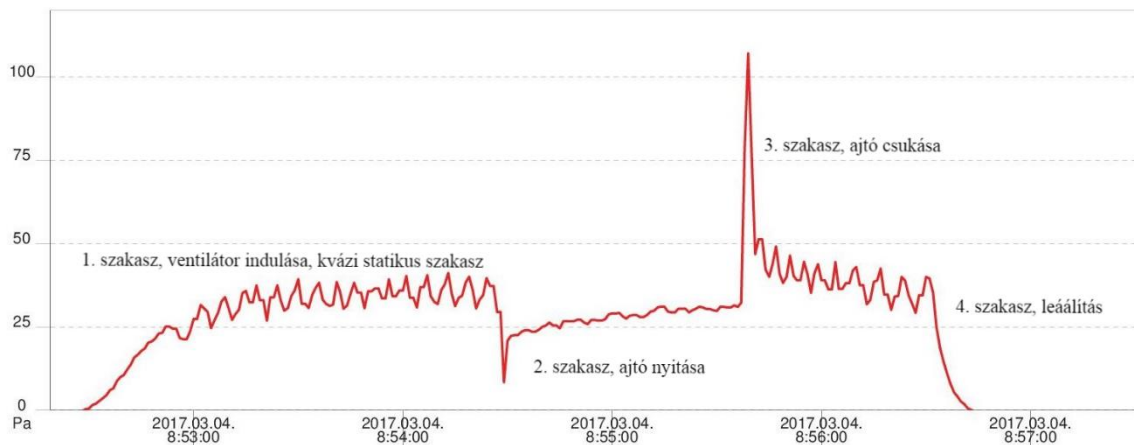
1. szakasz – a füstmentesítő ventilátor indítása csukott lépcsőházi ajtók mellett addig, amíg a nyomás állandósul, vagy kirajzolódnak szabályozási lengések. Ez a kvázi statikus szakasz, mely a vonatkozó TvMI szerinti statikus helyzetnek felel meg.

2. szakasz – a lépcsőház egy ajtajának kinyitásától a kvázi egyensúlyi állapot eléréséig tart.

3. szakasz – az ajtó csukásától a kvázi statikus szakasz eléréséig tart.

4. szakasz – a ventilátor leállításától az alapállapot közelítő állapot eléréséig tart.

Amennyiben indokolt, további elrendezések és szakaszok is definiálhatók, amennyiben azokból érdemi következtetéseket lehet levonni a szabályozással kapcsolatban.



20. ábra – Differenciálnyomás-karakterisztika, differenciálnyomás mérése lépcsőház előtéri ajtón keresztül, készítette a szerző Testo Comfort – Software X35 programmal [85]

Amennyiben a műszer adatrögzítésének frekvenciája kellően nagy, úgy a rendszer reagálási ideje is jól érkekelhető

Azokban az esetekben, ahol a létesítéskor elvárás volt, hogy egy nyitott lépcsőházi ajtó esetén is biztosított legyen 10 Pa túlnyomás további méréseket kell végezni.

1.4.2. Légsebesség mérések eredményei

A vizsgált lépcsőházak esetében az előírt darabszámú nyitott nyílászáró feltételezése mellett nyílászárónként legfeljebb középmagas épületben $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$, míg magasépületben legalább $1,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ légmennyiséget kellett figyelembe venni. Ez alapján egy átlagos, $0,9 \times 2,1 \text{ m}$ szabad nyílásméretű ajtón kiáramló levegő mennyisége legfeljebb középmagas épületben kb. $6800 \text{ m}^3/\text{h}$.

A mérések során a mérési pontok kijelölése úgy történt, hogy az ajtó méretétől függetlenül legalább három oszlopban és öt sorban végeztem légsebességméréseket. Ezzel a módszerrel célom az volt, hogy az ajtónyílás teljes szabad felületén a légáramlás eloszlásáról minél részletesebb és pontosabb képet kapjak. Azokban az esetekben, amikor a nyílás geometriai méretei vagy a kedvezőtlen hozzááramlási viszonyok ezt indokolták, a mérési pontok számát tovább növeltem a mérés pontosságának növelése érdekében. A szárnykerek anemométer alkalmazása során bizonyos helyszíneken tartós, a lépcsőház irányába mutató visszaáramlásokat is tapasztaltam. Ezek az áramlási jelenségek különösen hasznos információt szolgáltatottak olyan épületekben, ahol a füstáramlás vizsgálatát nem állt módomban elvégezni.



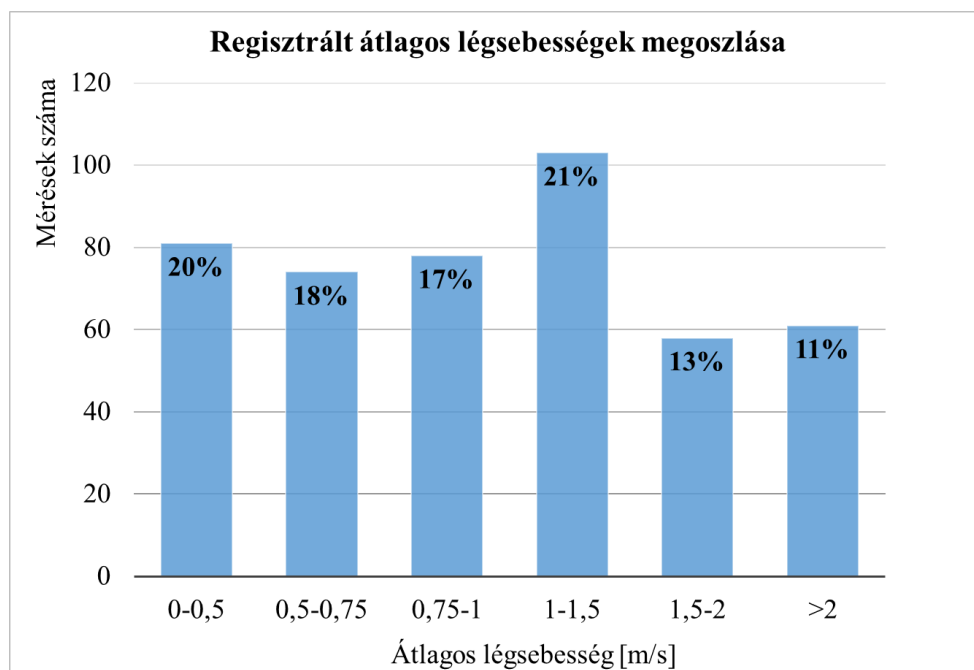
2. kép – Áramlás vizsgálata „smoke pen” használatával, készítette a szerző [86]

A 2. képen egy előtér nélküli túlnyomásos füstmentes lépcsőház három nyitott ajtó melletti légsebességmérésekor készült. A szárnykerekes aneométer a lépcsőházba irányuló visszaáramlás jeleit mutatta a nyílászáró szabad keresztmetszetének egy részén. A „smoke pen” használatával ez a visszaáramlás igazolható volt oly módon, hogy az épület beépített tűzjelző berendezésén jelzést nem okozó mennyiségű füstöt alkalmaztam az áramlás vizsgálatára. Nagyobb mennyiségű füst fejlesztésére alkalmas füstpatronok alkalmazása már az épület működését befolyásoló mennyiségű füstöt képzett.

A mérések elvégzésekor nem tekintettem megfelelőnek azokat a lépcsőházakat, ahol az előírt darabszámú nyitott nyílászáró mellett nem alakult ki valamennyi nyitott ajtó szabad keresztmetszetén az előírt 1 m/s illetve 1,5 m/s levegőáramlás.

Összesen 455 db nyitott ajtón végeztem légsebesség méréseket. A vizsgált lépcsőházak 29%-ában volt regisztrálható az előírt darabszámú nyitott nyílászárók mellett valamennyi ajtó szabad keresztmetszetén a megkövetelt átlagos légsebesség kialakulása.

A lépcsőházak 71%-a (112 esetben) legalább egy nyílászáró esetén nem tudta teljesíteni a vonatkozó követelményt. Bár az előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén valamivel nagyobb volt a megfelelés aránya, ez a különbség nem szignifikáns, így statisztikailag nem mutatható ki az előtér kialakítása és a követelményeknek való megfelelés közötti kapcsolat. A 21. számú ábra a légsebesség kritériumoknak való megfelelést mutatja be valamennyi vizsgált lépcsőház vonatkozásában.



21. ábra – regisztrált átlagos légsebességek különböző tartományokban, készítette a szerző

A nem megfelelések elsősorban az alábbi okokra vezethetők vissza:

- A ventilátor tervezett munkapontja nem képes biztosítani a lépcsőházi nyílászárók szabad nyílásmérete alapján szükséges légmennyiséget.
 - A nyílászárók cseréje vagy átalakítása (pl.: passzív szárny bevonása a kiürítésbe a zárszerkezet átalakításával).
- A ventilátor légszállítása képes biztosítani a lépcsőházi nyílászárók szabad nyílásmérete alapján szükséges légmennyiséget, de a kapcsolódó terekben nem biztosított a kiáramló levegő elvezetése.
 - Nem alakul ki a füst bejutását korlátozó légáramlás a nyitott ajtón.
- Frekvenciaváltó szabályozásával kapcsolatos hiba.
 - Nem megfelelően megválasztott alapjel miatt a ventilátor nem üzemelt a névleges fordulatszámon.

- A nyomástávadó hibája, érzékelők kedvezőtlen elhelyezkedése miatt a ventilátor nem üzemelt a névleges fordulatszámon.
- A maximális frekvencia értékét 50 Hz alatt korlátozták, vagy tűz üzemmód nélküli frekvenciaváltók túlterhelés elleni védelem működése miatt a névleges érték alatt működtették a ventilátort.

A nyitott ajtók szabad keresztmetszetét összegezve meghatározható az az elméleti térfogatáram, amely a szükséges légsebesség biztosításához szükséges. Ez az érték nem azonos a ventilátor szükséges térfogatáramával, mivel annak nagyobbnak kell lennie, egyrészt a bizonytalanságból származó eltérések ellensúlyozására, másrészt a nyitott ajtók esetén a lépcsőházban fennmaradó túlnyomás okozta résveszteségek kompenzálására.

Tovább elemezve az eredményeket azon esetekben, ahol legalább egy nyitott ajtó szabad keresztmetszetében nem alakult ki a szükséges légsebesség megállapítható, hogy 75 olyan lépcsőház volt, melynél a nyitott ajtókon mért légsebességekből számított térfogatáram nem érte el a nyílászárók mérete alapján szükséges elméleti minimum térfogatáram értéket. Ez a légsebesség kritérium alapján nem megfelelő lépcsőházak 67%-a. Ezt az eredmény azonban tovább szükséges bontani az alábbiak szerint:

- 3 esetben a motoros fagyvédelmi zsalu hibájára, azaz nem teljesen nyitott állapotára volt visszavezethető a hiba,
- 8 esetben a frekvenciaváltó nem megfelelő fordulatszámon működtette a ventilátort,
- 1 esetben a levegő a lépcsőházhoz kapcsolódó padlásfeljárón keresztül szökött el.,
- 10 esetben a levegő a túlnyomáslevezetőszerkezeten elszökik,
- 52 esetben a ventilátor nem tudta a szükséges mennyiségű levegőt szállítani, melynek oka lehet:
 - A lépcsőház kedvezőtlen geometriai adottságai, melyek nagy légellenállást okoznak, úgy mint a szűk orsótér, keskeny lépcsőkarok, tömör korlátok.
 - A szabad szemmel nem látható integritási problémák, azaz a ventilátor nem rendelkezik akkora tartalékkal, mely a résveszteségeket is fedezné.
 - A légtechnikai rendszerben fellépő olyan veszteség, amely nem megfelelő munkapontot eredményezett (pl. zsalu rovarvédő hálózattal, kis lyukbőségű rácsok)

- Fentiek kombinációja.

A motoros zsaluk mechanikai meghibásodása (azaz amikor a zsalu elindul a tűzeseti nyitott állapotba, de nem nyílik ki teljesen laza kötésű motor-tengely kapcsolat vagy nyomatékkorlátozás miatt) könnyen javítható.

Amennyiben a frekvenciaváltók nem üzemelnek a kívánt, jellemzően 50 Hz értéken, akkor vizsgálendő, hogy ennek oka szándékosan beállított felső frekvenciakorlát, fix frekvencia vagy esetlegesen a szabályozásra visszavezethető eltérés. Fontos megemlíteni, hogy gyakorlatban a füstmentes lépcsőházi légellátó rendszerek nem változtatnak alapjelet. Ez azt jelenti, hogy a ventilátor fordulatszáma a nyitott ajtók által okozott nyomásesés hatására emelkedik a visszacsatolójel alapjeltől való eltérése miatt. Azon lépcsőházak esetén, ahol az elégtelen légszállítás a szabályozásra visszavezethető a nyomástávadóról érkező visszacsatolójel az alapjel közelében van. Ilyen eset alakulhat ki például, ha alacsony alapjel mellett a lépcsőház légellenállása nagy, azaz a lépcsők nyomásvesztéséből adódó statikus nyomás a távadónál eléri vagy meghaladja az alapjel értékét.

Több alkalommal is találkoztam olyan megoldással, amikor a túlnyomás létrehozásához két ventilátor volt szükséges, és a ventilátorokat egy olyan frekvenciaváltó üzemeltette, amely képes volt a két gép egyidejű működéséhez szükséges villamos teljesítmény leadására. Ez a megoldás mindenképpen kerülendő, meglévő esetekben javasolt a gépek független frekvenciaváltóval való ellátása, mivel a frekvenciaváltó meghibásodása esetén mindkét ventilátor egyidejűleg működésképtelenné válik. Több ventilátor alkalmazása esetén törekedni kell az azonos paraméterekkel (munkaponttal, átmérővel) rendelkező gépek alkalmazására.

A további 52 esetben további vizsgálat vált szükségessé annak megállapítására, hogy a fentebb részletezett okok közül mi okozza az elégtelen mennyiségű légáramlást a nyitott ajtókon. Ennek javítása azonban nem jelenti automatikusan azt, hogy valamennyi nyitott ajtón kialakul a szükséges légmennyiség, hiszen ez még függeni fog a kapcsolódó terek légzárásától is.

A megfelelő légszállítású ventilátorok esetén, amikor a kívánt légsebesség a nyitott ajtón nem alakult ki, a nem megfelelőséget az okozta, hogy a kapcsolódó terekben a nyitott ajtókon távozó levegő elvezetése nem volt biztosított. Ennek megoldása az épület egyedi adottságaitól függően esetenként határozandó meg. Amennyiben van rá lehetőség a kapcsolódó terek homlokzati nyílászárójának nyitásával lehetőség van a korrekcióra, azonban bizonyos esetekben az épület adottságából következően ezen probléma elhárítása jelentősebb, sokszor aránytalan költségfordítással járó átalakítás nélkül nem lehetséges.

A hatályos hő és füst elleni védelem TvMI már tartalmaz elrendezési lehetőségeket a nyitott nyílászárókon végzendő légsebesség mérésekre. [7, o. 154] A vizsgált lépcsőházak esetén a létesítés időpontjában erre vonatkozó ajánlás nem létezett, így a mérések a legnagyobb légmennyiséget igénylő ajtók nyitásával, a kiürítés koncepciójával, egyéb esetben az áramlási viszonyok szempontjából legkedvezőtlenebb elrendezésben kerültek elvégzésre.

1.5. A biztonsági szint növelésének lehetőségei

A mérések eredményei azt mutatták, hogy a vizsgált lépcsőházak 15%-a felelt meg együttesen a létesítéskori nyomáskülönbség és légszállítás követelményeknek. A túlnyomásos füstmentesítés rendszerei szabályozhatják a füst mozgását. [41] Melegfüsttel végzett vizsgálatok alapján is kijelenthető, hogy a túlnyomásos szellőzés kritikus fontosságú lehet a füst terjedése szempontjából. [69] Megfelelő légszállítás és a szükséges értéket elérő légsebességek esetén is előfordulhat füstvisszaáramlás a nyitott lépcsőházi ajtókon keresztül. [86]

Fentiek alapján megállapítható, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak védelmet nyújtanak a füst és a mérgező égéstermékek bejutása ellen, azonban azok bejutása a lépcsőház légterébe nem zárható ki.

1.5.1. Differenciált megközelítés a nemzetközi gyakorlatban

Az MSZ EN 12101-13 szabvány áttekintése alapján megállapítható, hogy a lépcsőházak légellátó rendszerének méretezésekor a tűzzel érintett szinten nyitott ajtó szabad keresztmetszetében biztosítandó légsebesség meghatározásánál különböző kockázati tényezőket is figyelembe vesz. [5] Az ilyen befolyásoló tényezők között szerepelhetnek a szabvány szerint:

- beépített tűzoltó berendezés
- az épület magassága
- a füst bejutása ellen védett tér és a tűz keletkezési helye közötti helyiségek kapcsolatok

A fentieket figyelembe véve a biztosítandó légsebesség 1 m/s (1. osztály), ha

- az épületben a beépített automatikus vízzel oltó berendezést létesítenek és az EN 12259-1 szabvány szerinti gyors reagálású sprinklerfejeket alkalmaznak ($RTI \leq 50(m \cdot s)^{0.5}$) legfeljebb 72°C kioldási hőmérséklettel vagy
- lakóépületekben legfeljebb 30 méter magasságig vagy magasépületnek nem minősülő lakóépületekben vagy

- lakóépületekben, ha legalább két, önműködő csukószerkezettel ellátott ajtókkal elválasztott, tűzterhelés nélküli helyiség van a füst bejutása ellen védett tér és a tűz potenciális keletkezési helye között vagy
- amennyiben azt az illetékes hatóság elfogadja.

A biztosítandó légsebesség 2 m/s (2. osztály), ha

- Az 1. osztály nem alkalmazható vagy
- amennyiben azt az illetékes hatóság megköveteli.

Míg hazánkban kialakult gyakorlat 1 m/s-nál magasabb légsebesség kritériumot csak magasépületek előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházaival szemben támaszt, addig az európai szabvány ajánlása szűkebb körben javasolja az 1 m/s légsebesség alkalmazását. A hazai szabályozás a biztonság növelését – légtechnikai szempontból – az előteres túlnyomásos lépcsőházak kialakításával valósítja meg, továbbá a nyitottnak feltételezett ajtók darabszáma is arányos a szintszám növekedésével. Fontos megjegyezni, hogy a szabvány a füst bejutásának megakadályozása érdekében legalább 30 Pa nyomáskülönbséget ajánl, ami alacsonyabb, mint a vonatkozó TvMI-ben meghatározott $50 \pm 10\%$ Pa.

Ausztriában a túlnyomásos rendszerekre vonatkozó TRVB 112 S szintén különbséget tesz azok között az esetek között, amikor nyitott ajtók szabad keresztmetszetében magasabb, 2 m/s-os légsebesség biztosítása szükséges. [33, o. 6–29] Ilyen szempontok lehetnek az épület magassága vagy befogadóképessége, amelyek megnövelhetik a kiürítés időtartamát. Ezenkívül további követelményeket fogalmaz meg az energiaellátással kapcsolatban.

A német VDMA 24188 szerint bizonyos esetekben a lépcsőházat „*biztonsági lépcsőházként*” kell megtervezni. Ez a lépcsőház csak előteres kialakítású lehet, továbbá amennyiben nincs külső homlokzati kapcsolata, akkor csak túlnyomásos szellőztetésű lehet. A nyitott ajtók szabad keresztmetszetében biztosítandó légsebesség meghatározásának egyik alkalmazott elve a füsttől védett lépcsőházi tér és a tűz keletkezési helye közötti helyiségkapcsolatok figyelembe vétele, mely szerint a szükséges légsebesség 1 m/s illetve 2 m/s. [32, o. 4–7]

A bemutatott nemzetközi példák alapján megállapítható, hogy a lépcsőházi túlnyomásos rendszerek méretezésében hangsúlyossá kell válnia a kockázatalapú, épületspecifikus megközelítésnek.

1.5.2. Üzembiztonság fokozásának lehetőségei

A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megfelelő tervezése az elvárt biztonsági szint teljesítésének egyik kritikus pontja. Mérnöki megfontolások alkalmazásával megkülönböztethetünk olyan eseteket, amikor a füstmentes lépcsőházaktól egy magasabb szintű biztonságot várunk el. A nemzetközi műszaki megoldások tanulmányozása alapján javaslat tehető a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak biztonságának növelésére. Ezek figyelembe vételével az OTSZ fokozott üzembiztonságú tűzoltó berendezésekre vonatkozó fogalmával összhangban javasolt bevezetni a fokozott üzembiztonságú füstmentes lépcsőház fogalmát. [87]

Fokozott üzembiztonságú füstmentes lépcsőház: olyan túlnyomásos füstmentes lépcsőház, amelynek kialakítása, frisslevegő- és energiaellátása, valamint vezérlőrendszere a berendezés tűzeseti működőképességét, üzembiztonságát növeli. [87]

A tervezési gyakorlatban ez azt jelenti, hogy bizonyos kockázati tényezők esetén figyelembe kell venni a fokozott üzembiztonság szükségességét. Ennek meghatározásakor a következő körülményeket javasolom figyelembe venni: [87]

- a kiürítésre figyelembe vett, a kijárat szinttől a legtávolabb lévő építményszint magassága vagy mélysége,
- az épület tűzoltó berendezéssel való ellátottsága,
- kiürítési stratégia, különös tekintettel a nagy befogadóképességű épületekre és a szakaszos kiürítésre,
- átmeneti védett tér kialakítása a füstmentes lépcsőházban, a füstmentes lépcsőház előterében vagy az ezekhez kapcsolódó helyiségben,
- az épületben lévő lépcsőházak száma és elhelyezkedése, továbbá a lépcsőházak közötti átjárhatóság,
- a füstmentes lépcsőházhoz vagy annak előteréhez kapcsolódó helyiségek rendeltetése,
- a füstmentes lépcsőházhoz vagy annak előteréhez kapcsolódó közlekedő menekülési útvonalként történő kialakítása,
- a tűzoltó egységek beavatkozásához szükséges feltételek biztosíthatósága,
- a tűzoltóság távolsága az épülettől,
- az épület rendeltetéséből, az épületben tartózkodó személyek menekülőképességétől függő kockázatok
- kritikus infrastruktúrák jelenléte.

A fokozott üzembiztonságot több tényező eredőjeként értelmezhetjük. Általánosságban megkülönböztethetünk építészeti, gépészeti és épületvillamossági megoldásokat, amelyekkel a biztonság növelhető. [87]

Az építészeti tervezés során figyelembe kell venni a lépcsőház elhelyezkedését az épületen belül, a lépcsőház kialakítását, a lépcsőházat határoló szerkezetek jellemzőit, valamint a lépcsőházak helyiségkapcsolatait. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak üzembiztonságát befolyásoló építészeti megoldások lehetnek a következők:

- a lépcsőház homlokzati kapcsolattal, adott esetben homlokzati mentési ponttal történő kialakítása,
- a lépcsőház előtérrel történő kialakítása,
- meghatározott tűzállósági teljesítménnyel rendelkező épületszerkezetek (falak, födémek) alkalmazása,
- a lépcsőház vagy annak előtere és az egyéb, használati helyiségek, közlekedővel történő elválasztása,
- közvetlenül biztonságos térbe jutás biztosítása a kijárat szinten,
- a friss levegő beszívási pontjainak épülettől távolabb eső, védett elhelyezése,
- kedvező áramlási feltételek biztosítása (pl. az orsótér mérete, a nyitott ajtók és homlokzati nyílásokon keresztül történő hatékony levegőelvezetés révén).

Az épületgépészeti tervezés során figyelembe kell venni a túlnyomással védett tereket, az időjárási viszonyok hatását, a nyitott ajtókon átáramló levegő útvonalának meghatározását és a redundanciát. A túlnyomásos füstmentesítés hatékonyságát befolyásoló gépészeti megoldások a következők lehetnek: [87]

- túlnyomásos előterek kialakítása,
- a túlnyomásos füstmentes lépcsőházhoz, vagy annak előteréhez kapcsolódó közlekedő gépi hő- és füstelvezetéssel való kialakítása, mely alkalmas a nyitott lépcsőházi ajtókon átáramló levegő elvezetésére is,
- nagyobb légsebesség biztosítása a nyitott ajtók szabad keresztmetszetében,
- csukott lépcsőházi ajtók esetén méretezés egy adott légcsereszámra vagy öblítőlevegő használata,
- az időjárási viszonyok figyelembevétele a tervezés során, különösen a hőmérsékletkülönbségből eredő hatásokra és a szélhatásra,
- a teljes térfogatáram elvezetésére méretezett túlnyomáslevetők alkalmazása,
- levegő bevezetése minél több építményszinten,

- redundáns üzem kialakítása további ventilátorok betervezésével.

Az épületvillamossági tervezés során kritikus lehet a kábelek nyomvonalának megválasztása, a vezérlőrendszerek tervezése, a biztonsági tápforrások használata és a redundancia. A túlnyomásos füstmentesítés hatékonyságát befolyásoló épületvillamossági megoldások a következők lehetnek: [87]

- több betápláló vezeték esetén a betápláló vezetékek eltérő nyomvonalon vezetése [88, o. 25],
- automatikus átkapcsolással ellátott biztonsági tápforrás létesítése,
- a minimálisnál nagyobb darabszámú nyomástávadó használata,
- kedvezőbb éghetőségű, füstkibocsátású kábelek használata lépcsőházakban és a kapcsolódó közlekedő terekben [89, o. 9], [90, o. 4],
- redundáns tervezés, beleértve az energiaellátó, vezérlő és szabályozó áramköröket és azok kiegészítő alkatrészeit.

A megfelelő működésű túlnyomásos füstmentes lépcsőház tervezése és megvalósítása összetett, több tervezői szakágat érintő feladat. A műszeres mérések és a füstáramlási vizsgálatok azt mutatják, hogy indokolt a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezési peremfeltételeinek felülvizsgálata a hazai szabályozásban. Megállapítható, hogy bizonyos kockázati tényezők figyelembevételével szükség lehet magasabb biztonsági szintet elérő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezésére. A magasabb biztonsági szintet elsősorban a tervezés során meghatározott építészeti, épületgépészeti és épületvillamossági megoldások alkalmazásával lehet elérni. Ezek együttesen biztosítják a tűzvédelmi tervezés folyamatában az elvárt biztonsági szint teljesülését.

Az elvárt biztonsági szintet azonban nem elegendő elérni, hanem fenn is kell tartani. Korábban hazánkban volt előírás a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak időszakos légtechnikai mérésére. [64, o. 584. § (6) b)] Sajnálatos módon ez az előírás a jelenleg hatályos OTSZ-ben nem található meg, így az elvárt légtechnikai paraméterek teljesülését a használatbavétel előtt és a hatékonyságot befolyásoló átalakítást követően kell elvégezni. A mérésekkel támogatott vizsgálatok rámutattak arra, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak nem megfelelő működése az üzemeltetői ellenőrzések, felülvizsgálatok és karbantartások ellenére is bekövetkezik. *A kéményseprő-ipari tevékenységről szóló 2015. évi CCXI. törvény és a kéményseprő-ipari tevékenység ellátásának szakmai szabályairól szóló 21/2016. (VI. 9.) BM rendelet* szerint az égéstermék-elvezető műszaki felülvizsgálatát négyévente egy alkalommal kell elvégezni. [91, o. 2. § (4) b)], [92, o. 3. §]

Bizonyos épületek esetén – azok egyes jellemzőitől függően, az OTSZ-ben meghatározott esetekben – a használatbavételt követő 60 napon belül tűzvédelmi műszaki megfelelőségi kézikönyvet (a továbbiakban: TMMK) kell készíteni. A TMMK az építmény építését, átalakítását, bővítését követően a megvalósult tűzvédelmi adatokat, továbbá a használati feltételeket tartalmazza, amelyekkel az építmény tűzvédelmi szempontból biztonságosan üzemeltethető. [1, o. 4.§ (2)] A TMMK felülvizsgálatát a használatbavételt követő 5. évben, majd azt követően 5 éves ciklusidővel kell elvégeztetni. [1, o. 4. § (2)]

Fentiek alapján javasolható, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén jogszabályi kötelezettség szülessen azok használatbavétele előtti, továbbá időszakos műszaki felülvizsgálatára, mely a felülvizsgálati és karbantartási feladatokon túlmenően, a karbantartást végző személytől vagy szervezettől független szervezet által elvégzett, teljes körű és komplex (tűzvédelmi, építészeti, épületgépészeti, épületvillamossági) eljárás keretében tanúsítvány kiállításával igazolja a követelményeknek való megfelelést.

Ezen túlmenően külön dokumentációban – TMMK készítésére kötelezett épületekben annak részeként – a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tűzvédelmi, építészeti, épületgépészeti és épületvillamossági koncepcióját rögzíteni szükséges, mely elsősorban az időszakos felülvizsgálatot és karbantartást végző személy és a műszaki felülvizsgálatot végző, tanúsítványt kiállító személy részére szolgáltat adatokat.

1.6. Részkövetkeztetések

1. A kutatási célkitűzésnek megfelelően a fejezet első részében áttekintettem Magyarországon a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megjelenésének előzményeit.

Részletesen bemutattam a lépcsőházakra vonatkozó differenciálynomás és térfogatáram követelményeket az engedélyezés időpontjának függvényében. A főbb következtetéseim az alábbiak voltak:

- a) Megállapítható, hogy a létesítés időpontjától függően a lépcsőházakra vonatkozó nyomáskülönbség és légsebesség követelmények eltérőek, mely megalapozza azt a megállapítást, hogy a lépcsőházak nyomáskülönbség és légsebesség megfelelőségének értékelése komplex követelményrendszer szerint vizsgálható.
- b) Nem állt rendelkezésre a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak létesítésének időpontjától függő olyan összefoglaló táblázat, amely a szabályozás időbeli változásának függvényében tartalmazta volt a vonatkozó követelményeket.

2. Foglalkoztam továbbá meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai mérésével, mely során részletesen bemutattam a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak jellemzőit, a mérés módszereit és a méréshez használt műszerek jellemzőit.

A vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokra jutottam:

- a) A vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak 44%-a legalább egy nyílászáró esetén nem tudta teljesíteni a relatív túlnyomásra vonatkozó követelményt, továbbá a teljes minta 17%-ánál az elvárt túlnyomás egyetlen ajtónál sem esett a kívánt tartományba.
- b) A vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak 71%-a legalább egy nyílászáró esetén nem tudta teljesíteni a légsebességre vonatkozó követelményt.
- c) A vizsgált összesen 157 db túlnyomásos füstmentes lépcsőház 15%-a együttesen teljesíteni a rá vonatkozó differenciálnyomás és légsebesség követelményeket.
- d) Foglalkoztam a biztonsági szint és az üzembiztonság növelésének lehetőségeivel.

Részkutatásaim alapján kidolgoztam a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak nyomáskülönbség és légsebesség értékének megfelelőségértékeléséhez alkalmazható táblázatot. Megállapítottam, hogy a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak jelentős hányada nem felel meg a létesítéskor rá vonatkozó követelményeknek a rendszeres felülvizsgálatok és karbantartások ellenére sem.

3. Összefoglalva meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megfelelő működését önmagában a jogszabályban meghatározott időszakos felülvizsgálat és karbantartás nem garantálja teljes körűen.

Javaslatot teszek a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak időszakos műszaki felülvizsgálatára, mely a füstmentesítő ventilátorokon túlmenően a füstmentes lépcsőházakat komponensenként és komplex módon vizsgálja tűzvédelmi, építészeti, gépészeti és épületvillamossági szempontból is.

2. FÜSTGÁTLÓ AJTÓK RÉSEIN VALÓ LÉGÁRAMLÁS BECSLÉSE TÚLNYOMÁSOS FÜSTMENTESÍTŐ RENDSZEREK TERVEZÉSE SORÁN

Az értekezés bevezetőjében felállított hipotézisem alapján a füstgátló ajtókra vonatkozóan feltételezem, hogy légzárásuk eltér a hagyományos ajtókétól, továbbá szivárgási felületük illetve fajlagos légáteresztési tényezőjük egységesebben becsülhető, ha megfeleltek a füstgátló ajtókra vonatkozó szabvány követelményeinek.

Jelen fejezetben tehát kutatási céloknak tekintem meglévő füstgátló ajtók résein való légáramlás mérésekkel történő vizsgálatát, a napjainkban alkalmazott szivárgási felület értékek kialakulásának, továbbá az ajtók résein átáramló levegő mennyiségének becslésére szolgáló számítási eljárások elemzését.

2.1. A réseken keresztül történő füstterjedés korlátozásának jelentősége

Ha tűz keletkezik egy épületben, hő és mérgező égésgázok szabadulnak fel, amelyek veszélyeztethetik az épületben tartózkodó embereket, az épületben található tárgyakat és az épületek szerkezeteit. [93], [94, o. 24] Már a tűz kezdeti szakaszában különös figyelmet kell fordítani a kiürítést és a mentést akadályozó, nagy mennyiségű füst felszabadulására. [95] Ezek alapján elmondhatjuk, hogy a hő és a füst elleni védelem biztosítása az épületben tartózkodók biztonságának egyik fő pillére. Az életvédelmi célok elérése érdekében korlátozni kell a füst terjedését, vagy biztosítani kell a keletkező égéstermékek hatékony elvezetését.

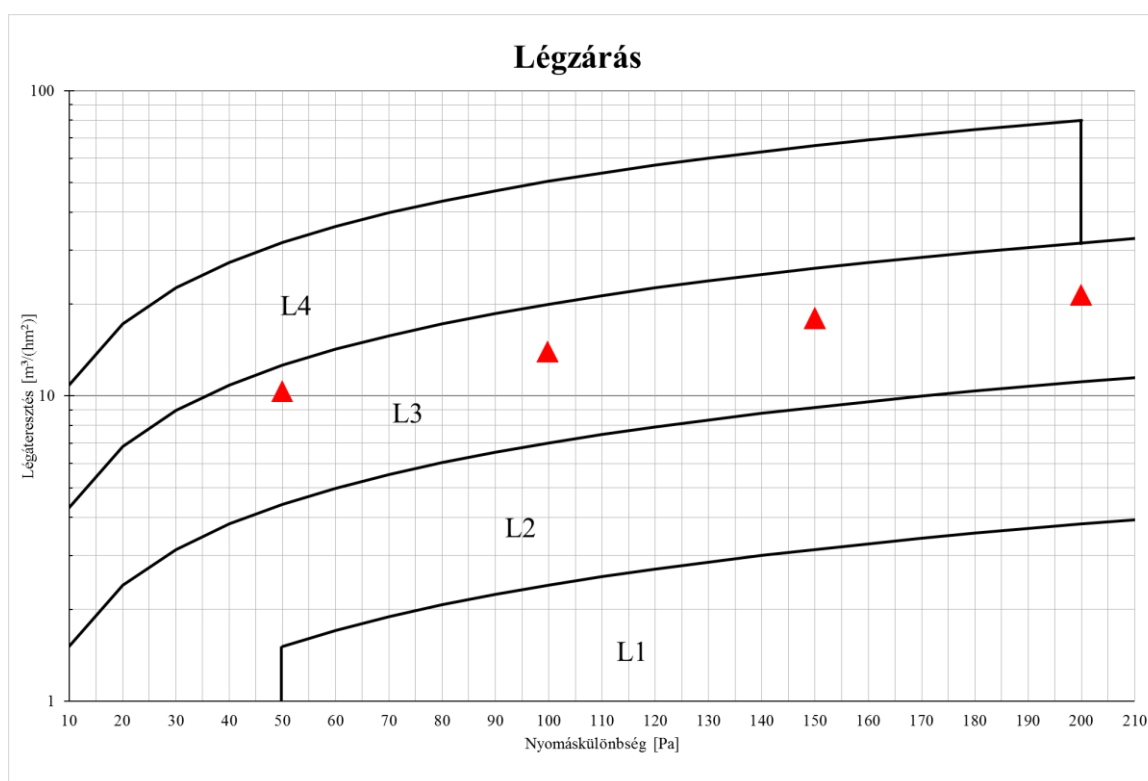
A füst nyitott ajtókon vagy ablakokon, csukott ajtók és ablakok körüli réseken, szerkezeti repedésekben, szellőzőcsatornáknakban, aknáknak és más útvonalokon keresztül terjedhet. Az ajtók résein keresztül szivárgó levegő mennyiségét több tényező is befolyásolja. Ilyen például az ajtó típusa és az ajtó két oldalán kialakuló nyomáskülönbség, amely miatt a levegő az ajtó és a tok közötti réseken szivárog keresztül. [96] A füst gyorsan tovább terjedhet az épület más területeire, ami megnehezítheti az épületből való menekülést. [36, o. 1]

A füstmentesítő ventilátorok által létrehozott túlnyomással szabályozható a füst áramlása az ajtókon és egyéb szerkezeteken keresztül. Ezek résein a túlnyomás hatására átáramló levegő megakadályozza, hogy a füst bejusson a magasabb nyomású térbe. Ha az ajtó nyitva van és a kifelé irányuló légáramlás kellően nagy, akkor korlátozható vagy akár megakadályozható a füst visszaáramlása is. [39, o. 39] Vagyis a füstmentesített tér túlnyomása és a nyitott ajtókon kiáramló levegőmennyiség két fontos tervezési paraméter, amelyek döntő hatással vannak a rendszerek hatékonyságára.

A szerkezet két oldala közötti túlnyomás létrehozását gépi szellőzés biztosítja. [40, o. 88] A kívánt túlnyomás elérése érdekében meg kell tudni határozni a betáplálendő levegő mennyiségét. Ha a betáplált levegő mennyisége nem elegendő, a szerkezet két oldala között nem jön létre a megfelelő nyomáskülönbség. Ebben az esetben a füst beszívárogthat a réseken keresztül az alacsonyabb nyomású térbe. Másrészt, ha a betáplált levegő mennyisége túl nagy, túlnyomás alakulhat ki, ami megnehezíti az ajtók kinyitását, vagy akár szerkezeti károkat is okozhat.

A tervezési folyamat során elengedhetetlenül fontos tisztában lenni azzal, hogy egy adott nyomáson mennyi levegő áramlik át a szerkezeteken, és így kellő pontossággal meg lehessen határozni a bevezetendő levegő mennyiségét. A számítási módszerek lehetővé teszik ennek az értéknek a becslését a szerkezetek szivárgási felületeinek illetve fajlagos légáteresztési tényezőinek ismeretében. Mivel az ajtók különösen fontos szerepet játszanak a réseken keresztüli veszteségekben, fontos a résméreteket lehető legpontosabb ismerete. [97]

Sok esetben a füsttől védett terek füstgátló ajtókkal vannak elválasztva a többi tértől, amelyek önműködő csukószerkezettel rendelkeznek, és korlátozzák a füst bejutását környezeti vagy magasabb hőmérsékleten. [98, o. 1–3]



22. ábra – Egy L4 légzárású ajtó szivárgási vesztesége különböző nyomáskülönbségek esetén, készítette a szerző [55, o. 3–4]

Hazánkban a füstmentes lépcsőházakban az ajtókon keresztül történő füstterjedés gátlást kezdetben az önműködő csukószerkezettel ellátott ajtók alkalmazásának előírásával biztosították. [70], [99] Későbbi szabályzók már megemlítik az MSZ-04-311/1 szabvány szerinti L₄ („közepes” légzárású), MSZ 595/1 szabványban definiált „füstgátló” ajtók alkalmazásának lehetőségét is (22. ábra). [100], [101], [102]

A 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet már egyértelműen az európai szabvány szerinti S_a illetve S_m teljesítményjellemzővel rendelkező füstgátló ajtók alkalmazását írta elő. [71], [103, o. 42–43], [104]

Napjainkban a hatályos hő és füst elleni védelem TvMI önműködő csukószerkezettel ellátott ajtók alkalmazását határozza meg a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban. Az ajtóknál alapvető követelmény a füstgátlási teljesítmény, mely a beépítés helyétől függően S_a vagy S₂₀₀. S_a minősítésű ajtók jellemzően akkor alkalmazhatók, ha a kapcsolódó térben meleg füst jelenlétének kockázata elhanyagolható. Ilyen eset például az előteres füstmentes lépcsőház esetén a lépcsőház és az előtér közötti ajtó vagy a füstmentes lépcsőházhoz kapcsolódó tűzgátló előterek, hő- és füstelvezetéssel rendelkező közlekedő helyiségek. Előtérrel kialakított túlnyomásos lépcsőház előteréhez nagylégterű irodatermek és teremgarázs a mértékadó kockázati osztálynak megfelelő tűzállósággal és S₂₀₀ teljesítménnyel rendelkező ajtóval csatlakozhatnak. [7, o. 53–55] A füstgátlási teljesítmény követelmény esetenként tűzállósági teljesítménykövetelménnyel is kiegészülhet. A füstgátló ajtók magyar nemzeti szabványként bevezetett európai vizsgálati szabványa az MSZ EN 1634-3:2005. A különleges felhasználási célra készült ajtók kivételével a vizsgálatokat az ajtólap mindkét oldalán elvégzik. Szobahőmérsékleten végzett vizsgálat esetén megengedett ugyanazon ajtó két irányból történő vizsgálata, közepes hőmérsékleten (200°C) azonban mindenképpen két külön ajtón szükséges elvégezni a vizsgálatot. [104, o. 7] A vizsgálat eredményeit az MSZ EN 13501-2 szabvány szerint osztályozzák.

Az MSZ EN 13501-2:2023 szabvány az alábbi teljesítményszinteket, illetve az azokba sorolás feltételeit határozza meg: [105, o. 52–53]

S_a füstáteresztés: ha szobahőmérsékleten, 25 Pa nyomáskülönbség esetén az ajtón keresztül szivárgó levegő mennyisége nem haladja meg a 3 m³/h értéket méterenként az ajtó rögzített és mozgó komponensei között. Továbbá meg kell jelölni, hogy vizsgálatok során a szárny(ak) alatti szivárgási veszteséget (küszöb) figyelembe vették-e vagy sem.

S₂₀₀ füstáteresztés: ha a maximális szivárgási veszteséget szobahőmérsékleten és 200°C hőmérsékleten is megvizsgálták és 50 Pa nyomáskülönbség mellett ez az érték nem haladta meg egyszárnyú ajtó esetén a 20 m³/h-t, kétszárnyú ajtó esetén a 30 m³/h-t.

A szabvány jelenleg további kiegészítő jelzéseket is alkalmaz S_a minősítésű ajtók esetén. S_{a3} , ha az S_a szerinti vizsgálat során a vizsgált ajtó küszöbjének szivárgási veszteségét nem vették figyelembe. S_{a4} , ha az S_a szerinti vizsgálat során a küszöb szivárgási veszteségét is figyelembe vették. Alapvetően a szabvány korábbi verziója szerinti osztályozás S_{a3} -nak felel meg.

Fontos megemlíteni, hogy a vizsgálati szabvány S_m és S_a jelöléseket alkalmaz, továbbá S_a vizsgálat során a rés hossza a rögzített és mozgó ajtóalkatrészek között (például az ajtólap és a keret között), de a küszöbrés hossza nélkül, mérendő és rögzítendő. [104, o. 10–12] Ez vonatkozik azokra az esetekre is, amikor a például automata küszöböt alkalmaznak az ajtón.

2.2. A nyomáskülönbség elvén működő rendszereket határoló ajtók szivárgási felületének becslése a gyakorlatban

Minden ország rendelkezik nemzeti szabályozással az épületekben keletkező tüzek kockázatának minimalizálására. [106, o. 4] A pozitív nyomású szellőzés (Positive Pressure Ventilation – PPV) alkalmazása, azaz lépcsőházak relatív túlnyomás alá helyezése, első ízben az 1950-es években jelent meg. [13, o. 426] Amerikában az ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Amerikai Fűtés-, Hűtés- és Légkondicionáló Mérnökök Társasága) füstelvezetési kézikönyve volt az első olyan dokumentum, amelyet kifejezetten tervezők számára szántak. [107, o. 2]

Már a korai kutatások is rámutattak arra, hogy a falak és ajtók szivárgási jellemzői különösen fontosak, és több adatra van szükség a beépített ajtók részfelületeiről. [108] Még zárt helyiségekben is mindig van némi szellőzés az ajtók, ablakok körül és a szerkezetek résein keresztül, azaz filtráció. [109, o. 233]

Tamura publikációja egy számítógépes tanulmányt ismertetett, amely irodaházakban mért légveszteség jellemzőkön alapult. A lépcsőházi ajtók effektív részfelülete ebben a tanulmányban $0,0185 \text{ m}^2$ volt. [110] Nem sokkal később *Hobson és Stewart* nyílászárók résein való légáramlás méréseket végeztek harminc, ütközőperemes ajtón. A beépített ajtókon végzett térfogatáram mérési tesztek eredményei azt mutatták, hogy az egy szárnyú ajtók jellemző szivárgási felülete $0,01\text{-}0,02 \text{ m}^2$ volt. [37, o. 47] Ez az érték jól egyezett *Tamura* korábbi eredményével.

Az 1978-ban kiadott BS5588-4 szabvány az ajtók nyitási irányától függően tett különbséget. [111, o. 13–15] A szabvány által megadott jellemző szivárgási felület a túlnyomásos térbe nyíló, egyszárnyú ajtók esetében $0,01 \text{ m}^2$ volt. A túlnyomásos térből nyíló, egyszárnyú ajtók esetében ez az érték $0,02 \text{ m}^2$ volt.

Mindkét érték 5,6 m réshosszra vonatkozik 2,0 m magas és 0,8 m széles ajtók esetében. [14, o. 145–146] A szabvány 1998-as (2004-es) kiadása tartalmazott egy tájékoztató mellékletet az ajtók szivárgási felületének adataival, de továbbra is 0,01 m² értéket ajánlotta az egyszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtókra és 0,02 m² értéket az egyszárnyú, túlnyomásos térből nyíló ajtókra. [112, o. 66–67]

Gross és Haberman 1988-ban közzé tett tanulmányában egy olyan résméreteken alapuló módszert mutatott be, amellyel meghatározható az ajtó körüli rések méretének és a rések geometriájának függvényében a levegő áramlása, NP és NQ dimenzió nélküli mennyiségek bevezetésével. Ha a résben történő áramlás során nincs iránytörés NP és NQ között az alábbi összefüggést állították fel: [113, o. 172–173]

$$\left. \begin{aligned} NQ &= 0,01042 \cdot NP \\ NQ &= -3,305 + 0,2915 \cdot NP^{0,5} + 0,01665 \cdot NP^{0,75} - 0,0002749 \cdot NP \\ NQ &= 0,555 \cdot NP^{0,5} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} NP &\leq 250 \\ 250 &< NP < 10^6 \\ NP &\geq 10^6 \end{aligned} \quad (7)$$

ahol,

NQ – dimenzió nélküli térfogatáram (-)

NP – dimenzió nélküli nyomáskülönbség (-)

$$NQ = \frac{Q \cdot D_h}{L \cdot v \cdot x} \quad (8)$$

$$NP = \frac{\Delta p \cdot D_h^2}{\rho \cdot v^2} \cdot \left(\frac{D_h}{x}\right)^2 \quad (9)$$

$$D_h = 2 \cdot a \quad (10)$$

Q – térfogatáram (m³/s)

Δp – nyomáskülönbség a rés két oldala között (Pa)

ρ – sűrűség (kg/m³)

v – kinematikai viszkozitás (m²/s)

L – a rés hossza (m)

x – a rés hossza az áramlás irányában (m)

D_h – a hidraulikus átmérő (m)

a – a rés vastagsága (m)

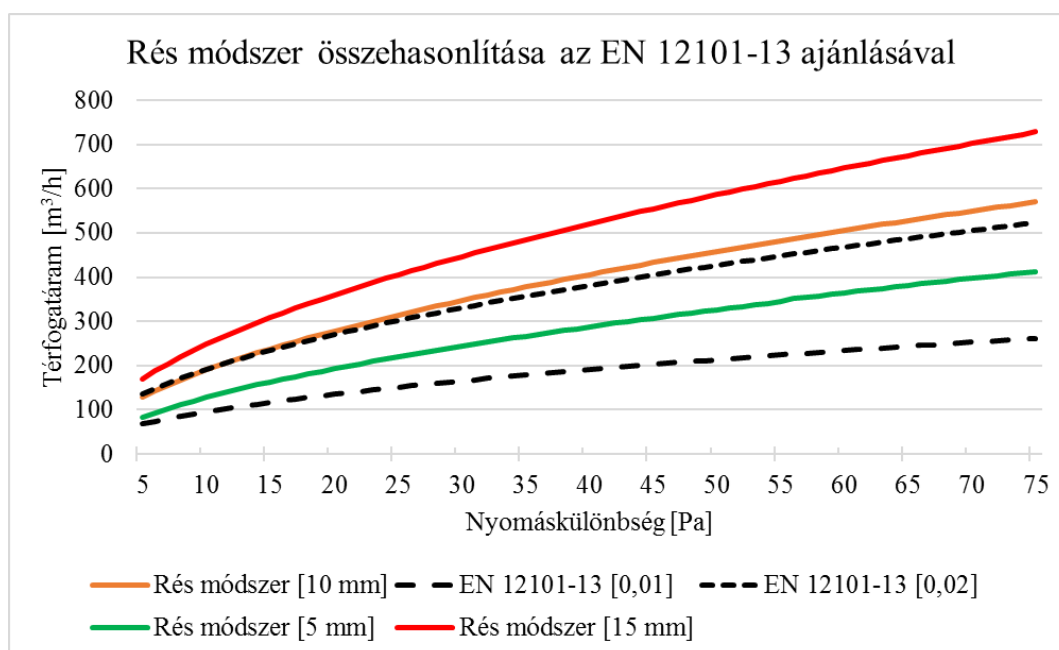
A (8) egyenletet Q -ra kifejezve megkapjuk az egyenes (iránytörés nélküli) résen keresztüli térfogatáramot:

$$Q = \frac{NQ \cdot L \cdot v \cdot x}{D_h} \quad (11)$$

Klote és társai táblázatos formában adták meg az egyszárnyú ajtók részfelületeinek értékeit 0,65 áramlási együtthatóval. 2,13 m magas, 0,914 m széles és 44,5 mm vastag ajtók esetében a jellemző érték 0,0073–0,0428 m², az ajtó feletti és alatti rések méretétől függően. [42, o. 54–58] Vagyis ebben a megközelítésben az ajtók körüli rés méretének kiemelt jelentősége van, mind a rések geometriájának, mind az áramlási út jellemzőinek ismerete szükséges. Ezzel szemben az szivárgási felületen alapuló módszerek alkalmazásakor jellemzően az ajtószárnyak számának és a nyitásirányának függvényében javasolnak konstans értékeket.

Az MSZ EN 12101-6 szabvány 2005-ben megjelent kiadásának „A” mellékletében a túlnyomásos térbe nyíló vagy onnan nyíló egyszárnyú ajtókra ajánlott szivárgási felület adatok szintén 0,01–0,02 m² voltak. [114, o. 88–91] A szabvány átdolgozása során a nyomáskülönbség elvén működő rendszerek tervezési módszereit átemelték a 2022-ben közzé tett MSZ EN 12101-13 szabványba, amely szintén 0,01–0,02 m² értékeket ajánl az egyszárnyú ajtók nyitási irányától függően, az azokon átszivárgó levegő mennyiségének becslésére. [5, o. 66–72]

A 23. számú ábra a *Gross-Haberman* féle rés módszer és az MSZ EN 12101-13 szabvány „A” melléklete által javasolt számítási módszerrel becsült térfogatáramok jelennek meg a nyomáskülönbség függvényében.



23. ábra – a rés módszer és az MSZ EN 12101-13 által ajánlott számítási módszer eredményeinek összehasonlítása, készítette a szerző

Az MSZ EN 12101-13 szabvány „A” melléklete szerint egyszárnyú ajtót feltételezve mindkét nyitásirányra elvégeztem a számítást, $0,01 \text{ m}^2$ illetve $0,02 \text{ m}^2$ értékek figyelembe vételével. A számítások során az ajtó rések szempontjából figyelembe veendő szélessége $1,00 \text{ m}$, magassága $2,00 \text{ m}$. Az ajtólap alatti rés $5\text{-}10\text{-}15 \text{ mm}$, a minden további rés 2 mm . Az ajtólap vastagsága 45 mm , a résen keresztüli áramlás iránytörésektől mentes. A levegő hőmérséklete 20°C , sűrűsége $1,205 \text{ kg/m}^3$, kinematikai viszkozitása $1,51 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. [115, o. 191].

A különböző nagyságú ajtó alatti rések vizsgálata azt mutatja a rés módszer szerinti számítás során, hogy a küszöbnél lévő rés mérete jelentősen befolyásolja az ajtó résein átáramló levegő mennyiségét. Vagyis az ajtó alatti rés elégtelen légtömörsége az résveszteség mértékét markánsan befolyásolja és nem negligálható.

Más megközelítésben a fajlagos légáteresztési tényező vagy réstényező és a rés hossza felhasználható a nyílások résein átáramló levegő áramlásának jellemzésére. Problémát jelent, hogy kevés irodalmi adat áll rendelkezésre a résveszteség tényezők jellemző értékeiről. [116]

Ez képezi az alapját a hő- és füst elleni védelem TvMI számítási metodikájának is, amely állandó fajlagos légáteresztési tényező és hatványkitevő értékek alkalmazását javasolja az S_a illetve S_{200} teljesítménnyel rendelkező füstgátló ajtókon keresztül átáramló levegő mennyiségének becslésére szolgáló képletben. [7, o. 51–52] A TvMI-ben szereplő számítási eljárás a 9/2008 (II. 22.) ÖTM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzatban jelent meg első alkalommal. [71] Ezekben a számításokban figyelembe vett fajlagos légáteresztési tényező $1,11$, a hatványkitevő pedig $0,67$.

Magyarországon az OTSZ határozza meg azokat az eseteket, amikor füstmentes lépcsőházat kell kialakítani. [117] Az OTSZ-ben meghatározott biztonsági szint elérhető például a TvMI-kben kidolgozott műszaki megoldások és számítási módszerek alkalmazásával. [2] A tervezők és szakértők döntő többsége munkája során a TvMI-kben javasolt műszaki megoldásokat alkalmazza. [22] Fontos, hogy előnyben részesítsük azokat a rendszereket, amelyek nem igényelnek fizikai beavatkozást. [118]

A fajlagos légáteresztési tényező Lengyelországban is hagyományos paraméter volt az ablakokon és ajtókon keresztül történő légszivárgás jellemzésére, amelyet úgy határoztak meg, mint az 1 méter hosszúságú ablakrésen 1 óra alatt 1 daPa nyomáskülönbség hatására átáramló levegő mennyisége. [119]

A 6. táblázat összefoglalja a különböző szakirodalmi forrásokból származó résveszteség tényező értékeket. A táblázat egyértelműen mutatja a szakirodalmi forrásoktól függően az adott nyomáskülönbség fenntartásához elméletileg szükséges légmennyiség értékek változatosságát.

6. táblázat – Különböző forrásokból származó egyszárnyú ajtók réstényezőjének összehasonlítása, szerkesztette a szerző

Forrás	Ajtók réstényezője [m ³ /hmPa ^{2/3}]		Ajtó résein átáramló levegő Δp=25 Pa esetén 6,0 m réshosszon [m ³ /h]	
	küszöbvel	küszöb nélkül	küszöbvel	küszöb nélkül
Recknagel-Sprenger-Schramek [120, o. 882–891]	9	3	467	156
Várfalvi [121]	8	1	415	52
Barna [122]	6	2	311	104
Gábor, Zöld [123, o. 130–131]	4	1,5	207	78
Hobson, Stewart [37, o. 47]	7,4	3,9	380	200
Liddament [124, o. 6.25]	5,22 (időjárásálló)	5,67 (időjárásálló szigetelés nélkül)	268	291
TvMI 3.6 [7, o. 51]	1,11 (S _a és S _m /S ₂₀₀ minősítésű ajtók esetén)		58	
ME-04–132–84 [21, o. 6–7]			184	

Az ajtók résein átáramló levegő mennyiségének becslése fontos tényező a túlnyomásos szellőzés tervezésében. Az ajtók használata miatt az ajtókon keresztül történő tényleges légszivárgás az évek során jelentősen változhat. [125, o. 3] Ez a megállapítás arra is utal, hogy a már beépített szerkezeteken is el kell végezni a vizsgálatokat.

Fentiek alapján megállapítható, hogy a kezdeti kutatások óta az egyszárnyú csukott ajtók résfelületének becsült mérete 0,01–0,02 m² között mozog. A réseken keresztüli áramlást leíró számítási módszer alapján elmondható, hogy az ajtó alatti rés mérete drasztikusan befolyásolhatja az ajtó légzárását.

A csukott ajtókon átáramló levegő mennyiségének leírására alkalmazott másik módszer a fajlagos légáteresztési tényező, amely segítségével a csukott ajtón átáramló levegő mennyisége az ajtórészek hosszának függvényeként számítható ki.

Mindkét megközelítés célja a csukott nyílászárókon – azok résein keresztül – átáramló levegő mennyiségének becslése a szerkezet két oldala között fellépő nyomáskülönbség függvényében. Ez alapvetően fontos kiindulási adat a tervezések során, mivel a túlnyomásos térbe adott nyomáskülönbség fenntartásához szükséges ventilátor munkapont meghatározásának egyik kritikus tényezője lehet.

2.3. Módszerek légáteresztő képesség meghatározására

Az előző pontban ismertetettek szerint elmondható, hogy egy túlnyomásos füstmentesítő rendszerrel védett teret határoló szerkezetek légzárása a tervezés egyik sarkalatos pontja. Egy helyiség légtömörsége alapvetően befolyásolja a filtráció mértékét, továbbá egy megkívánt nyomáskülönbség fenntartása céljából bevezetendő levegő mennyiségét. A levegő áramlásának iránya attól fog függeni, hogy a tér a kapcsolódó terekhez képest túlnyomásos vagy depresszív nyomásviszonyú, és ebből következően a térbe vagy a térből mutató levegőáramlás alakul ki a réseken.

Az épületek légáteresztő képességének meghatározására vonatkozó MSZ EN ISO 9972 szabvány szerint többféle módon lehet negatív vagy pozitív nyomást létrehozni az épületet határoló szerkezetek légzárásának vizsgálata céljából. Az egyik lehetséges módszer a blower door műszer alkalmazása, de adott esetben az épület szellőzőrendszerének ventilátora is alkalmas lehet a légáteresztő képesség meghatározásához. [126, o. 17–18]

2.3.1. Légáteresztőképesség meghatározása blower door műszerrel

A blower door egy nyomásmérési módszer, amelyet a Lund Műszaki Egyetem Építésmérnöki Tanszékével közösen fejlesztettek ki egy komplett épület tömörségének mérésére. [127, o. 62] A blower door műszer a légáteresztő képesség meghatározására szolgál. A működési elv az, hogy egy szabályozható ventilátort szerelnek be egy ajtó- vagy ablakkeretbe, és rögzítik a megadott nyomáskülönbség fenntartásához szükséges levegőmennyiséget. [128] A 3. kép egy nyitott ajtó keretébe szerelt blower door műszert mutat a mérési folyamat során. Ha egy épületszerkezet, (pl. ajtó, ablak) áramlási jellemzői, azaz légáteresztési tényezője és áramlási hatványkitevője ismert, akkor az adott szerkezet légáteresztése a nyomáskülönbség függvényeként számítható ki.



3. kép – Az ajtókeretbe szerelt blower door műszer a mérés közben, készítette a szerző

Számos filtrációs modell az épület határolószervezetének repedésein illetve nyílásain átáramló légmennyiség és a nyomáskülönbség közötti empirikus (hatványtörvény) összefüggésen alapul. [129] A nyílásokon vagy csatornákon keresztül végbemenő légáramlás és az ehhez kapcsolódó összefüggés egy jól kutatott jelenség. [130] Fizikai szempontból feltételezzük, hogy az áramlási hatványkitevő várható értéke 0,5 (nyíláson keresztüli, döntően turbulens áramlás esetén) és 1,0 (teljesen kifejtett, lamináris áramlás esetén) között van. [131] Ez a funkcionális kapcsolat 10 Pa és 60 Pa közötti nyomáskülönbség esetén nagyon jól leírható a (12) egyenlettel.

$$Q = C \times \Delta p^n \quad (12)$$

ahol:

Q – a nyíláson keresztül áramló levegő mennyisége (m^3/s)

C – légáteresztési tényező ($\text{m}^3/\text{s}/\text{Pa}^n$)

Δp – nyomáskülönbség (Pa)

n – áramlási hatványkitevő (dimenzió nélküli mennyiség)

A blower door tesztek (12) egyenlet szerinti empirikus összefüggésének alkalmazása során esetenként 0,5-nél kisebb exponenciális értékeket is eredményezhetnek, mely fizikailag lehetséges. [132]

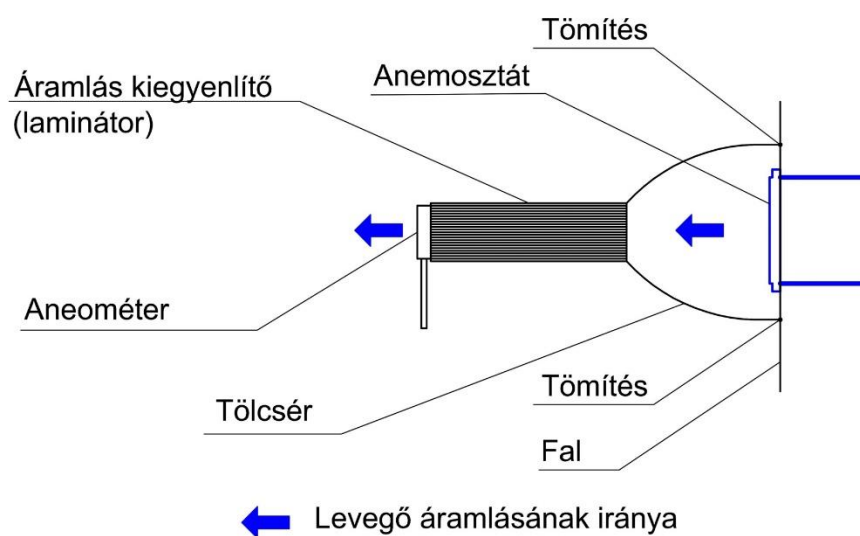
A műszer fő jellemzője, hogy rendkívül pontos nyomáskülönbség és térfogatáram méréseket tud végezni. A mérés során több, különböző nagyságú nyomáskülönbség fenntartásához szükséges levegőmennyiség mérését végzi a műszer, amely alapján a vizsgált tér szivárgási jellemzői meghatározhatók. A műszer hátránya, hogy bekerülési költsége magas, továbbá speciális célműszerként egyéb légtechnikai mérésekre (pl. beszabályozás során térfogatáram mérésére légszatórnában vagy végponti mérések elvégzésére) nem alkalmazható.

Az MSZ EN ISO 9972 szabvány szerint C és n értékét a legkisebb négyzetek módszerével kell meghatározni, melyhez a „ C ” *mellékletében* ad meg számítási módszert, mind túlnyomásos, mind a depresszív vizsgálatra külön-külön. A kapott értékeket kettős logaritmikus diagramban ábrázolják és a szabvány alkalmazásakor abban az esetben elfogadható, ha n értéke 0,5 és 1,0 közé esik, továbbá a determinációs együttható értéke legalább 0,98. [126, o. 5–6]

2.3.2. Légáteresztőkéesség meghatározása mérőtölcsérrel és szárnykerekű aneométerrel

A korábban ismertetettek szerint az MSZ EN ISO 9972 szabvány lehetőséget ad arra, hogy a szerkezetek légáteresztő képességének meghatározásához az épület beépített szellőzőrendszerét alkalmazzák. Ennek természetesen alapvető feltétele, hogy a szellőzőrendszer a kívánt légmennyiséget és nyomást biztosítani tudja, továbbá a bevezetett levegő mennyisége szabályozható legyen.

A 24. ábrán lévő elvi elrendezés egy olyan esetet szemléltet, amikor a vizsgálandó térbe a levegő bevezetése egy állítható légszelepen keresztül történik. Az anemosztát állításával a bevezetett levegő mennyisége növelhető vagy csökkenthető (4. kép).



24. ábra – A mérés elvi elrendezése mérőtölcsér alkalmazásával, készítette a szerző [67]



4. kép – A légszelep kézzel történő állításával az előtérbe bevezetett levegő mennyisége szabályozható, készítette a szerző

A határoló szerkezetek légzárásának függvényében a légszelep állításával különböző nyomások mellett lehet térfogatáramméréseket végezni. A mérés pontosságának növelése céljából alkalmazható (áramlásrendező) laminátor is, továbbá szükséges a tölcsér és a fal közötti megfelelő légtömorség biztosítása. A kívánt nyomásérték beállításakor a műszer nyomásvesztésére is tekintettel kell lenni, ezért a mért differenciálnyomás létrehozásához szükséges tényleges térfogatáramot kell rögzíteni.

A vizsgálat során egyidejűleg szükséges mérni a kialakuló nyomáskülönbséget és annak fenntartásához szükséges levegő mennyiségét, továbbá a környezeti jellemzőket (pl.: hőmérséklet). A légszelep szabályozásával több különböző nyomáskülönbség is létrehozható az előtéri légellátó rendszer kapacitásától függően. Fontos megjegyezni, hogy a méréseket csak a tölcsér teljesen felhelyezett állapotában szabad elvégezni, melynek a mérés során változatlanul kell maradnia.

A mérés megkezdése előtt tájékozódás céljából javasolható az előtéri ajtók csukott, de a rések szabad állapotában a légszelep teljesen nyitott állapotában mérést végezni, mely alapján becsülhető, hogy az adott légtechnikai rendszer alkalmas-e a vizsgálat elvégzésére.

Az előtéri ventilátor direkt üzemű legyen, szabályozott gépek esetén (pl. frekvenciaváltó) fix fordulatszámon üzemeltessék a ventilátor(oka)t.

A módszer előnye, hogy a szükséges műszerek (differenciálynomásmérő, szárnykerek aneométer, mérőtölcsér) bekerülési költsége relatív kedvezőbb, továbbá általános légtechnikai mérések elvégzésére is alkalmasak. A módszer hátrányaként említhető, hogy jellemzően csak pozitív nyomású szellőzés állítható elő, így depresszív tér létrehozására nem alkalmas, továbbá nagy körütekintést igényel a tölcsér és a fal közötti rés tömítése. Amennyiben az előtér légzárása túlságosan csekély, úgy a saját szellőzőrendszer nem biztos, hogy létre tudja hozni valamennyi kívánt túlnyomás értéket.

Ezzel a módszerrel elvégzett mérések eredményei a blower door mérésekhez hasonlóan nyomás-térfogatáram párokat eredményez, melyekből az (12) képletben szereplő C és n értéke becsülhető.

2.4. Az alkalmazott műszerek bemutatása

Tudományos igényességgel végzett mérések egyik alapfeltétele a megfelelő felbontású, pontosságú kalibrált mérőműszerek alkalmazása. A nem megfelelően megválasztott műszerek, vagy a műszer állapota miatt hibával terhelt mérések hamis eredményekhez vezethet. Mivel a vizsgálat célja a meglévő szabványos füstgátló teljesítményjellemzővel is rendelkező ajtók tényleges szivárgási felületének meghatározása, így a műszerek megválasztása is ennek megfelelően történt.

A beszerelt szellőztetési és légkondicionálási rendszerek átvételéhez kapcsolódó vizsgálati és mérési módszereket tartalmazó MSZ EN 12599 szabvány szerint a légsebesség méréseket különféle módszerekkel lehet elvégezni. Anemosztátok esetén az 5. képen látható tölcsérrel végzett mérés alkalmazható. [81, o. 13; 62] Laminátor alkalmazásával a légsebesség eloszlása szabályosabbá tehető.

A mérés során a falfelülethez szorított, gumitömítéssel ellátott mérőtölcsér irányítja a levegő áramlását a tölcsér kilépő pontjába beépített szárnykerek szondához. A szonda alapvetően légsebesség és hőmérséklet mérésére alkalmas, ugyanakkor a megfelelő alpműszerrel párosítva akár közvetlenül az aktuális térfogatáram is látható vagy szabvány térfogatáram számítható. A tölcsér lehet kerek vagy négyzetes kialakítású, melyet az anemosztát jellegétől és méretétől függően választanak meg.



5. kép – A levegő mennyiségének mérése mérőtölcsérrel és szárnykerekkes szondával, készítette a szerző [133]

A nyomáskülönbség mérés pontosságának növelése érdekében a nyomásérzékelésre szolgáló csövek vége T elágazó idommal lettek ellátva, mely csökkenti az esetleges dinamikus hatások okozta zavarokat. A befűjt levegő hőmérséklete mérhető a szárnykerekkes műszerbe épített termoelemmel. A vizsgált tér állapotjelzőinek rögzítése hődrótos szonda alkalmazásával is lehetséges. A tölcséres méréshez alkalmazott műszerek adatait a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat – a mérőtölcsérrel végzett mérések során alkalmazott műszerek jellemzői, szerkesztette a szerző

Mért jellemző	Felbontás	Pontosság
Nyomáskülönbség	0,001 hPa	$\pm(0,3 \text{ Pa} + \text{a mért érték } 1\%-a)$ $\pm 1 \text{ digit (0 ... 25 hPa)}$
Légsebesség	0,01 m/s	$\pm (0,1 \text{ m/s} + \text{a mért érték } 1,5 \%-a)$ (0,3-tól 20 m/s)
Hőmérséklet	0,1 °C	$\pm 0,5^\circ\text{C (} 25^\circ\text{C-on)}$
Mérőtölcsér készlet 0554 4173 alapműszerrel	0,1 m ³ /h (0-99 m ³ /h) 1 m ³ /h (100-440 m ³ /h)	-

Az ellenőrző mérésekhez blower door Duct Blaster B ventilátort és DG-1000 mikromanométert (6. kép) alkalmaztam. A Duct Blaster B ventilátor maximális légszállítása 50 Pa-nál 2395 m³/h. DG-1000 műszerre alkalmazva a pontossága a mért érték $\pm 3\%$, mely teljesíti a szabvány által elvárt $\pm 7\%$ pontosságot.



6. kép – DG-1000 digitális nyomás- és áramlásmérő felszerelt állapotban, készítette a szerző

DG-1000 digitális nyomás- és áramlásmérő pontossága a nyomásérték 0,9%-a vagy 0,12 Pa (amelyik nagyobb) a tipikus használati körülmények között, 0,1 Pa felbontással 1000 Pa-ig. Ez nagy biztonsággal teljesíti az MSZ EN ISO 9972 szabvány által elvárt ± 1 Pa pontosságot 0-100 Pa közötti méréstartományban.

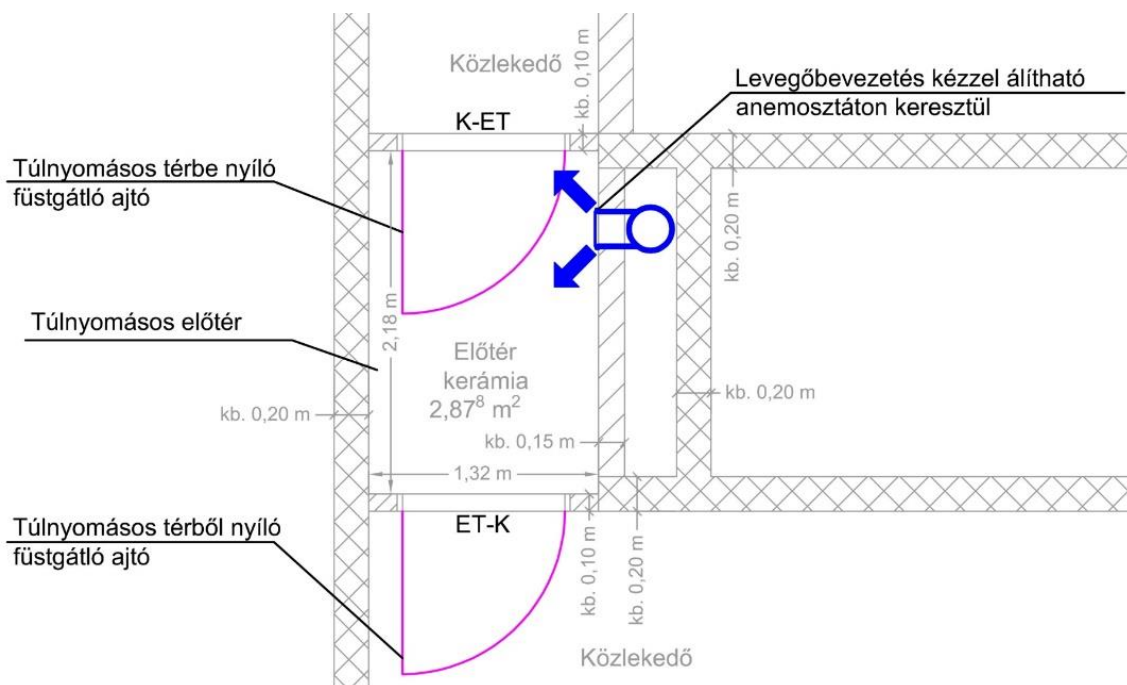
2.5. A vizsgált füstmentes előterek bemutatása

A vizsgálat tárgyát képező füstmentes előterek egy budapesti középmagas lakó alaprendeltetésű épületben találhatók. Az előtereket határoló vízszintes teherhordó szerkezet kb. 25 cm vastagságú monolit vasbeton födém, a padlón mázas kerámialap burkolattal. A határoló falszerkezetek részben 20 cm vastagságú monolit vasbeton falszerkezetek, a gépészeti akna felé 15 cm vastagságú mészhomok téglafalazat, míg a közlekedők irányába 10 cm vastagságú falazott szerkezetek. Az előtér belső oldala kb. 1,5 cm vastagságú cementhabarcs vakolatot kapott, festett felület.

Az előterek befűvását a tetőn elhelyezett axiálventilátor biztosította, mely a frisslevegőt szintenként juttatta az előterekbe kézzel szabályozható légszelepeken keresztül. Az anemosztátok padlószinttől mért magassága 2,0 m volt. A ventilátor tervezett munkapontja 2284 m³/h volt. A levegő a ventilátortól szerelt légcsatornán keresztül jutott el az előterekig.

Az előtér valamennyi szinten rendelkezett egy, az előtérbe nyíló és egy, az előtérből nyíló ajtóval. Az előtér alaprajzi elrendezését a 25. ábra szemlélteti. A tűz- és füstgátló ajtók gyártási éve 2013, a rendelkezésre álló dokumentumok alapján a vizsgálatuk az MSZ EN 1634-1:2009 [134] és az MSZ EN 1634-3:2005 [104] szabvány szerint történt. Osztályozásuk az MSZ EN 13501-2:2008 [135] szerint EI 60 S_m. A minősítő vizsgálatok során, laboratóriumi körülmények között, környezeti hőmérsékleten az ajtó szivárgási sebessége 9,4 m³/h volt. Az ajtók önműködő csukószerkezettel vannak ellátva C5 osztályba sorolva az MSZ EN 14600:2005 [136] szerint, mely 200 000 ciklusnak felel meg.

Az előterek szélessége 1,32 m, míg hosszuk 2,18 m volt. A szabad belmagasság 2,57 m. Az előtérbe nyíló (K-ET jelű) és az előtérből nyíló (ET-K jelű) ajtók névleges mérete és típusa megegyezett. Ugyanakkor az ajtószárny körüli szivárgási rés hossza az ütközőperemes ajtólap miatt kismértékben eltérő volt. Az előtérbe nyíló ajtó esetén a rés szélessége 0,98 m, magassága 2,073 m volt, míg az előtérből nyíló ajtó esetén a rés szélessége 0,92 m, magassága 2,05 m volt. Az ajtólap vastagsága 50 mm, mely automata küszöbvel és három oldalon körbefutó gumitömítéssel volt ellátva. Az ajtólap fegyverzetei melegen hengerelt, porszórt acéllemezek, ponthegeesztve, belül ásványgyapot hőszigeteléssel. A tok anyaga galvanizált és porszórt acél. Az ajtószárny 2 db MSZ EN 1935:2004 [137] szabványnak megfelelő csapágyas pánntal rendelkezik, melyek közül az egyik rugós. A kilincs fekete színű műanyag, acél belső maggal.



25. ábra – vizsgált előtér alaprajzi elrendezése, készítette a szerző [67]

A 8. táblázatban az előtereket határoló ajtók réseinek hosszát, a vízszintes felületek (padló, födém) és függőleges felületek (falak) összesített méretét tartalmazzák. Megjelenik továbbá az MSZ EN 12101-13 „A” mellékletének számítási módszerében a falakon és padlókon keresztül szivárgó levegő mennyiségének becslésére szolgáló hányados értéke is.

8. táblázat – Az előterek esetén figyelembe vett geometriai és légtömörség adatok, szerkesztette a szerző

Szerkezeti elem	Figyelembe vett érték
A túlnyomásos térbe nyíló (K-ET) ajtó réseinek hossza, továbbá az ajtó felülete	6,106 m 2,03 m ²
A túlnyomásos térből nyíló (ET-K) ajtó réseinek hossza továbbá az ajtó felülete	5,940 m 1,89 m ²
Vízszintes szerkezetek felülete	5,76 m ²
Függőleges szerkezetek felülete az ajtók nélkül	14,07 m ²
Résfelület hányad padlók esetén (MSZ EN 12101-13 szerint, átlagos tömörség)	5.2×10^{-5}
Résfelület hányad falak esetén (MSZ EN 12101-13 szerint, átlagos tömörség)	1.1×10^{-4}

2.6. Ajtók résein való légáramlás becslése

Számos megközelítési módszer létezik csukott ajtók résein átáramló levegő mennyiségének a becslésére a nyomáskülönbség függvényében. A következőkben az MSZ EN 12101-13:2022 szabvány, valamint a TvMI 3.6 ajánlása kerül bemutatásra.

2.6.1. Ajtók szivárgási felületének becslése az MSZ EN 12101-13 szabvány ajánlása alapján

A szabvány javaslata szerint, ha levegő áramlik egy nyíláson keresztül, akkor a térfogatáram a szivárgási felület és a nyíláson fellépő nyomáskeresés függvényében fejezhető ki a (13) egyenlet szerint [5, o. 64–65]

$$Q_{OPENING} = C_v \times A_{OPENING} \times \sqrt{\frac{2}{\rho}} \times (\Delta P)^{\frac{1}{R}} \quad (13)$$

ahol

$Q_{OPENING}$ – a nyíláson átáramló levegő (m^3/s)

C_v – a kiáramlási együttható (0,6 – 0,9); további adatok hiányában a nyomáskülönbséges rendszer számításaihoz 0,65-öt kell használni

$A_{OPENING}$ – a nyílás területe (m^2)

ΔP – a nyíláson fellépő nyomáskülönbség (Pa)

ρ – a levegő sűrűsége (kg/m^3); általában $1,2 kg/m^3$ értéket kell használni

R – az áramlási együttható (széles repedések esetén 2,0, keskeny szivárgási útvonalak esetén $R = 1,6$)

A (13) egyenlet segítségével, ha a szivárgási felület és a nyomáskülönbség ismert, meg lehet becsülni a résen átáramló levegő mennyiségét. Egy másik megközelítés szerint, ha ismerjük a résen átáramló levegő mennyiségét és a levegőt mozgató nyomáskülönbséget, akkor a rés szivárgási felületét is meg lehet becsülni. A szabvány táblázatos értékeket javasol a különböző ajtók, falak és padlók szivárgási felületének becsléséhez. Falak és padlók esetében R javasolt értéke 1,6, míg ajtók esetében 2.

A (13) egyenletben szereplő állandók összevonásával a (14) egyenlet használható a csukott ajtók résein keresztül átáramló levegő mennyiségének becslésére, míg a (15-16) egyenlet a falakon és padlókon átáramló levegő mennyiségének becslésére alkalmazható.

$$Q_{DOOR CLOSED} = 0,839 \times A_{DOOR CLOSED} \times \Delta P^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$$Q_{FLOOR} = 0,839 \times A_{FLOOR} \times \Delta P^{\frac{1}{1,6}} \quad (15)$$

$$Q_{WALL} = 0,839 \times A_{WALL} \times \Delta P^{\frac{1}{1,6}} \quad (16)$$

ahol

$Q_{DOOR CLOSED}$ – a csukott ajtó résein átáramló levegőmennyisége (m^3/s)

$A_{DOOR CLOSED}$ – a csukott ajtó résfelülete (m^2)

ΔP – a nyomáskülönbség (Pa)

Q_{FLOOR} – a padló résein átáramló levegőmennyisége (m^3/s)

A_{FLOOR} – a padló résfelülete (m^2)

Q_{WALL} – a fal résein átáramló levegőmennyisége (m^3/s)

A_{WALL} – a fal résfelülete (m^2)

A (14-16) egyenletekből a becsült szivárgási területek a (17-19) egyenletek szerint a nyomáskülönbség és a térfogatáram segítségével fejezhetők ki.

$$A_{FLOOR} = \frac{Q_{FLOOR}}{0,839 \times \Delta P^{\frac{1}{1,6}}} \quad (17)$$

$$A_{WALL} = \frac{Q_{WALL}}{0,839 \times \Delta P^{\frac{1}{1,6}}} \quad (18)$$

$$A_{DOOR CLOSED} = \frac{Q_{DOOR CLOSED}}{0,839 \times \Delta P^{\frac{1}{2}}} \quad (19)$$

ahol

A_{FLOOR} – a padló részfelülete (m²)

Q_{FLOOR} – a padló résein átáramló levegő mennyisége (m³/s)

ΔP – a nyomáskülönbség (Pa)

A_{WALL} – a falak részfelülete (m²)

Q_{WALL} – a falak résein átáramló levegő mennyisége (m³/s)

$A_{DOOR CLOSED}$ – a csukott ajtó részfelülete (m²)

$Q_{DOOR CLOSED}$ – a csukott ajtó résein átáramló levegőmennyisége (m³/s)

A fenti számításban, ha a levegő térfogatáram mérhető egy adott nyomáskülönbség mellett a falakon és a padlón (például az ajtórészek leragasztásával), akkor a falak és a padló teljes részfelülete becsülhető. Mivel C_v és R a falak és a padlók esetében megegyezik, a falak és a padlók összesített részfelülete a mért térfogatáramból a (17) és (18) képletek kombinálásával számítható ki. Átrendezés után a (20) összefüggést kapjuk, amelyből a falak és a padlók összesített részfelülete kifejezhető.

$$A_{WALL+FLOOR} = \frac{Q_{WALL} + Q_{FLOOR}}{0,839 \times \Delta P^{\frac{1}{1,6}}} \quad (20)$$

ahol

$A_{WALL+FLOOR}$ – a falak és a padló részfelülete (m²)

Q_{WALL} – a falak résein átáramló levegő mennyisége (m³/s)

Q_{FLOOR} – a padló résein átáramló levegő mennyisége (m³/s)

ΔP – a nyomáskülönbség (Pa)

Ha további mérést végzünk a vizsgált ajtóról eltávolítva a ragasztószalagot, akkor ebben a helyzetben mért térfogatáramot korrigálhatjuk a falakon és padlókon meghatározott légáramlással. Ezután megbecsülhető az ajtó szivárgási felülete.

Ez azért lehetséges, mert ezek az összetevők áramlási jellemzőikkel párhuzamos áramlási ellenállásokkal rendelkező elágazást képeznek, és mindkét ellenállásra közel ugyanaz a nyomáskülönbség hat. [138, o. 91–96] Vagyis ezesetben a teljes résfelület megegyezik az egyes elemek résfelületeinek összegével. [139, o. A4-3, A4-4]

Ha a levegő az ajtó résein is áramlik, akkor az exponenciális kitevő különbségét is figyelembe kell venni. Ha minden elemre közel ugyanaz a nyomáskülönbség hat, akkor csak az exponenciális kitevő különbözik. Így, ha ismerjük a falak és a padló teljes résfelületét, az ajtó résfelületét a (21) képlet szerint meghatározott teljes légáramlás alapján lehet kifejezni.

$$Q_{TOTAL} = 0,839 \times (A_{WALL+FLOOR} \times \Delta P^{\frac{1}{1,6}} + A_{DOOR CLOSED} \times \Delta P^{\frac{1}{2}}) \quad (21)$$

ahol

A_{TOTAL} – a levegő térfogatárama a falakon, padlón és ajtón keresztül (m^3/s)

$A_{WALL+FLOOR}$ – a falak és a padló résfelülete (m^2)

$A_{DOOR CLOSED}$ – a csukott ajtó résfelülete (m^2)

2.6.2. Ajtók fajlagos légáteresztési tényezőjének becslése a TvMI 3.6. ajánlása alapján

A hő és füst elleni védelem TvMI szerint füstmentes lépcsőház tervezésekor a (22) képlet segítségével a lépcsőházba bevezetendő levegőmennyiség kiszámításakor figyelembe kell venni a csukott nyílászárók résvesztését. [7, o. 51]

$$\dot{V} = c \cdot \Delta p^n \cdot l \quad (22)$$

ahol

$\dot{V}$ – a csukott nyílászáró szerkezet légvesztése (m^3/h)

$c = 1,11$ (S_a és S_{200} minősítésű nyílászárókra vonatkoztatva)

Δp – a nyílászáró két oldala közötti nyomáskülönbség (Pa)

$n = 0,67$ (S_a és S_{200} minősítésű nyílászárókra vonatkoztatva)

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

Ez az összefüggés hasonlóságot mutat a korábbi kutatásokban az ablaknyílásokon átáramló levegő mennyiségének meghatározásához használt képletekhez. [116], [140], [141]

A (22) egyenletet c segítségével kifejezve megkaphatjuk az ajtó fajlagos légáteresztési tényezőjét (réstényezőjét), ha ismerjük a nyílás két oldalának nyomáskülönbségét, a nyílás hosszát és a nyíláson átáramló levegő mennyiségét (23). Fontos megjegyezni, hogy a TvMI-ben szereplő hatványkitevő a nyílászárók réstényezőjénél alkalmazott 2/3-os érték kerekítése.

$$c = \frac{\dot{V}}{\Delta p^{n \cdot l}} \quad (23)$$

ahol

c – fajlagos légáteresztési tényező, $n=0,67$ esetén ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}\text{Pa}^{-0,67}$)

$\dot{V}$ – a csukott nyílászáró szerkezet légvesztése (m^3/h)

Δp – a nyílászáró két oldala közötti nyomáskülönbség (Pa)

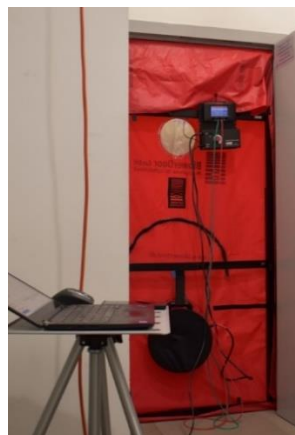
$n = 0,67$ (S_a és S_{200} minősítésű nyílászárókra vonatkoztatva)

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

2.7. A különböző módszerekkel végzett mérések eredményeinek összehasonlítása

Korábbi vizsgálatban az egyszárnyú füstgátló ajtók résvesztését vizsgálták, mely mérések eredményeiből számos következtetést vonható le. [67] A kísérletek során a túlnyomásos füstmentes előterek effektív résméretének meghatározására mérőtölcséres mérési eljárást alkalmaztam. Annak érdekében, hogy a módszer pontosságát validálni lehessen, a mérőtölcséres mérést megelőzően blower door mérést is végeztem ugyanazon túlnyomásos füstmentes előtéren.

Ahogy korábban már bemutatásra került, a blower door mérési módszer alkalmazható szerkezetek légáteresztő képességének vizsgálatára. A blower door műszerrel végzett mérések során a műszert a validálásra használt túlnyomásos füstmentes előtér egyik ajtajába építettük be (7. kép). Ekkor az előtér saját légellátó rendszeréhez tartozó befűvő anemosztátja légtömör módon lezárásra került, így a blower door műszer által befűjt levegő az előteret határoló szerkezeteken és a csukott ajtó résein keresztül szivárgott. Ezután a túlnyomás létrehozásához szükséges levegőmennyiség 10 Pa és 75 Pa közötti tíz különböző nyomáskülönbség esetén lett megmérve.

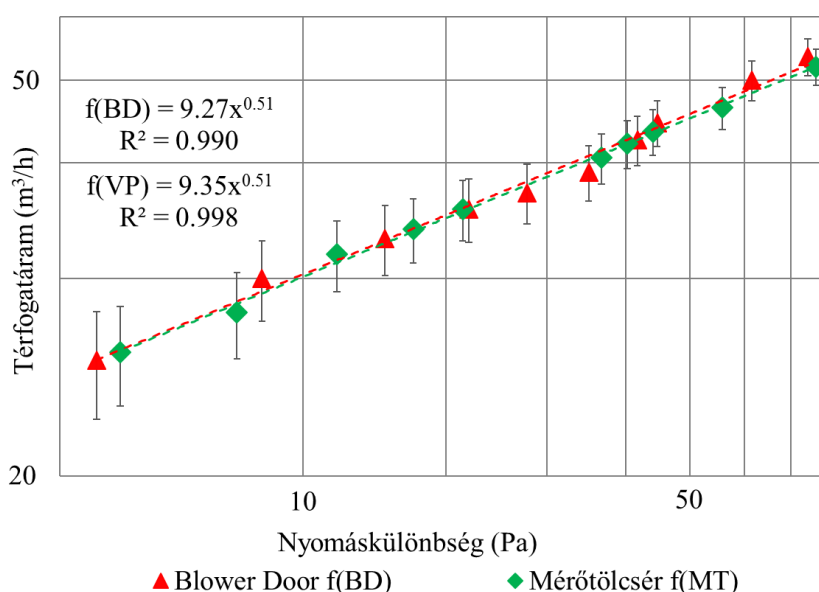


7. kép – a nyitott ajtó tokjába épített blower door műszer mérés közben, készítette a szerző

[67]

Ezt követően a blower door műszer eltávolításra került, a műszert befogadó ajtó csukott állapotában a rések légtömören lezárásra kerültek, továbbá az előtéri befúvó anemosztát légtömör lezárása megszüntetésre került. Ezt követően a mérőtölcsérrel és szárnykerekesszondával a befúvó légszelep kézzel történő szabályozása mellett különböző túlnyomás értékek tartásához szükséges levegőmennyiség rögzítésre került. A mérés ezen elrendezése a blower door műszeres mérésekkel azonos feltételeket teremtett a szerkezetek és az ajtó réseinek tekintetében.

Mindkét mérés során a levegő a vizsgált szerkezeteken és az ajtón keresztül áramlott. A mérések célja annak bizonyítása volt, hogy a két különböző módszer azonos körülmények között hasonló eredményeket ad. Ennek értékeléséhez a két mérési sorozatot egy nyomás-térfogatáram diagramon ábrázoltam. A legkisebb négyzetek módszerével meghatározásra került (12) szerinti C és n értékek mindkét mérési sorozat esetében. Ezen kívül kiszámítottam a két mérési sorozat determinációs együtthatóját. A két különböző módszerrel végzett mérések eredményeit a 26. ábra szemlélteti.



26. ábra – mérési eredmények összehasonlítása, készítette a szerző [67]

Az épületet határoló szerkezetek minden nyílását gyakran a (12) egyenletben szereplő hatványegyenlet írja le. [142, o. 16.15.] A (12) egyenletet alkalmazva a két mérési sorozat exponenciális kitevője azonosnak bizonyult, 0,51. A kapott C és n értékeket a vizsgált nyomástartományban az exponenciális összefüggés jól leírta, az n értékek 0,5 és 1 között voltak, a várakozásoknak megfelelően.

Ez arra utal, hogy a mérések során turbulens áramlások domináltak. Az áramlási együttható értéke is közel azonos, ami arra utal, hogy a két különböző mérési módszerrel azonos körülmények között végzett mérés eredményei jól egyeznek.

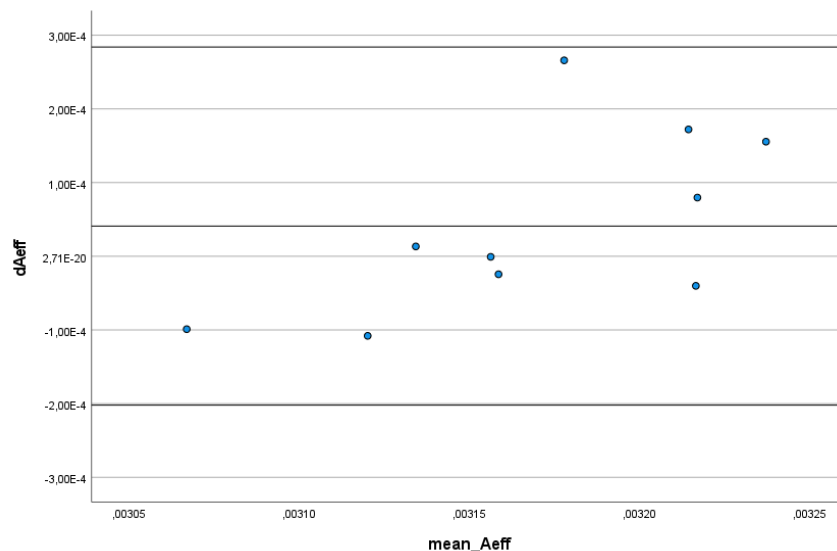
A fentiekben leírt modell paramétereit lineáris regresszióval határoztam meg a mért értékek logaritmikus transzformációját követően SPSS Statistic program felhasználásával annak érdekében, hogy a két mérési módszer paramétereit statisztikailag összehasonlíthatók legyenek. Mindkét esetben a (12) összefüggés került felhasználásra. A hatványfüggvények regressziós paramétereit és a regressziós paraméterek becsült szórása $\pm 1\sigma$ intervallumban a 9. táblázat tartalmazza, ahol $\sigma C = C \times \sigma \ln C$. A C paraméter konfidenciaintervallumát $\ln C$ paraméter intervallumának exponenciáljaként vettem figyelembe, mivel az intervallum meghatározása $\ln(C)$ skálán történt.

9. táblázat – paraméterek bizonytalanságának becslése, szerkesztette a szerző

Módszer	Paraméter	Érték	95% konfidencia-intervallumban
Blower door	n	$0,511 \pm 0,018$	[0,470;0,553]
Mérőtölcsér	n	$0,505 \pm 0,009$	[0,485;0,525]
Blower door	$\ln C$	$2,226 \pm 0,064$	[2,079;2,374]
Mérőtölcsér	$\ln C$	$2,235 \pm 0,031$	[2,165;2,306]
Blower door	C	$9,27 \pm 0,593$	[7,996;10,740]
Mérőtölcsér	C	$9,35 \pm 0,290$	[8,715;10,034]

A két módszerben C és n paramétereit statisztikailag nem különböztek, a különbségek a mérési bizonytalanságon belül vannak.

A két mérési sorozatot összehasonlítottam *Bland és Altman* által kidolgozott statisztikai módszerrel is. [143] A módszer grafikonon ábrázolja a kétféle méréssel meghatározott (13) képlettel számított részméreték különbségét az átlagukhoz viszonyítva. A részméreték eltérésének átlaga $4,1 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, míg az eltérés $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Az elfogadási tartományt ez alapján $[-2,02 \times 10^{-4}; 2,84 \times 10^{-4}]$, melyen belül helyezkednek el az értékek, a szisztematikus eltérés abszolút értéke az átlagos részmérethez képest relatív alacsony, 1,3%, melyet elfogadhatónak tartottam (27. ábra).



27. ábra – eredmények ábrázolása Bland-Altman-féle ábrán, készítette a szerző SPSS Statistic szoftverrel

Ugyan a vizsgálatokat csak statisztikailag kis elemszámon volt lehetőség elvégezni, a paraméterek hasonlósága és a résméretre végzett *Bland-Altman analízis* alapján úgy ítélt meg, hogy a blower door műszerrel és a tölcséres méréssel végzett mérési eljárások konzisztensek.

Ez azt jelzi, hogy a túlnyomásos füstmentes előterek saját szellőzőrendszere és a szárnykerekesszondával ellátott mérőtölcsér megfelelő lehet a légáteresztőképesség vizsgálatához.

2.8. Egyszárnyú füstgátló ajtó szivárgási felületének becslése

A vizsgálatok során négy kivétellel az épület valamennyi túlnyomásos füstmentes előterének mérése elvégzésre került. A korábban ismertetett számítási módszer alkalmazásához minden előtérben három mérési sorozat elvégzése volt szükséges. A mérések elvégzésekor feltételeztem, hogy a ragasztószalagon keresztül történő légáramlás elhanyagolható a ragasztószalaggal el nem látott réseken átáramló levegő mennyiségéhez képest (8. kép). A mérési elrendezések az alábbiak voltak:

1. Mindkét ajtó rései leragasztva, ekkor a levegő a szerkezeti réseken keresztül áramlik.
2. A K-ET ajtó rései nincsenek leragasztva, ET-K ajtó rései leragasztott állapotban vannak, ekkor a levegő a szerkezeti réseken és a K-ET ajtó résein keresztül áramlik.
3. A ET-K ajtó rései nincsenek leragasztva, K-ET ajtó rései leragasztott állapotban vannak, ekkor a levegő a szerkezeti réseken és a ET-K ajtó résein keresztül áramlik.



8. kép – Mérésre előkészített ajtó a lineáris rések leragasztott állapotában, készítette a szerző

2.8.1. Határoló szerkezetek szivárgási felületének mérésekkel történő meghatározása

A mérések 10–15–25–50–75 Pa nyomáskülönbség mellett kerültek elvégzésre. Ebben a vizsgálatban az előteret határoló ajtók rései le voltak ragasztva. A megadott nyomáskülönbség fenntartásához szükséges levegőmennyiség a kézzel állítható légszeleppel került beállításra. Rögzítésre került a befűvott levegő térfogatárama, a létrehozott nyomáskülönbség és a környezeti jellemzők.

A kapott nyomáskülönbség és térfogatáram párokból a túlnyomásos füstmentes előtereket körülvevő szerkezetek becsült résfelülete a (20) egyenlet alapján határozható meg. A gyakorlatban ez a falak és padlók összes felületét jelenti. A 10. táblázat összefoglalja az egyes előterekhez kiszámított szerkezeti szivárgási felületeket.

10. táblázat –A határoló szerkezetek mérésekkel meghatározott szivárgási felülete,
szerkesztette a szerző

Előtér	Falak + padlók átlagos szivárgási felülete (m ²)	Szórás	95%-hoz tartozó konfidencia intervallum
6.emelet, A oldal	0,001067	$4,63 \times 10^{-5}$	[0,001061; 0,001072]
6.emelet, B oldal	0,001285	$7,97 \times 10^{-5}$	[0,001186; 0,001384]
5.emelet, A oldal	0,001084	$4,08 \times 10^{-5}$	[0,001033; 0,001134]
5.emelet, B oldal	0,001108	$3,65 \times 10^{-6}$	[0,001097; 0,001118]
4.emelet, A oldal	0,001261	$9,08 \times 10^{-5}$	[0,001149; 0,001374]
4.emelet, B oldal	0,001151	$1,58 \times 10^{-6}$	[0,001149; 0,001152]
3.emelet, A oldal	0,001087	$4,51 \times 10^{-5}$	[0,001031; 0,001143]
3.emelet, B oldal	0,001145	$1,15 \times 10^{-5}$	[0,001130; 0,001159]
2.emelet, A oldal	0,001123	$3,27 \times 10^{-5}$	[0,001083; 0,001164]
2.emelet, B oldal	0,001043	$3,20 \times 10^{-5}$	[0,001003; 0,001083]
1.emelet, B oldal	0,001055	$3,88 \times 10^{-5}$	[0,001007; 0,001103]
Átlag	0,00113	$7,97 \times 10^{-5}$	[0,001075; 0,001182]

A 10. táblázatban az egyes előtereknél meghatározott résfelület az adott előtér összesített résfelületét jelenti. Minden előtér esetén a 10-75 Pa közötti nyomáspontokon mért térfogatáram és nyomáskülönbség értékekből a (20) egyenlettel a szivárgási felület meghatározásra került és a páronként számított szivárgási felületek nyomásszintenként lettek átlagolva. Vagyis az előtér szivárgási felülete az öt, független becslés átlagaként lett meghatározva. Az előterekhez tartozó szórás és konfidencia intervallum értékek az adott előtér mind az öt nyomáskülönbség szinten elvégzett mérésére vonatkozik, ugyanakkor az adott nyomásszinten belüli ismételt mérési sorok nem kerültek független mintaként figyelembe vételre a pontosság túlbecslésének elkerülése végett.

A 11 db előtérre vonatkoztatott összesített, átlagos szivárgási felület (0,00113 m²) és annak 95%-os konfidencia intervalluma – melyhez az elemszám miatt Student-féle eloszlást alkalmazása volt indokolt – az egyes előterekre meghatározott szivárgási felületekből lett meghatározva. Az így számított szórás az előterek közötti geometriai és légtömörségi különbségeket jellemzi, nem pedig a mérés pontosságát.

A vizsgált előcsarnokok falfelülete $14,07 \text{ m}^2$, míg a teljes padló- és mennyezetfelület $5,76 \text{ m}^2$ volt. Ezeknek az értékeknek a felhasználásával össze lehet hasonlítani, hogy a mért értékek mennyire egyeznek az MSZ EN 12101-13 szabványban a falak és padlók esetén ajánlott szivárgási felületek értékeivel. A szabvány szerint a lépcsőház falainak szivárgási felületaránya $1,1 \times 10^{-4}$, míg a padlóké $5,2 \times 10^{-5}$ átlagos légtömörséget feltételezve. Ezeket az értékeket figyelembe véve, a szabványban javasolt becslési módszer alkalmazásával túlnyomásos füstmentes előterek becsült fal- és padlóterülete a (24) és (25) képletekkel számítható ki. [5]

$$A_{LW} + A_{LF} = \left(\frac{A_{LW}}{A_{WALL}} \right) \times A_{WALL} + \left(\frac{A_{LF}}{A_{FLOOR}} \right) \times A_{FLOOR} \quad (24)$$

$$A_{LW} + A_{LF} = 1,1 \times 10^{-4} \times 14,07 \text{ m}^2 + 5,2 \times 10^{-5} \times 5,76 \text{ m}^2 = 0,00185 \text{ m}^2 \quad (25)$$

ahol

A_{LW} – a falak résfelülete (m^2)

A_{LF} – a padlók résfelülete (m^2)

A_{LW}/A_{WALL} – a falak réshányada, dimenzió nélküli

A_{LF}/A_{FLOOR} – a padló réshányada, dimenzió nélküli

A_{WALL} – a falak felülete (m^2)

A_{FLOOR} – a padlók felülete (m^2)

Fenti számításból látható, hogy a szabvány alapján becsült $0,00185 \text{ m}^2$ szivárgási felület nagyságrendileg összehasonlítható a mérésekből számított értékkel.

A mérések alapján meghatározott légtömörség a szabvány által ajánlott „tömör” és „átlagos” tartományok között helyezkedik el, amely szintén összevethető a ténylegesen beépület vasbeton szerkezetek és vakolt, falazott szerkezetek értékeivel.

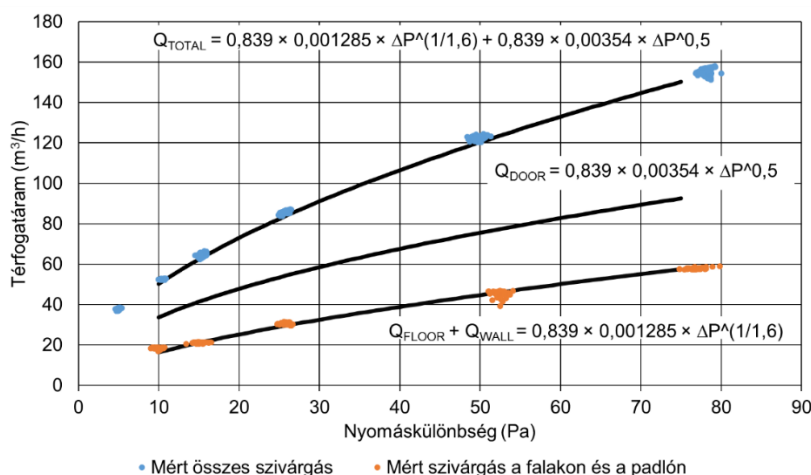
2.8.2. Ajtók szivárgási felületének mérésekkel történő meghatározása

A további mérési sorozatokban a vizsgált ajtó résein és a határolószerkezeten keresztül egyidejűleg áramló levegő mennyisége és az ekkor kialakuló relatív túlnyomás került rögzítésre. Tekintettel arra, hogy az adott előtér határoló szerkezeteinek szivárgási felületére vonatkozó adat rendelkezésre áll a (21) egyenletből a csukott ajtó szivárgási felülete kifejezhető. Az ajtók vizsgálatakor az alkalmazott nyomáskülönbségek 5–10–15–25–50–75 Pa értékek voltak. Ebben a vizsgálati elrendezésben azért volt lehetséges a helyiség légtömörség mérésénél kisebb relatív túlnyomás alkalmazása is, mivel a nagyobb szivárgási felületen kisebb nyomás által létrehozott térfogatáram is regisztrálható volt.

Ezen vizsgálatban annak az ajtónak a rései, melynek a szivárgási felületét határozzuk meg, nincsenek leragasztva, míg a másik ajtó rései körben le vannak zárva. Ekkor tehát a

légszelepen belépő levegő egy része – a már korábban ismertettek szerint – a szerkezeteken, míg másik része a vizsgált ajtó résein keresztül áramlik a túlnyomás alá helyezett térből kifelé. Ezeken a szivárgási útvonalakon áramló levegő mennyiségét 5–75 Pa közötti nyomáskülönbség mellett mértem.

A 28. ábra szemlélteti a szerkezeteken átáramló levegő mennyiségét ($Q_{FLOOR} + Q_{WALL}$), a vizsgált ajtó résein keresztül átáramló levegő mennyiségét (Q_{DOOR}) és e két mennyiség összegét (Q_{TOTAL}) az egyik túlnyomásos füstmentes előtérben különböző nyomáskülönbségek mellett. A számított szivárgási felület ebben az előtérben $0,001285 \text{ m}^2$ volt, a szerkezeteken (falak, padló) átáramló levegő mennyiségének mérése alapján. Ha megmérjük a szerkezeteken és az ajtórésekben átáramló levegő mennyiségét, és ismerjük a szerkezetek szivárgási felületét, akkor az ajtó szivárgási felülete ebben az esetben $0,00354 \text{ m}^2$. Ezzel a szivárgási felülettel ábrázolható az ajtórésekben átáramló levegő mennyiségének (Q_{DOOR}) nyomásfüggése. Ezt a mérési sorozatot az összes vizsgált túlnyomásos füstmentes előtér összes ajtaján el kellett végezni, így összesen 11 előtér és 22 ajtó került vizsgálatra.



28. ábra – Mért differenciálynomás és térfogatáram értékek, valamint becsült szivárgási felületek az „A” oldal 6. emeleti előterében, készítette a szerző [67]

A nyitási irányok aránya 50–50%, azaz a vizsgált mintában fele-fele arányban fordultak elő a túlnyomásos térbe nyíló és a túlnyomásos térből nyíló ajtók. Ennek azért van kiemelt jelentősége, mert a szivárgási felületekre vonatkozó ajánlások különbséget tesznek attól függően, hogy az ajtó a túlnyomásos térbe vagy a túlnyomásos térből nyílik. Ezzel szemben a füstgátló ajtókra vonatkozó vizsgálatban az ajtónak nyitásiránytól függetlenül kell teljesítenie az elvárt légzárási paramétereket. A 11-12. táblázatban a túlnyomásos előterekben végzett mérések eredményei alapján az ajtók számított szivárgási felület értékeit foglaltam össze a nyitásiránytól függően.

11. táblázat – A túlnyomásos térbe nyíló, egyszárnyú füstgátló ajtók szivárgási felülete a mérések alapján, szerkesztette a szerző

Ajtó beépítési helye	Átlagos szivárgási felület [m ²]	Szórás	95%-hoz tartozó konfidencia intervallum
6.emelet, A oldal	0,00315	$1,23 \times 10^{-4}$	[0,003009; 0,003292]
6.emelet, B oldal	0,00354	$1,76 \times 10^{-4}$	[0,003334; 0,003739]
5.emelet, A oldal	0,00331	$5,38 \times 10^{-5}$	[0,003250; 0,003374]
5.emelet, B oldal	0,00376	$5,02 \times 10^{-5}$	[0,003704; 0,003819]
4.emelet, A oldal	0,00325	$1,10 \times 10^{-4}$	[0,003120; 0,003374]
4.emelet, B oldal	0,00391	$7,16 \times 10^{-6}$	[0,003898; 0,003914]
3.emelet, A oldal	0,00326	$6,67 \times 10^{-5}$	[0,003184; 0,003337]
3.emelet, B oldal	0,00358	$5,75 \times 10^{-5}$	[0,003509; 0,003642]
2.emelet, A oldal	0,00378	$7,05 \times 10^{-5}$	[0,003699; 0,003861]
2.emelet, B oldal	0,00523	$2,44 \times 10^{-4}$	[0,004952; 0,005512]
1.emelet, B oldal	0,00400	$2,13 \times 10^{-4}$	[0,003801; 0,004290]
Átlag	0,00371	$5,81 \times 10^{-4}$	[0,003320; 0,004097]

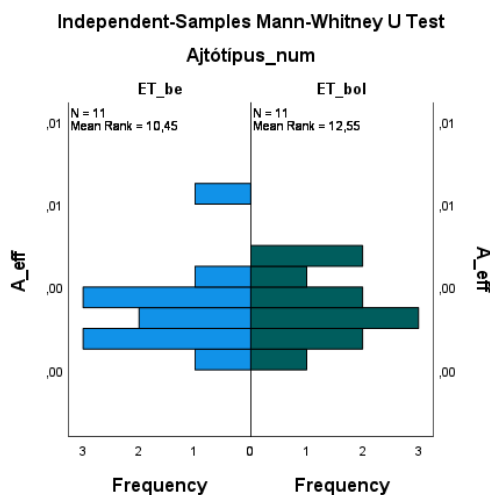
12. táblázat – A túlnyomásos térből nyíló, egyszárnyú füstgátló ajtók szivárgási felülete a mérések alapján, szerkesztette a szerző

Ajtó beépítési helye	Átlagos szivárgási felület [m ²]	Szórás	95%-hoz tartozó konfidencia intervallum
6.emelet, A oldal	0,00428	$5,77 \times 10^{-5}$	[0,004211; 0,004344]
6.emelet, B oldal	0,00367	$1,44 \times 10^{-4}$	[0,003502; 0,003832]
5.emelet, A oldal	0,00372	$5,49 \times 10^{-5}$	[0,003661; 0,003787]
5.emelet, B oldal	0,00379	$2,49 \times 10^{-5}$	[0,03759; 0,003817]
4.emelet, A oldal	0,00346	$6,39 \times 10^{-5}$	[0,003387; 0,003534]
4.emelet, B oldal	0,00442	$2,57 \times 10^{-5}$	[0,004391; 0,004450]
3.emelet, A oldal	0,00340	$5,14 \times 10^{-5}$	[0,003337; 0,003456]
3.emelet, B oldal	0,00373	$8,76 \times 10^{-5}$	[0,003633; 0,003834]
2.emelet, A oldal	0,00382	$1,34 \times 10^{-4}$	[0,003667; 0,003975]
2.emelet, B oldal	0,00424	$2,03 \times 10^{-4}$	[0,004010; 0,004475]
1.emelet, B oldal	0,00312	$2,01 \times 10^{-4}$	[0,002920; 0,003379]
Átlag	0,00379	$3,97 \times 10^{-4}$	[0,003520; 0,004053]

A 11-12. táblázatban szereplő mérési eredmények alapján az egyszárnyú füstgátló ajtók szivárgási felülete átlagosan $0,00375 \text{ m}^2$ volt. A mért értékek nem mutattak szignifikáns különbséget attól függően, hogy az ajtók a túlnyomásos füstmentes előtérbe, vagy a túlnyomásos füstmentes előtérből nyíltak-e.

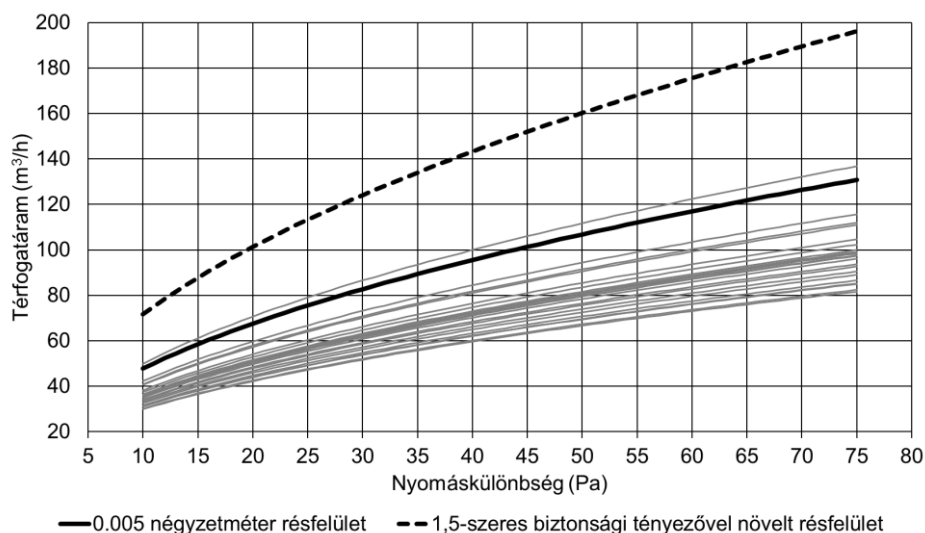
A mérés eredményeinek kiértékeléséhez SPSS Statistic programot alkalmaztam. A vizsgálat célja annak meghatározása volt, hogy az ajtók szivárgási felülete független-e a nyitásiránytól. Két csoportot határoztam meg: a túlnyomásos térbe nyíló ajtókét (N=11) és a túlnyomásos térből nyíló ajtókét (N=11). Első lépésben el kellett dönteni, hogy a mérési eredmények normális eloszlást követnek-e vagy sem. Ehhez *Shapiro-Wilk tesztet* alkalmaztam, mivel ez nagy hatékonysággal képes kimutatni a normál eloszlástól való eltéréseket. [144, o. 562] Az eredmény alapján a túlnyomásos térbe nyíló ajtók esetén a normális eloszlás nem volt bizonyítható ($p=0,03$).

A kétféle nyitásirányból származó részméretek összehasonlítására ezután *Mann-Whitney próbát* végeztem, mivel ez nem igényli az eloszlások normalitását. Az eredmény alapján ($U=72$, $Z=0,755$ és $p=0,487$) a vizsgált minta vonatkozásában nem volt kimutatható szignifikáns különbség az ajtók szivárgási felületében a nyitásirány függvényében (29. ábra).



29. ábra – Mann-Whitney teszthez tartozó kettős hisztogram a szivárgási felületek eloszlásának szemléltetésére a két csoportban, készítette a szerző SPSS Statistic programmal

Egy $0,005 \text{ m}^2$ szivárgási felülethez tartozó nyomáskülönbség-térfogatóram görbe grafikonon történő ábrázolása jól szemlélteti a levegő szivárgásának mért értékeit, illetve azt, hogy ezen érték mennyire fedi le a vizsgálatok alapján becsült szivárgási felületek által okozott veszteséget (30. ábra).



30. ábra – A vizsgált ajtók becsült résvesztése a nyomáskülönbség függvényében, készítette a szerző [67]

A vizsgált füstgátló ajtók esetében a kapott érték kisebb, mint az általánosan ajánlott $0,01 \text{ m}^2$ és $0,02 \text{ m}^2$ szivárgási felületek. Meg kell jegyezni, hogy a szabványban javasolt 50%-os tűréshatár alkalmazásával biztonságosan megtervezhető egy nagyobb szivárgási értékű ajtó is. A 30. ábra a 10–75 Pa nyomáskülönbség mellett a vizsgált ajtók becsült légáteresztését szemlélteti. A vastag folytonos vonal a javasolt résmérethez kapcsolódó résvesztést jelöli, míg a vastag szaggatott vonal a 50%-os biztonsági tényezővel növelt térfogatáramot jelöli.

2.8.3. Ajtók fajlagos légáteresztési tényezőjének mérésekkel történő becslése

A mérési sorozatokból származó nyomáskülönbség és térfogatáram értékek felhasználásával, az ajtók réshossza alapján meghatározható egy adott ajtó fajlagos légáteresztési tényezője. A réstényező leírja, hogy egységnyi nyomáskülönbség hatására mennyi levegő áramlik át egy ablak- vagy ajtó 1 méter hosszúságú résén.

Az ajtók résein keresztül szivárgó levegő térfogatárama hatványfüggvény segítségével közelíthető, mivel ismert különböző nyomáskülönbségek esetén az előtér szerkezetén átáramló levegő mennyisége. Az ajtón átáramló levegő térfogatárama az ajtón és az előteret határoló szerkezetek egészen átáramló levegő térfogatáramának és a szerkezeten átáramló levegő térfogatáramának a különbségeként becsülhető meg.

Minden ajtó esetében a résvesztés tényezőt a TvMI 3.6. által javasolt számítási eljárás figyelembevételével határoztam meg a (23) képlet alapján. A számított értékeket a 13-14. táblázatok tartalmazzák.

13. táblázat – becsült résveszteség tényezők a túlnyomásos térbe nyíló ajtók esetén a mérési eredmények alapján, szerkesztette a szerző

Ajtó beépítési helye	Fajlagos légáteresztési tényező [$\text{m}^3/(\text{hmPa}^{0,67})$]	Szórás	95%-hoz tartozó konfidencia intervallum
6.emelet, A oldal	0,99	0,198	[0,761; 1,216]
6.emelet, B oldal	1,08	0,180	[0,869; 1,226]
5.emelet, A oldal	1,02	0,176	[0,820; 1,440]
5.emelet, B oldal	1,19	0,219	[0,936; 1,440]
4.emelet, A oldal	0,99	0,159	[0,808; 1,173]
4.emelet, B oldal	1,19	0,185	[0,978; 1,403]
3.emelet, A oldal	1,00	0,168	[0,810; 1,197]
3.emelet, B oldal	1,05	0,126	[0,906; 1,196]
2.emelet, A oldal	1,16	0,197	[0,937; 1,391]
2.emelet, B oldal	1,57	0,281	[1,247; 1,894]
1.emelet, B oldal	1,18	0,216	[0,937; 1,433]
Átlag	1,13	0,168	[1,016; 1,242]

A 13. táblázatban szereplő ajtók esetén a rés hossza 6,106 m, míg az ajtók felülete 2,03 m² volt.

14. táblázat – becsült résveszteség tényezők a túlnyomásos térből nyíló ajtók esetén a mérési eredmények alapján, szerkesztette a szerző

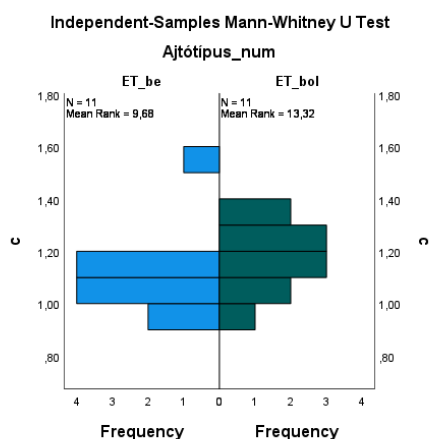
Ajtó beépítési helye	Fajlagos légáteresztési tényező [$\text{m}^3/(\text{hmPa}^{0,67})$]	Szórás	95%-hoz tartozó konfidencia intervallum
6.emelet, A oldal	1,39	0,266	[1,082; 1,693]
6.emelet, B oldal	1,15	0,181	[0,939; 1,356]
5.emelet, A oldal	1,18	0,213	[0,937; 1,428]
5.emelet, B oldal	1,22	0,221	[0,971; 1,478]
4.emelet, A oldal	1,09	0,164	[0,900; 1,277]
4.emelet, B oldal	1,38	0,223	[1,122; 1,636]
3.emelet, A oldal	1,06	0,161	[0,872; 1,243]
3.emelet, B oldal	1,13	0,167	[0,940; 1,325]
2.emelet, A oldal	1,21	0,221	[1,059; 1,467]

2.emelet, B oldal	1,29	0,120	[1,149; 1,425]
1.emelet, B oldal	0,95	0,178	[0,745; 1,154]
Átlag	1,19	0,133	[1,097; 1,276]

A 14. táblázatban szereplő ajtók esetén a rés hossza 5,940 m, míg az ajtók felülete 1,89 m² volt. Az eredmények azt mutatják, hogy nincs jelentős különbség a *c* értékében az előtérbe nyíló ajtók és az előtérből nyíló ajtók esetében. Az értékek 95,5%-a az átlagérték két szórásán belül van.

A mérés eredményeinek kiértékeléséhez ebben az esetben is SPSS Statistic programot alkalmaztam. A vizsgálat célja annak meghatározása volt, hogy az ajtók fajlagos légáteresztési tényező értéke független-e a nyitásiránytól. Két csoportot határoztam meg: a túlnyomásos térbe nyíló ajtókét (N=11) és a túlnyomásos térből nyíló ajtókét (N=11). Első lépésben ebben az esetben is el kellett dönteni, hogy a mérési eredmények normális eloszlást követnek-e vagy sem. Ehhez *Shapiro-Wilk tesztet* alkalmaztam, mivel ez nagy hatékonysággal képes kimutatni a normál eloszlástól való eltéréseket. [144, o. 562] Az eredmény alapján a túlnyomásos térbe nyíló ajtók esetén a normális eloszlás nem volt bizonyítható ($p=0,004$).

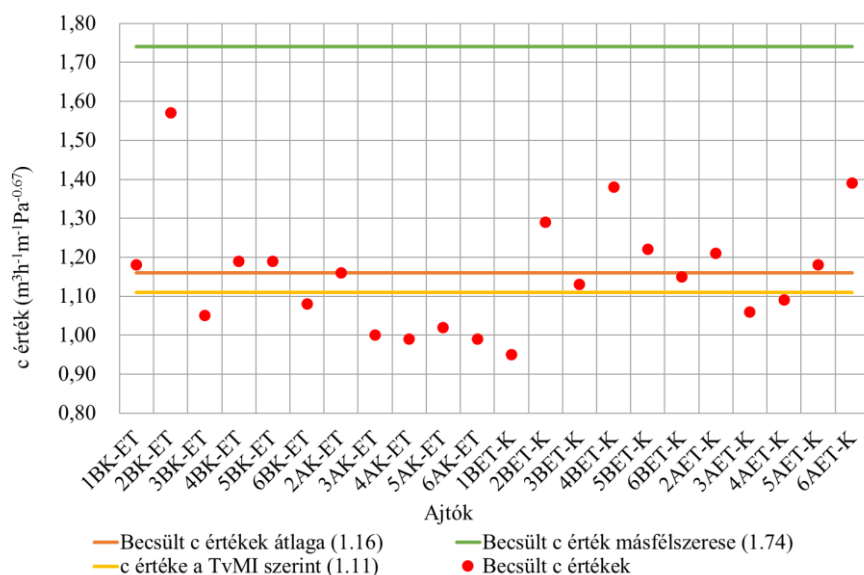
A kétféle nyitásirányból származó résméretek összehasonlítására ezután *Mann-Whitney próbát* végeztem, mivel ez nem igényli az eloszlások normalitását. Az eredmény alapján ($U=80,5$, $Z=1,314$ és $p=0,193$) a vizsgált minta vonatkozásában nem volt kimutatható szignifikáns különbség az ajtók effektív résméretének a nyitásirány függvényében (31. ábra).



31. ábra – Mann-Whitney teszthez tartozó kettős hisztogram a fajlagos légáteresztési tényezők eloszlásának szemléltetésére a két csoportban, készítette a szerző SPSS Statistic programmal

A 32. ábra a vizsgált ajtók *c* értékének számított értékét mutatja. A 32. ábrán a narancssárga folytonos vonal a számított értékek átlagát (1,16), míg a sárga folytonos vonal a

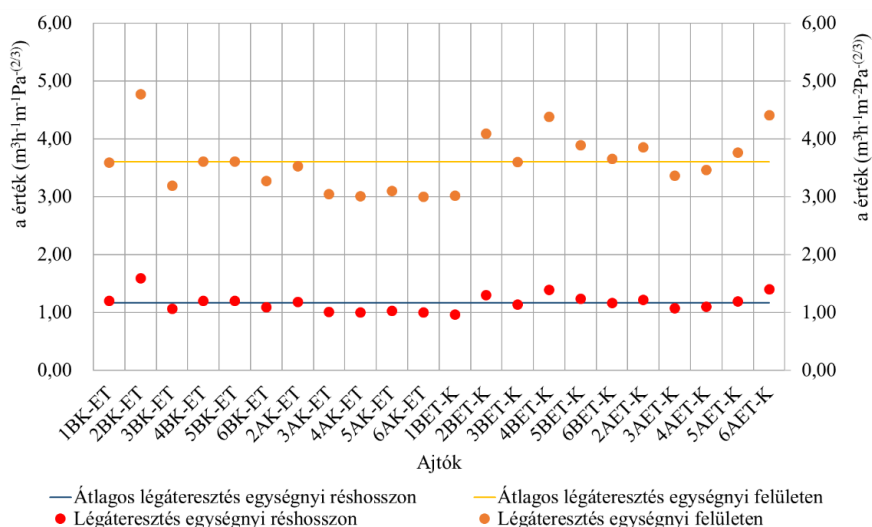
TvMI által javasolt c értéket (1,11) mutatja. Látható, hogy néhány mért érték meghaladja a jelenleg javasolt 1,11 értéket, azaz a tervezési képletben megadottnál kissé nagyobb szivárgás volt tapasztalható.



32. ábra – Mérések alapján becsült fajlagos légáteresztési tényező és a TvMI által javasolt érték, készítette a szerző [145]

Ha a mérésekkel becsült c értékeket 50%-os biztonsági tényezővel növeljük, 1,74-es fajlagos légáteresztési tényezőt kapunk (zöld folytonos vonal), amely nagy biztonsággal lefedi az összes mért értéket.

A számított értékek összehasonlíthatósága érdekében a fajlagos légáteresztési tényezőt a 2/3-as kitevő figyelembevételével határoztam meg. A 33. ábra ezeket az értékeket szemlélteti.



33. ábra – légveszteség együtthatók, készítette a szerző [145]

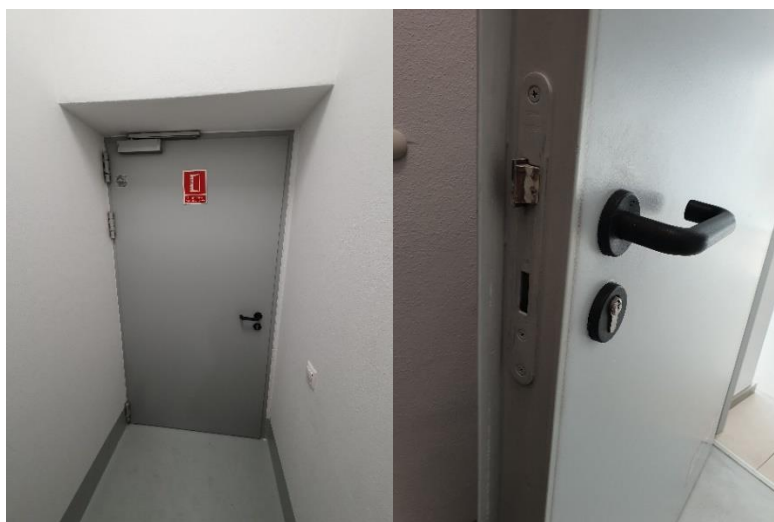
A bal oldali tengelyen a fajlagos légáteresztési tényező a nyílászáró hosszának függvényében van megadva, amelynek átlagos értéke $1,17 \text{ m}^3/(\text{hmPa}^{2/3})$. A jobb oldali tengelyen a fajlagos légáteresztési tényező az ajtók teljes felületének függvényében van megadva, amelynek átlagos értéke $3,6 \text{ m}^3/(\text{hm}^2\text{Pa}^{2/3})$.

2.9. Összehasonlító mérés egyszárnyú, nem füstgátló ajtóval

Az eddigiekben megállapítottam, hogy a füstgátlási teljesítményjellemzőkkel is rendelkező egyszárnyú ajtók becsült szivárgási felülete a szabvány által jelenleg javasolt értéknél kisebb, azaz a légzárásuk nagyobb. További ellenőrző mérést végeztem annak megerősítésére, hogy a füstgátlási teljesítménnyel nem rendelkező, korábbi előírások szerint L4 osztályba sorolt túlnyomásos lépcsőházi ajtó szivárgási felülete a szabvány által javasolt értékkel egyezik-e, illetve a szivárgási felület mekkora hányadát teszi ki a küszöb alatti rés mérete.

2.9.1. A vizsgált minta bemutatása

A mérést egy előteres túlnyomásos füstmentes lépcsőház egyik ajtaján végeztem, melyet monolit vasbeton falak és födégek határoltak. A vizsgált túlnyomásos előtér $1,178 \text{ m}$ szélességű és $1,659 \text{ m}$ mélységű, belmagassága $3,14 \text{ m}$. Padlófelülete műgyanta bevonatú, az egyéb határoló falak és a födém vakolt, festett. Az előtérbe a levegő bevezetése egy NA200 tányérszelepes anemosztáttal történik. Az épület engedélyezésekor hatályos előírások szerint a lépcsőházi ajtókat L4 légzárási tulajdonsággal tervezték (9. kép).



9. kép – a vizsgált ajtó csukott állapotban és a zárszerkezet, készítette a szerző

A vizsgált tűzgátló ajtó a rendelkezésre álló vizsgálati dokumentáció alapján teljesítette az L4 légzárási fokozat követelményét. A helyszíni felmérés alapján az ajtó ütközőperemes kivitelű (25 mm), kilincses, háromoldalon körbefutó gumitömítéssel, intumex nélkül. Küszöb alatti rés mérete a kilincstől indulva 11-11,5-10 mm volt, azaz az ajtólap alatti rés átlagos magassága 10,8 mm. Az ajtólap szivárgás szempontjából figyelembe vett szélessége 1,079 m, szivárgás szempontjából figyelembe vett magassága 2,145 m. Az ajtólap tömör, fém fegyverzetű, kétoldali acéllemez burkolattal és 64 mm ásványgyapot belső hőszigeteléssel készült. Az előtér további légtömörség adatit a 15. táblázat tartalmazza.

15. táblázat – az előtér esetén figyelembe vett geometriai és légtömörség adatok, szerkesztette a szerző

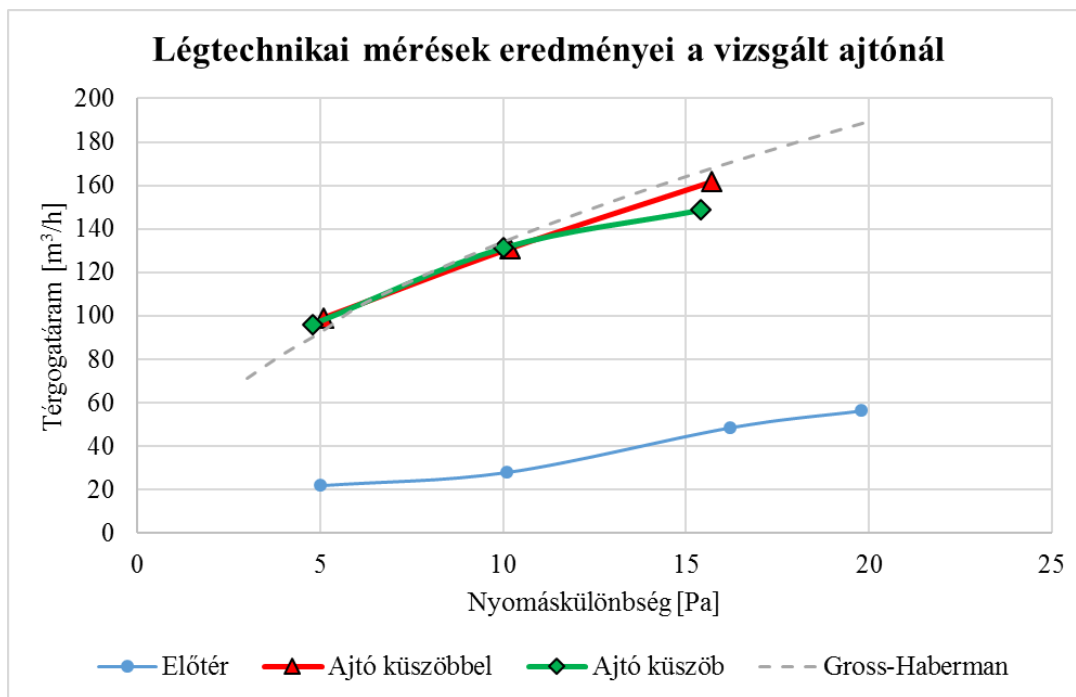
Szerkezeti elem	Figyelembe vett érték
A vizsgált ajtó réseinek hossza	6,448 m
Vízszintes szerkezetek felülete	3,91 m ²
Függőleges szerkezetek felülete az ajtók nélkül	13,43 m ²
Résfelület hányad padlók esetén (MSZ EN 12101-13 szerint, átlagos tömörség)	$5,2 \times 10^{-5}$
Résfelület hányad falak esetén (MSZ EN 12101-13 szerint, átlagos tömörség)	$1,1 \times 10^{-4}$

2.9.2. A vizsgálat leírása és a mérések eredményei

A méréseket a 2.3.2. fejezetben ismertetett eljárással végeztem el az 1.3. fejezetben ismertetett műszerekkel. Három mérési sorozat került elvégzésre az alábbiak szerint:

- Az első mérési sorozatban az előteret határoló mindkét ajtó rései le voltak ragasztva.
- A második mérési sorozatban a vizsgált ajtó küszöbjének vonalában eltávolítottam a ragasztó szalagot, a nem vizsgált ajtó rései le voltak ragasztva körben.
- A harmadik mérési sorozatban a vizsgált ajtóról körben eltávolítottam a ragasztószalagot a nem vizsgált ajtó rései le voltak ragasztva körben.

Az elvégzett légtechnikai mérések eredményeit a 34. számú ábra szemlélteti. Az előtéri légellátó rendszer kapacitása alapján a méréseket 5 Pa, 10 Pa és 15 Pa névleges nyomáskülönbségeken lehetett elvégezni az ajtón, míg az előtér légtömörsége 20 Pa névleges nyomáson is vizsgálható volt.



34. ábra – Légtechnikai mérések eredményei a vizsgált előtérben, készítette a szerző

A 34. ábra alapján megállapítható, hogy az ajtó résein keresztül áramló levegő teljes mennyisége szinte teljes egészében a küszöb alatti résen keresztül távozó levegőből ered. Ennek ismeretében kijelenthető, alatti réseken keresztül átáramló levegő mennyisége a légtömörséget markánsan befolyásolhatja, annak hatása nem elhanyagolható.

Az ajtó alatti résen keresztül átáramló levegő mennyiségének becslésére 3 Pa és 20 Pa között megjelenítettem a diagramon a (7-11) egyenletekben szereplő Gros-Haberman módszer becslésének eredményét is. Elmondható, hogy a becslő eljárás a mérési eredményekkel konzisztens eredményt adott a küszöb alatti egyenes, iránytörést nem tartalmazó résen keresztüli áramlás vonatkozásában.

Az előteret határoló szerkezetek szivárgási felülete az (20) összefüggés alapján meghatározva $0,00264 \text{ m}^2$ adódik, mely a 15. táblázatban szereplő értékek alapján becsült $0,00156 \text{ m}^2$ értéknél nagyobb.

A vizsgált ajtó előtéri szerkezetek szivárgási felületével korrigált szivárgási felületének meghatározása a (21) összefüggés alapján történt. Ez alapján az ajtó teljes szivárgási felülete $0,01123 \text{ m}^2$, mely az MSZ EN 12101-13 „A” mellékletében a túlnyomásos térbe nyíló egyszárnyú ajtó esetén javasolt $0,01 \text{ m}^2$ effektív résmérettel jó egyezést mutat. A küszöb szivárgási felületének meghatározására irányuló mérés eredménye alapján a küszöb alatti rés mérete $0,01066 \text{ m}^2$, mely az ajtó teljes résméretének 95%-a.

Az ajtó alatti rés mérete pusztán geometriai megközelítéssel $0,01165 \text{ m}^2$, mely a légtechnikai méréssel meghatározott értékkel összhangban van.

Fentiek alapján megállapítható, hogy a vizsgált, füstgátlási teljesítménnyel nem rendelkező tűzgátló ajtó – amely a rendelkezésre álló dokumentumok szerint L4 légzárási fokozat követelményeit teljesítette – mérésekkel meghatározott effektív résmérete a MSZ EN 12101-13 szabvány által javasolt értékkel közel megegyező. Vagyis meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén, a túlnyomásos térbe nyíló egyszárnyú ajtók effektív résmérete a szabvány szerinti számítási eljárások során $0,01 \text{ m}^2$ értékkel becsülhetők.

A vizsgált ajtó résveszteségének szinte teljes egésze a küszöb alatti résen keresztül kiáramló levegőből származott, melynek oka feltételezhetően a három oldalon körbefutó gumitömítés által biztosított fokozott légzárás volt.

2.10. Különböző anyagú ragasztószalagok összehasonlítása

A vizsgálatok során szálerősítésű ragasztószalagot alkalmaztam. Indokoltnak tartottam annak vizsgálatát is, hogy a kapott mérési eredményeket befolyásolja-e az alkalmazott ragasztószalag anyaga. Ennek megállapítása érdekében összesen három különböző anyagú ragasztószalaggal végeztem összehasonlító mérést.

2.10.1. A vizsgált minta bemutatása

A vizsgálatot a 2.9. pontban ismertetett geometriájú, de az épület egy másik túlnyomásos füstmentes előterében végeztem el. A vizsgálat során az előtérből a lépcsőházba nyíló hagyományos, fa anyagú, ütközőperemes ajtó réseit ragasztottam le három különböző anyagú ragasztószalaggal (10. kép)



10. kép – szálerősítésű, alumínium és PVC szalaggal lezárt rések, készítette a szerző

A küszöb nélküli kialakítású, kilincses, automatikus csukószerkezettel ellátott ütközőperemes ajtó szivárgási mérete 1,00 m szélességű és 2,075 m magasságú volt, azaz a teljes szivárgási terület 6,15 m volt a küszöb figyelembe vételével és 5,15 m volt a küszöb figyelembevétele nélkül. Az ajtólap nyomásnak kitett felülete 2,075 m² volt. A küszöb alatti rés mérete 4, 5 és 3,5 mm volt, így az átlagos résméret az ajtólap alatt 4,17 mm volt.

A szálerősítésű szalag szélessége 50 mm, míg az alumínium (légtechnikai) ragasztószalag és a PVC ragasztószalag szélessége 48 mm volt.

2.10.2. A vizsgálat leírása és a mérések eredményei

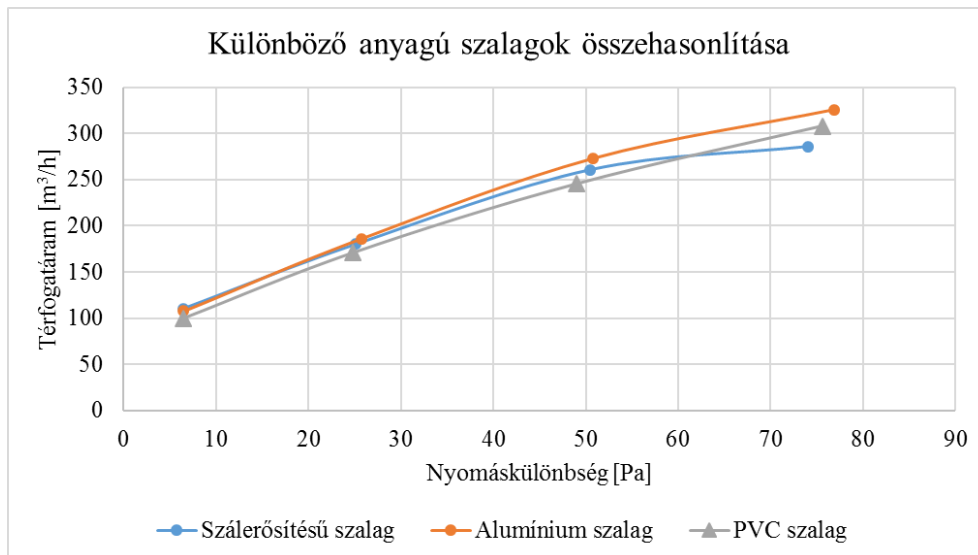
A méréseket a 2.3.2. fejezetben ismertetett eljárással végeztem el az 1.3. fejezetben ismertetett műszerekkel. Négy mérési sorozat került elvégzésre az alábbiak szerint:

- Az első mérési sorozatban az előteret határoló mindkét ajtó rései le voltak ragasztva szálerősítésű ragasztószalaggal.
- A második mérési sorozatban az közlekedőből nyíló tűzgátló ajtóról eltávolítottam a ragasztószalagot. Ekkor a mérést a lépcsőházba nyíló ajtó réseinek szálerősítésű ragasztószalaggal történt lezárásával végeztem el.
- A harmadik mérési sorozatban a szálerősítésű szalagot eltávolítottam és helyette öntapadó alumínium szalagot ragasztottam fel, azaz ebben az esetben a mérést a lépcsőházba nyíló ajtó réseinek alumínium ragasztószalaggal történt lezárásával végeztem el.
- A negyedik mérési sorozatban az alumínium ragasztószalag eltávolítottam és helyette PVC ragasztószalagot ragasztottam fel, azaz ebben az esetben a mérést a lépcsőházba nyíló ajtó réseinek PVC ragasztószalaggal történt lezárásával végeztem el.

Az elvégzett légtechnikai mérések eredményeit a 35. számú ábra szemlélteti. Az előtéri légellátó rendszer kapacitása alapján a méréseket 10 Pa, 25 Pa, 50 Pa és 75 Pa névleges nyomáskülönbségeken lehetett elvégezni mindkét ajtó réseinek leragasztott állapotában, míg az egyik ajtó réseinek felszabadításakor 10 Pa helyett 5 Pa névleges nyomáson is mérést lehetett végezni.

Az előteret határoló szerkezetek szivárgási felületét az (20) összefüggés alapján meghatározva 0,00139 m² adódik, mely a 15. táblázatban szereplő értékek alapján becslült 0,00156 m² értéknél kisebb.

A három különböző anyagú ragasztószalag alkalmazása mellett végzett légtechnikai mérések eredményeit az 35. számú ábra szemlélteti.



35. ábra – különböző anyagú szalagok alkalmazásával végzett légtechnikai mérések eredményei, készítette a szerző

A mérési eredményekből mindhárom ragasztószalag esetén meghatároztam a szivárgási felület értékét az (21) összefüggés felhasználásával. A három különböző típusú ragasztószalag vonatkozásában statisztikai elemzést végeztem annak megállapítása érdekében, hogy a szalag anyagának van-e kimutatható hatása a mérés eredményére. A szivárgási felület értékét folytonos függő változónak tekintettem, míg a több nyomásszinten – 10 Pa, 25 Pa, 50 Pa és 75 Pa névleges nyomáskülönbségek mellett – végzett mérések jelentették az ismétléseket a vizsgálatban. A statisztikai számításokat SPSS Statistic program felhasználásával végeztem el.

Ismételt méréses varianciaanalízist alkalmaztam különböző típusú ragasztószalagok hatásának vizsgálatára, mivel a vizsgálatok során közel azonos nyomáskülönbségek alkalmazásával végeztem a méréseket. Tekintettel az alacsony elemszámra és a normalitás bizonytalanságára, az eredményeket egy *eloszlásmentes Friedman-próbával* is ellenőriztem. A két módszer konzisztens eredményt adott, egyik sem mutatott statisztikailag szignifikáns különbséget ($F(2,6) = 3,579$, $p = 0,095$), azonban a hatásméret nagy ($\eta^2 = 0,544$). A vizsgált körülmények között – figyelembe véve a minták számát – megállapítható, hogy statisztikailag nem volt kimutatható különbség az eltérő típusú ragasztószalagok között.

Fentiek alapján a gyakorlatban alkalmazhatók a háromféle típusú ragasztószalag, azok légzárásra gyakorolt hatása elsődlegesen a ragasztószalag és a felület közötti tapadás és az illesztés pontosságától fog függeni.

2.11. Részkövetkeztetések

A kutatási célkitűzésnek megfelelően a fejezet első részében áttekintettem, elsődlegesen túlnyomásos lépcsőházak vonatkozásában, az ajtók szivárgási felületének és fajlagos légáteresztési tényezőjének szakirodalomban becsült értékeit. A főbb következtetéseim az alábbiak voltak:

a) A kezdeti vizsgálatok során a blower door műszerrel mért eredmények a szárnykerekessel aneométerrel felszerelt mérőtölcsérrel mért eredményekkel kerültek összehasonlításra. A blower door műszer esetében a túlnyomás létrehozásához szükséges levegőmennyiséget a műszer ventilátora biztosította. A mérőtölcsér esetében a levegőellátást az épület saját szellőzőrendszere biztosította. Az összehasonlító mérések nem voltak statisztikailag kimutatható különbség a kétféle mérési módszerrel végzett mérés között a vizsgált előtér esetén, ami megerősítette az MSZ EN ISO 9972 által javasolt azon műszaki megoldást, miszerint az épület szellőzőrendszere felhasználható a légáteresztőképesség mérésére. Ezen vizsgálat alapján a szárnykerekessel aneométerrel felszerelt mérőtölcséres mérések eredményeit további mérésekhez használhatónak ítélttem.

b) A túlnyomásos füstmentes előterek határoló szerkezetein, valamint a beépített ajtókon keresztül áramló levegő mennyiségének és a nyomáskülönbség ismeretében az ajtók résfelületei becsülhetők voltak. Az így kapott $0,005 \text{ m}^2$ érték kisebb, mint a vonatkozó szakirodalomban, az MSZ EN 12101-13, MSZ EN 12101-6:2005 és BS 5588 szabványokban ajánlott érték. A mérésekkel meghatározott szivárgási felület 50%-a a túlnyomásos térbe nyíló ajtókra ajánlott $0,01 \text{ m}^2$ értéknek, és 25%-a a túlnyomásos térből nyíló ajtókra ajánlott $0,02 \text{ m}^2$ értéknek, továbbá alacsonyabb, mint *Hobson és Stewart* által javasolt értékek. A becsült szivárgási felület érték tekintetében statisztikailag nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a vizsgált ajtók esetében azok nyitási irányától, ami összhangban van a füstgátló ajtók vizsgálatára és osztályozására vonatkozó szabvánnyal, amely előírja, hogy a füstgátló ajtóknak mindkét oldalról meg kell felelniük a légzárási követelménynek, függetlenül a nyitási iránytól. 25 Pa nyomáskülönbség mellett az ajtókon keresztül történő légszivárgás 48 és $67 \text{ m}^3/\text{h}$ között volt, ami jóval magasabb, mint $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, amelyet az osztályba sorolási szabvány az szivárgási hosszúságra környezeti hőmérsékleten előír. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgálati szabvány adott esetben nem vizsgálja az ajtók alatti szivárgást.

c) A mérések eredményeiből becsült 1,16-os fajlagos légáteresztési tényező értéke jól egyezik a jelenlegi TvMI-ben szereplő értékkel, de meg kell jegyezni, hogy meghaladja azt, ami arra utal, hogy a TvMI által javasolt érték biztonsági tényezővel való növelése megfontolandó.

A vonatkozó szakirodalomban szereplő értékek széles tartományban mozognak, 1 és 9 $\text{m}^3/(\text{hPa}^{2/3})$ között. A 0,67 hatványkitevővel számított 1,16 értékű résvesztesség tényező jól egyezik a Várfalvi, Gábor-Zöld és Barna által leírt küszöbös ajtók javasolt résvesztesség tényezőjével. Ez az érték sokkal kedvezőbb, mint a küszöb nélküli ajtókra vonatkozó 4 és 9 közötti érték, és alacsonyabb, mint az ME-04–132–84-ben javasolt érték.

A fejezet második részében összehasonlító mérést végeztem füstgátló teljesítménnyel nem rendelkező, egyszárnyú tűzgátló ajtón, továbbá különböző anyagú ragasztószalagok légzáróképeségének egymáshoz való viszonyát vizsgáltam, mely alapján megállapítottam, hogy:

d) A vizsgált, füstgátlási teljesítménnyel nem rendelkező tűzgátló ajtó mérésekkel meghatározott résmérete az MSZ EN 12101-13 szabvány által javasolt értékkel közel megegyező.

e) A vizsgált ajtó szivárgási felületének szinte teljes egésze a küszöb alatti résen keresztül kiáramló levegőből származott, azaz a veszteségek szempontjából az ajtó alatti rés mérete dominált.

f) A vizsgált különböző anyagú ragasztószalagok légzárása között nem volt statisztikailag kimutatható szignifikáns eltérés, azonban a légtechnikai alumínium szalag kismértékben jobb eredményt mutatott annak ellenére, hogy a résekre illesztése nagyobb körütekintést igényelt.

Összességében a kapott eredmények alapján az MSZ EN 12101-13 mellékletében javasolható a szivárgási felület értékek kiegészítése. Az egy szárnyú füstgátló ajtók esetében, nyitási irányuktól függetlenül, 0,005 m^2 szivárgási felület figyelembe vétele célszerű, maximum 6,1 m összesített réshosszig, 10-50 Pa nyomáskülönbség mellett, környezeti hőmérsékleten.

A TvMI-ben alkalmazott számítási módszer esetében a c érték kismértékű növelése ajánlott. Javasolható a mért értékek alapján becsült fajlagos légáteresztési tényezőt további biztonsági tényezővel növelni a számításokban, hogy figyelembe lehessen venni a beépítés minőségétől függő bizonytalanságot.

Mivel a vizsgálatok egy adott ajtótípuson kerültek elvégzésre, ajánlott, hogy a jövőben több különböző kialakítású és geometriájú nyílászárót vizsgáljanak. Ezeket a vizsgálatokat célszerűen ki kell terjeszteni kétszárnyú ajtókra, ablakokra, üvegezett homlokzatokra (homlokzati függönyfalakra) és felvonó aknaajtókra is.

3. ZÁRSZERKEZET KIALAKÍTÁSÁNAK HATÁSA AZ AJTÓ MOZGÁSBA HOZÁSÁHOZ SZÜKSÉGES ERŐRE TÚLNYOMÁSOS FÜSTMENTES LÉPCSŐHÁZAKBAN

Az értekezés bevezetőjében felállított hipotézisem alapján a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló pánikrúddal ellátott ajtók esetén a nyitáshoz szükséges kedvezőtlenebb lehet, mint egy ugyanazon geometriai jellemzőkkel rendelkező kilincses nyílászárónak.

Jelen fejezetben tehát kutatási célomnak tekintem túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló kilinccsel és pánikrúddal szerelt ajtóinak mérésekkel történő vizsgálatát, továbbá vizsgálom annak lehetőségét, hogy az ajtón elhelyezett nyitási mechanizmus jelölés pozicionálásával optimalizálható-e a nyitási erő a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtók esetén.

3.1. Az ajtó nyitáshoz szükséges erő kifejtésre vonatkozó követelmények

Az ajtónyitáshoz szükséges erő kifejtés nagyságának jelentőségére már 2009-es publikáció is felhívta a figyelmet és egy minta összefüggést tartalmazott a lépcsőházban maximálisan megengedhető túlnyomás kiszámítására az ajtó geometriai jellemzőitől és az ajtócsukó csukónyomatékát figyelembe véve. [51]

Hazánkban a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak nemzeti követelményeknek megfelelő méretezésének folyamatában elsőként az OTSZ támasztott a túlnyomásos füstmentes lépcsőház és a túlnyomásos füstmentes előtér menekülésre szolgáló nyílászáróinak használatát nem akadályozó követelményt, mely alapján a nyitáshoz szükséges erő kifejtés nem haladhatta meg a 100 N-t. [1] Ez a műszaki követelmény a 2017. december 1-jétől hatályos TvMI 3.2:2017.12.01. TvMI-be is bekerült, mely már tartalmazott egy egyszerűsített számpéldát is a méretezésre vonatkozóan. [146, o. 16] Az OTSZ 2020. január 22-ei módosításakor ez a pont törlésre került a jogszabályból, és a nyitási erő kifejtésre vonatkozó javasolt érték kizárólag a TvMI-ben jelent meg. A 2020. január 22-től hatályos TvMI 3.3:2020.01.22. *P melléklete* már javaslatot tett arra vonatkozóan is, hogy a 100 N-os nyitási erő korlátozása megfelelőbb lehet, ha a szabályozás során a visszacsatoló jelek közül a magasabbat veszik figyelembe. [147, o. 116] Különleges esetekben (pl. akadálymentesség) ez az érték alacsonyabb lehet. [7, o. 39] Elmondható, hogy a 100 N-os érték az „új megközelítésű” OTSZ kidolgozásának időszakában hatályos MSZ EN 12101-6:2005 szabvánnyal összhangban került megállapításra.

A nyomáskülönbség elvén működő rendszerek tervezésére vonatkozó európai szabvány az MSZ EN 12101-13. E szabvány szerint a rendszereket úgy kell megtervezni, hogy az ajtó kinyitásához szükséges erő semmilyen esetben sem haladhatja meg a 100 N-t. [5, o. 10–12]

Az NFPA 92 szabvány szerint, amely a füstelvezető rendszerek tervezésével összefüggő előírásokat és ajánlásokat tartalmazza, az ajtó kinyitásához szükséges maximális erő nem haladhatja meg az NFPA 101 szabványban vagy az állami vagy helyi előírásokban és szabályozásokban meghatározott értéket. [30, o. 8] Az NFPA 101 szerint az ajtók esetén nyomáskülönbség nem haladhatja meg azt az értéket, amelynél az ajtószárny teljes nyitása 133 N-nál nagyobb erővel valósítható meg. [148, o. 60]

Az IBC 2024 szerint, ha egy ajtónak tűzállósági teljesítménnyel kell rendelkeznie, akkor az ajtó mozgásba hozásához szükséges erő nem haladhatja meg a 133 N-t. [27]

Az AS/NZS 1668.1:1998 szabvány szerint, függetlenül attól, hogy a kiürítésre szolgáló ajtók nyomáskülönbség alatt vannak-e vagy sem, az ajtók kinyitásához szükséges maximális erő nem haladhatja meg a 110 N-t, így biztosítva, hogy a kijáratok minden esetben használhatók legyenek. [149, o. 34]

A TRVB 112 S szerint a túlnyomásos szellőzőrendszer által okozott nyomáskülönbség nem befolyásolhatja az ajtók kinyitását és az ajtócsukók megbízható zárását, ezért megfelelő intézkedéseket kell tenni annak biztosítására, hogy az ajtó kinyitásához szükséges erő ne haladja meg a 100 N-t. [33, o. 10]

A VDMA 24188 szerint a maximális nyomáskülönbséget úgy kell korlátozni, hogy az ajtókilincsen mért ajtónyitási erő ne haladja meg a 100 N-t, így az ajtók gyengébb fizikai erővel rendelkező személyek számára is nyithatók maradnak, és a menekülőknél nem keltenek azt a benyomást, hogy az ajtó zárva van. [32, o. 9–10]

Az ASHRAE HVAC alkalmazások kézikönyve szerint kilincs esetén a nyitáshoz szükséges erőt a kilincsen kell alkalmazni, míg pánikrúd esetén az ajtónyitó erő a pánikrúd mentén bármely ponton alkalmazható. [150, o. 54.7]

A tervezés során minimális és maximális nyomáskülönbségeket kell figyelembe venni. A megengedett legnagyobb nyomáskülönbség nem eredményezhet túlzott ajtónyitási erőt, ugyanakkor ennek meghatározása bonyolult feladat, mivel több tényező – például az adott személy fizikai állapota – is befolyásolja a nyitáshoz szükséges erő kifejtés nagyságát. [151, o. 40]

Az egyes forrásokból származó, az ajtónyitáshoz szükséges megengedett legnagyobb erő kifejtés értékét a 16. táblázatban foglaltam össze.

16. táblázat – a túlnyomásos lépcsőházak ajtóinak megengedett legnagyobb nyitási erejének javasolt értékei különböző források szerint, szerkesztette a szerző

Dokumentum	Nyitáshoz szükséges erő kifejtés megengedett értéke
TvMI 3.6:2025.02.01. [7, o. 39] 7.3.1.	100 N
MSZ EN 12101-13:2022 [5, o. 9–10] 5.1.	100 N
NFPA 92 (2024) [30, o. 9] / NFPA 101 (2024) [148, o. 60] 4.4.2.2. / 7.2.1.4.5.2.	133 N
2024 International Building Code (IBC) [27] 909.20.5.2.	133 N
TRVB 112 S (2021) [33, o. 6] 3.3.	100 N
VDMA 24188 (2011) [32, o. 5] 4.1. a)	100 N
AS/NZ 1668.1 (1998) [149, o. 34] 4.7.	110 N

Az MSZ EN 179 szabvány a karos kilincsek és nyomógombok működtetéséhez szükséges erőt teszteli. [152] A pánikrúd működtetéséhez szükséges erőt az MSZ EN 1125 szabvány határozza meg. Pánikrúd használata esetén a nyomáshatás nélküli ajtó zármechanizmusának kinyitásához szükséges erő nem haladhatja meg a 80 N-t. [153, o. 23] A szabványos vizsgálat nem terjed ki az ajtólap két oldala között létrehozott nyomáskülönbség esetén történő működtetésre, azaz a szabványos vizsgálatban szereplő erők nem összevethetők a különböző szabályozásokban az ajtó kinyitásához szükséges erővel. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak ajtajai általában önműködő csukószerkezetekkel vannak felszerelve. Az önműködő ajtócsukókra vonatkozó követelményeket többek között az MSZ EN 1154 szabvány határozza meg. [154]

Az MSZ EN 1154 szabvány különböző ajtócsukó teljesítmény-kategóriákat határoz meg. Tűzgátló illetve füstgátló ajtók esetén az 1. és 2. teljesítménykategóriába tartozó ajtócsukók alacsony csukónyomatékuk miatt nem alkalmazhatók. [154, o. 18]

17. táblázat – Szabályozott ajtócsukókra vonatkozó követelmények 3-7 teljesítmény-kategória esetén az EN 1154 szerint, szerkesztette a szerző [154, o. 8]

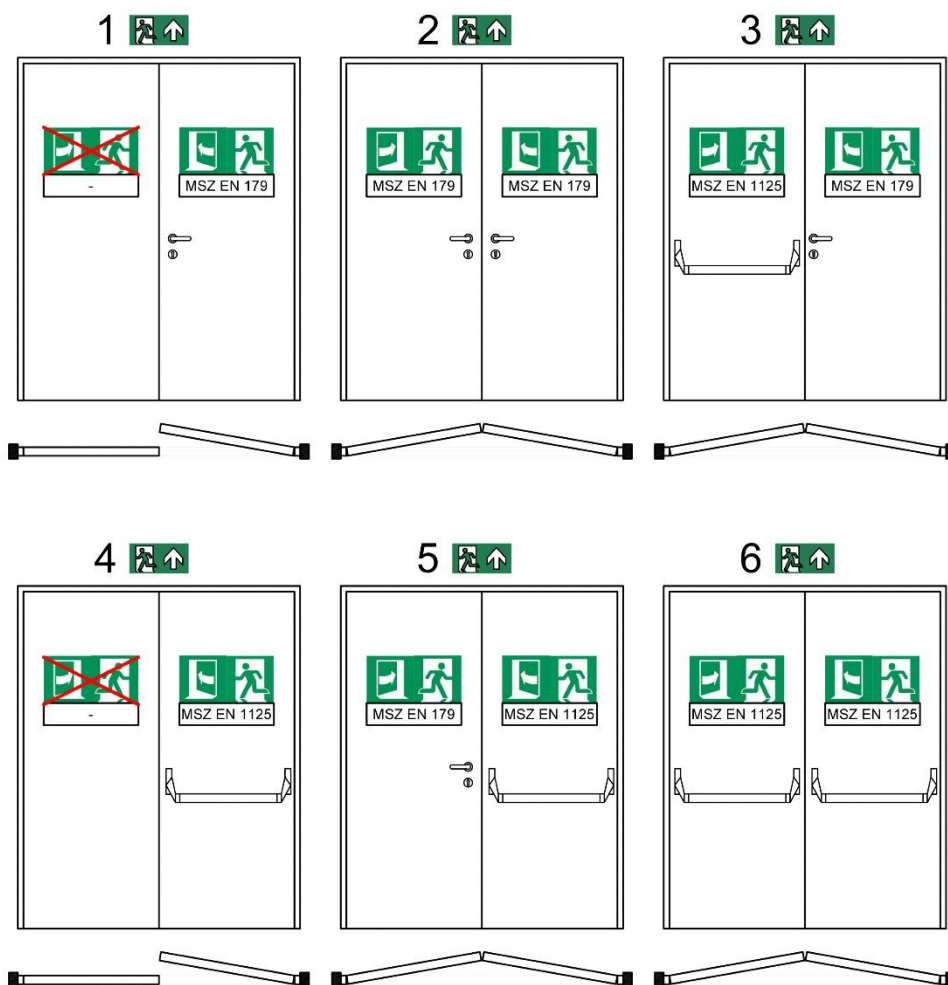
Az ajtócsukó teljesítmény-kategóriája	Az ajtószárny szélessége	A vizsgálati ajtó tömege	Csukónyomaték		Nyitónyomaték 0° és 60° között	Ajtócsukó hatásfoka 0° és 4° között
			0° és 4° között			
	[mm] max.	[kg]	[Nm] min.	[Nm] max.	[Nm] max.	%
3	950	60	18	<26	47	55
4	1100	80	26	<37	62	60
5	1250	100	37	<54	83	65
6	1400	120	54	<87	134	65
7	1600	160	87	<140	215	65

Hazánkban az elvárt biztonsági szintet a nyitási mechanizmus vonatkozásában alapvetően az OTSZ szabályozza, mely szerint tömegtartózkodásra szolgáló helyiség kiürítésre szolgáló ajtóit és a tömegtartózkodásra szolgáló helyiség menekülési útvonalán beépített ajtóknak egy mozdulattal nyithatónak kell lenniük. [1, o. 59. § (4)] Tömegtartózkodásra szolgáló helyiség esetén a menekülési útvonal a helyiség kiürítésére szolgáló nyílászárót követő útvonal. [1, o. 4. § (2)]

Ez alapján az egy mozdulattal történő nyithatósági kritérium nem csupán a tömegtartózkodásra szolgáló helyiséget közvetlenül határoló – kiürítésre szolgáló – nyílászáróira vonatkozik, hanem a biztonságos térbe vezető útvonalon beépített valamennyi, áthaladásra figyelembe vett nyílászáróra. Ilyen esetben a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtónak is teljesítenie kell az egy mozdulattal történő nyithatóság követelményét. A Kiürítés TvMI szerint az egy mozdulattal történő nyithatóság kritériuma teljesül, ha az ajtó zárszerkezet nélküli vagy a beépített zárszerkezet és vasalat teljesíti az MSZ EN 1125 szabványban megfogalmazott műszaki követelményeket. [8, o. 52–53] Elektromos zárszerkezet esetén további követelményeket is teljesíteni kell.

Kétszárnyú ajtók esetére a Kiürítés TvMI „G” melléklete menekülés szempontjából különbséget tesz abban a tekintetben, hogy az állószárny figyelembe van-e véve a menekülés során.

A Kiürítés TvMI azon megfontolásából, hogy önkéntesen magasabb biztonsági szint választható, azaz például az MSZ EN 179 szabvány szerinti működtető berendezés helyett alkalmazható MSZ EN 1125 szabvány szerinti, továbbá vegyes elrendezések is kialakíthatók. [8, o. 105–106] Kétszárnyú ajtó esetében, ha az állószárnyon az MSZ EN 1125 szabvány szerinti pánikajtózár van felszerelve és a mozgó szárnyon az MSZ EN 179 szabvány szerinti vészkijárat zár van, akkor az kétszárnyú vészkijárat ajtónak vagy egyszárnyú pánik-menekülőajtónak tekinthető. [153, o. 10]



36. ábra – Kétszárnyú ajtók kialakításának lehetőségei vészkijárat illetve pánik működtető berendezéssel, készítette a szerző

A 36. számú ábrán kétszárnyú, menekülés irányába nyíló ajtók szerepelnek eltérő zárszerkezettel, ahol a jobb oldali ajtószárny a nyílószárny. A 36. ábra alapján kétszárnyú vészkijárat ajtó esetében – amennyiben az állószárny nem vesz részt a menekülésben – a megfelelő megoldási lehetőségeket az 1-6. ábrák, míg pánik ajtó esetén a 4-6. ábrák szemléltetik, a 3. és az 5-6. ábra esetében a pánikrúd mindkét szárnyat feltárja.

Ha a kétszárnyú vészkijáratú ajtó mindkét szárnya részt vesz a menekülésben, akkor megfelelő megoldás a 2-3. és 5-6. ábrák, míg pánik ajtó esetén a 6. ábra. Ezekben az elrendezésekben a pánikrúd illetve vészkijáratú zár mindkét szárnyat feltárja.

Összességében megállapítható, hogy a különböző szabványok és műszaki irányelvek általában 100–130 N közötti maximális ajtónyitási erőt javasolnak. Az akadálymentes tervezés esetében ez az érték jelentősen alacsonyabb lehet.

A menekülési útvonalakon használatos, karral vagy nyomógommbal, illetve vízszintes rúddal működtetett vészkijáratú eszközökre vonatkozó európai szabványok az ajtó kinyitásához szükséges erő vizsgálata során megvizsgálják a nyitóerőt, amely zármechanizmus működtetéséhez szükséges erő, vagyis amely ahhoz szükséges, hogy a záróelem(ek)et az ellendarab(ok)ból visszahúzza. [153, o. 10]

A vezérelt ajtócsukó eszközökre vonatkozó európai szabvány a különböző teljesítménykategória osztályok szerint az ajtócsukóval működtetett ajtómechanizmus súlyára és szélességére vonatkozik. A kiürítés koncepciójától és az ajtó beépítési helyétől függően a működtető berendezések elrendezése egyes esetekben többféle módon is lehetséges.

A vizsgálatom tárgya tehát nem az MSZ EN 179 és az MSZ EN 1125 szabvány szerinti nyitóerő, hanem az ajtólap mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés a nyitás pillanatában.

3.2. Nyitási erő értelmezése és mérése túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén

Ahhoz, hogy egy beléptetőrendszer nélkül szerelt ajtót kinyissunk két feltétel szükséges. Egyrészt a zárat valamilyen külső erő hatására működésbe kell hozni, hogy a záróelemek az ellendarabokból visszahúzódjának (rudak, nyelvek). Ez lehet egy kilincs lenyomása vagy egy pánikrúd megnyomása. Mindez szükséges feltétele az ajtószárny kinyitásának, de nem elégséges. Ahhoz ugyanis, hogy az ajtószárnyat kinyissuk, mozgásba hozzuk, le kell győzni a pántoknál fellépő súrlódási veszteségeket, továbbá az esetlegesen felszerelt ajtócsukók vagy az ajtók pántjába épített rugók nyomatékát. Ez a nyitónyomaték, amelyet az ajtószárny kinyitásakor le kell győznünk, és az előírásokban gyakran csukónyomatékként nevezik.

Fontos azonban különbséget tennünk: míg a csukónyomatéknak az ajtószárny csukásakor van szerepe, addig a nyitónyomatéknak a szárny kinyitásakor. Ennek következtében a nyitónyomaték értéke – speciális szerelvényektől, nyitásrásegítőktől eltekintve – nagyobb, mint a csukónyomatéké.

A hő és füst elleni védelem TvMI a legfeljebb 100 N ajtónyitási erő biztosításához megengedett legnagyobb nyomáskülönbség kiszámításához az alábbi képletet javasolja a megjegyzések között: [7, o. 50]

$$P_{max} = (100 \text{ N} \cdot X_{kilincs} - M_{csukó}) / (0,5 \cdot SZ_{ajtó} \cdot A_{ajtó}) \quad (26)$$

ahol,

P_{max} – a maximális megengedett túlnyomás (Pa)

$X_{kilincs}$ – a kilincs távolsága az ajtó forgástengelyétől (m)

$M_{csukó}$ – a csukószerkezet csukónyomatéka (Nm)

$SZ_{ajtó}$ – az ajtó szélessége (m)

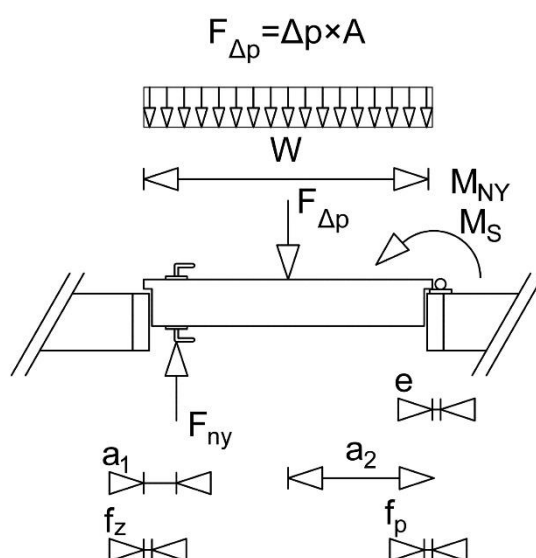
$A_{ajtó}$ – az ajtó felülete (m²)

Ebben a megközelítésben a nyitáshoz szükséges erő karja az ajtó szélességének a zártávolsággal csökkentett értéke.

Az (26) egyenlet további vizsgálatával megállapíthatjuk, hogy $M_{csukó}$ értéke magában kell, hogy foglalja az ajtó nyitásának pillanatában a csukószerkezet nyitónyomatékát, a súrlódásból és egyéb veszteségből származó ellenállások nyomatékait.

Ütközőperemes ajtólap esetén – amikor az ütközőperem a túlnyomásos térben helyezkedik el, azaz az ajtó a túlnyomásos térbe nyílik – a nyomásból származó erő támadási felülete a tokbelső méretnél nagyobb lehet. Másik figyelembe veendő tényező a forgástengely ajtólap szélétől vett távolsága, ami az erőkarokat kismértékben ugyan, de növelheti.

Fenti módosító tényezőket figyelembe véve az 37. ábrán szemléltetem az ajtó nyitásának pillanatában fellépő erőket, amikor a nyitás pillanatában a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtajára nyomáskülönbség hat:



37. ábra – Az ajtónyitáshoz szükséges erő értelmezése a túlnyomásos térbe nyíló, egyszárny, kilinccsel vagy fogógombbal, készítette a szerző

ahol,

Δp – az ajtólap két oldala közötti nyomáskülönbség (Pa)

A – az ajtólapnak a túlnyomásnak kitett felülete (m²)

$F_{\Delta p}$ – A nyomáskülönbségből az ajtólap túlnyomásnak kitett felületének középpontjában ható eredő erő (N)

W – az ajtólap teljes szélessége a túlnyomásos tér irányából mérve (m)

M_{NY} – a nyitónyomaték (Nm)

M_S – a belső súrlódásokból származó nyomaték, egyéb veszteségek (Nm)

F_{ny} – az ajtó mozgásba hozásához szükséges erő (N)

e – a forgástengely (pántközép) távolsága az ajtólap szélétől mérve (m)

f_z – az ütközőperem szélessége az ajtólap zár felőli oldalán (m)

f_p – az ütközőperem szélessége az ajtólap pánt felőli oldalán (m)

a_1 – a zártávolság (m)

a_2 – a túlnyomásból származó erő karja, $a_2=W/2$ (m)

Amikor az ajtólapot nagyon kis sebességgel mozgatjuk ($<1^\circ/s$) és a tehetetlenségből, valamint a légellenállásból származó hatásokat elhanyagolhatónak tekintjük, akkor a teljes ajtólap esetén az ajtó mozgásba hozásának pillanatában teljesülnie kell, hogy

$$M_{NY} + M_S + W \cdot H \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{W}{2} + e\right) = F_{ny} \cdot (W - f_z - a_1 + e) \quad (27)$$

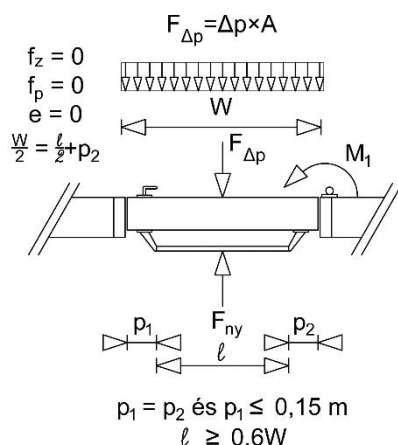
ahol,

H – az ajtólap teljes magassága a túlnyomásos tér irányából mérve (m)

Ha az ajtó pánikrúddal van felszerelve akkor több további tényező is befolyásolja a nyitáshoz szükséges erőt. Egyrészt a pánikrúd hossza, illetve az ajtólapra történő erőátadás helyei, azaz a rúd vízszintes pozíciója. Másrészt, hogy a nyitási erőt a rúd mely részén fejtik ki (középen, zárhoz közelebb, pántokhoz közelebb). Fontos megjegyezni az MSZ EN 1125 szabvány egyes megjegyzéseit a pánikrúd ajtószerkezeten való pozícionálásával kapcsolatban. Egyrészt a rudat az ajtó zár oldali részétől legfeljebb 0,15 m-re lehessen felszerelni. Ugyanakkor a rúd hossza közelítse meg az ajtó hasznos nyílásszélességét, de annak 60%-ánál kisebb ne legyen. [153, o. 14–15]

Ennek ábrázolását mutatja be a 38. ábra pánikrúddal szerelt ajtó esetén, amikor a rúd kialakítása és pozíciója az ajtószárnyon szimmetrikus.

Az egyszerűsítés végett a súrlódásból és egyéb veszteségekből származó nyomatékokat a továbbiakban mozgó szárnyon M_1 , míg állószárnyon M_2 nyomatékokként jelenítem meg, továbbá az ajtólap hasznos nyílásszélességét a tok nem csökkenti. Az ábrán l jelöli a pánikrúd hosszát méterben, míg p_1 és p_2 a pánikrúd rögzítési pontjának távolsága az ajtólap szélétől, méterben.



38. ábra – Nyitási erő értelmezése szimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt, egyszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén, készítette a szerző

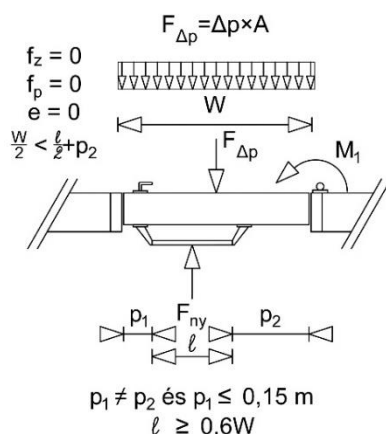
A 38. számú ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a pánikrúd alkalmazása esetén, amennyiben az ajtó kialakítása teljesen szimmetrikus és a rudat a középpontban működtetjük, úgy az ajtó nyitásához kifejtett erő karja kilincsel/gombbal kialakított ajtónál kisebb, vagyis jelen esetben a (28) egyenlet szerint.

$$W - a_1 > \frac{l}{2} + p_2 = \frac{W}{2} \quad (28)$$

Ez nem azt jelenti, hogy az MSZ EN 1125 szabvány szerinti működtetőberendezéssel szerelt ajtó kevésbé lenne biztonságos, hanem arra hívja fel a figyelmet, hogy túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén a nyitáshoz szükséges erő kifejtést a rúd kilincstől eltérő erőjátéka miatt nagyobb lehet.

Ennek hatását a tervezés során javasolt figyelembe venni, különösen abban az esetben, ha az összefüggő tömeg tartózkodásra szolgáló helyiségből a biztonságos térbe vezető útvonalon alkalmazott, túlnyomásos térbe nyíló ajtókon keresztül jellemzően kisebb létszám kiürítése valószínű az épület használata során.

Amennyiben a pánikrúd az ajtószárnyon nem szimmetrikusan helyezkedik el, úgy a szabvány előírásából adódóan az 39. számú ábra szerinti kialakítás jöhet létre.



39. ábra – Nyitási erő értelmezése aszimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt, egyszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén, készítette a szerző

A 39. ábra jól szemlélteti, hogy amennyiben egy azonos geometriai kialakítású ajtót vizsgálunk és az ajtó mozgásba hozásához szükséges erőt a pánikrúd közepén fejtik ki, akkor az aszimmetrikusan felszerelt pánikrúd esetén F_{ny} értéke kisebb a szimmetrikusan szerelt pánikrúdnál. Mivel a pánikrúd egyik szélének mindenképpen az ajtó zár oldali végétől legfeljebb 0,15 m-re kell lennie, ezért az aszimmetrikus pánikrúd elhelyezés esetén F_{ny} erő karja a (29) egyenlet szerint alakul.

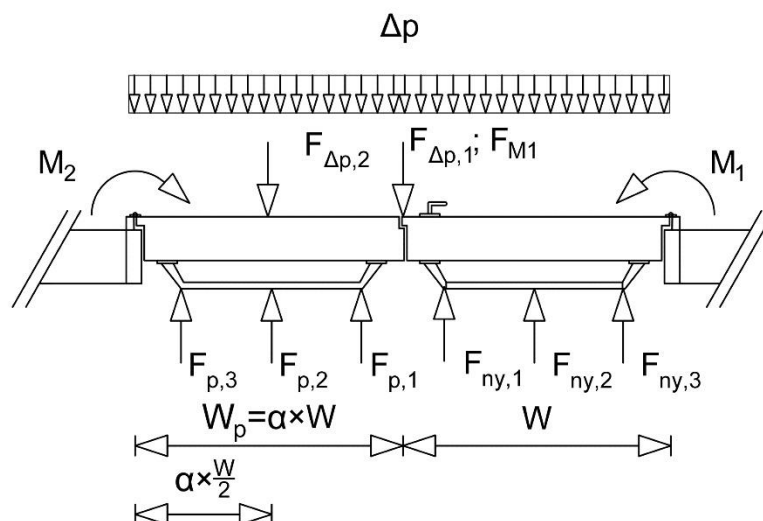
$$W - a_1 > \frac{l}{2} + p_2 > \frac{W}{2} \quad (29)$$

Fenti számítások alapján megállapítható, hogy az ajtólap mozgásba hozását akadályozó ellenállások leküzdését legoptimálisabban a kilinccsel szerelt ajtó biztosítja. Ekkor a kilincs fizikai elhelyezkedésétől függően a nyitási erő karja gyakorlatilag megegyezik az ajtólap szélességének a zártávolsággal csökkentett értékével.

Pánikrúddal szerelt ajtók esetén a legkedvezőtlenebb eset, ha a szimmetrikusan elhelyezett pánikrúd pánt felőli végén helyezkedik el a nyitási erő támadási pontja.

Aszimmetrikus rúdelhelyezés esetén – a szabvány előírásából adódó követelmény betartásával – a nyitási erő támadáspontja a zár irányába tolódik, azaz az erő karja nő, így az ajtólap mozgásba hozásához szükséges erő nagysága mérséklődik.

Szimmetrikus elrendezésű kétszárnyú, pánikrúddal szerelt ajtót szemléltet az 40. ábra. A mozgószárny szélessége W , míg az állószárny szélessége W_p , mely esetén teljesül, hogy $W_p = \alpha \times W$ és $W > W_p$. A mozgó- illetve állószárnyon lévő pánikrudak jellemző erő kifejtés helyeit tartalmazza az ábra. Az „1” index jelöli a zár felőli oldalt, a „2” index jelöli a pánikrúd közepét, míg a „3” index jelöli a pánt felőli véget. Az ajtólap mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés így a mozgószárnyon $F_{ny,i}$, míg az állószárnyon $F_{p,j}$.



40. ábra – Nyitási erő értelmezése szimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt, kétszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén a mozgásba hozás pillanatában, készítette a szerző

Ha az ajtó a túlnyomásos térbe nyílik, és a nyílászárnyon a szimmetrikusan elhelyezett pánikrúd közepén kerül kifejtésre a nyitási erő, akkor az erőviszonyok a nyitás mechanizmusától függően a korábbiakban ismertetettek szerint alakul a (30) egyenlet szerint.

$$F_{ny,2} = \frac{2 \cdot M_1}{W} + \Delta p \cdot H \cdot W \quad (30)$$

Amennyiben a nyitáshoz szükséges erőt az állószárnyon fejtik ki, akkor az ajtószárny mozgásba hozásának pillanatában le kell győzni a mozgószárny csukószerkezetéből és a mozgószárny felületéből átadódó ellenállásokat is. $F_{p,2}$ értéke ekkor az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$F_{p,2} = \frac{2 \cdot M_2}{\alpha \cdot W} + \frac{2 \cdot M_1}{W} + \Delta p \cdot H \cdot W \cdot (1 + \alpha) \quad (31)$$

Alapul véve a TvMI és az MSZ EN 12101-13 által javasolt differenciálynomás értékeket, egy 2,0 méter szélességű, 2,0 méter magasságú 40. ábrán szereplő ajtónál, az ajtószárny szélességéhez az MSZ EN 1154 szabvány által javasolt nyitási nyomatékú (az adott osztály alsó és felső csukónyomaték határértékének átlaga), $\eta=0,8$ hatásfokú csukószerkezetek esetén 30 Pa és 50 Pa nyomáskülönbségek esetén $\alpha=0,33-1,00$ között a nyitáshoz szükséges erők aránya a 18. táblázatban szereplő példa szerint alakul. Az álló szárny legkisebb méretét a CFPA-E irányelv ajánlását figyelembe legfeljebb 0,5 m-ig csökkentettem. [155, o. 9]

18. táblázat – A mozgó- illetve az állószárnyra szerelt pánikrúd közepére kifejtett, az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges elméleti erők példája, szerkesztette a szerző

α	Szárnnyak szélessége		Differenciálnyomás					
			30 Pa			50 Pa		
	W (m)	W _p (m)	F _{ny,2} (N)	F _{p,2} (N)	F _{ny,2} / F _{p,2}	F _{ny,2} (N)	F _{p,2} (N)	F _{ny,2} / F _{p,2}
0,33	1,5	0,5	235 (133)	355 (293)	1,51 (2,20)	295 (193)	435 (373)	1,47 (1,93)
0,43	1,4	0,6	180 (130)	291 (275)	1,62 (2,11)	236 (186)	371 (355)	1,57 (1,90)
0,54	1,3	0,7	182 (128)	288 (263)	1,58 (2,05)	234 (180)	368 (342)	1,57 (1,91)
0,67	1,2	0,8	149 (126)	253 (255)	1,70 (2,02)	197 (174)	333 (335)	1,69 (1,93)
0,82	1,1	0,9	125 (125)	229 (251)	1,83 (2,01)	169 (169)	309 (331)	1,83 (1,96)
1,00	1,0	1,0	125 (125)	250 (250)	2 (2,00)	165 (165)	330 (330)	2 (2,00)

A 18. táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy ha a példa szerint kialakított ajtónál szárnyak elrendezése nem szimmetrikus, akkor a nyílószárnyon kifejtendő nyitási erő növekvő tendenciát mutat, mely ugyanakkor $\alpha > 0,8$ tartományban nem jelentős.

Feltételezve, hogy az állószárny szélessége legfeljebb a nyílószárny szélességével megegyező, elmondható, hogy a szimmetrikus elrendezés esetén a legkisebb a nyíló szárnyon kifejtendő nyitási erő, ugyanakkor az álló szárnyon ekkor a legnagyobb (a nyíló szárnyon szükséges erő kétszerese). Az összehasonlíthatóság végett a zárójelben szereplő nyitási erők egységesen 32,5 Nm nyitónyomatéokra lettek kiszámítva a szárnyak geometriájától függetlenül.

Ez a számítás természetesen az 40. ábra szerinti elrendezésre vonatkozik a megadott szám adatok esetén, amikor a pánikrudak elhelyezkedése az ajtószárnyakon szimmetrikus.

Kiürítés céljára figyelembe vett kétszárnyú ajtó esetén – összhangban a CFPA-E irányelvvel – javasolható, hogy 0,5 m-nél keskenyebb állószárny ne kerüljön alkalmazásra. Ez nem vonatkozik azon esetekre, amikor az állószárny nem vesz részt a kiürítésben, ekkor az állószárny szélessége – tűzvédelmi szempontból – a javasolt értéknél kisebb szélességű is lehet.

Ha a korábbi példában szereplő ajtónál a nyitáshoz szükséges erőt a nyíló szárny zárszerkezet felőli oldalán fejtjük ki, úgy, hogy az ajtólap szélétől mért távolság 170 mm [156], akkor a nyitáshoz szükséges erő kifejtés az 19. számú táblázat szerint alakul.

19. táblázat – az ajtószárnyak nyitásához szükséges elméleti erők, szerkesztette a szerző

α	Szárnyak szélessége [m]		Mozgószárny nyitásához szükséges erő [N]	
	W (m)	W _p (m)	30 Pa	50 Pa
0,33	1,5	0,5	133 (0,57)	166 (0,56)
0,43	1,4	0,6	103 (0,57)	135 (0,57)
0,54	1,3	0,7	105 (0,58)	135 (0,58)
0,67	1,2	0,8	87 (0,58)	115 (0,58)
0,82	1,1	0,9	74 (0,59)	100 (0,59)
1,00	1,0	1,0	75 (0,6)	99 (0,6)

A 19. számú táblázat alapján megállapítható, hogy pánikrúddal szerelt mozgószárny esetén a pánikrúd zárhoz közelebb eső végén az ajtólap mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés kisebb, $\alpha > 0,8$ esetén a rúd közepén kifejtett erőnél – összehasonlítva a 18. számú táblázattal – 40%-al.

Az OTSZ vonatkozó pontja alapján pánikrúddal ellátott ajtó esetén az ajtón jelölni kell azok nyitási mechanizmusát a kezelésükre utaló biztonsági jellel. [1] Az MSZ EN 1125 szabvány „A” melléklete tartalmaz a jelölésre egyedi piktogramot, melyet közvetlenül a pánikrúd felett vagy magán a pánikrúdon kell elhelyezni. [153, o. 46] Általánosságban elterjedt, hogy a pánikrúddal szerelt ajtókon a nyitási mechanizmus jelölést – vélhetően esztétikai okokból – a szárnyak középvonalában helyezik el. Ilyen kialakításokra mutat példát a 11. kép, ahol szimmetrikus és aszimmetrikus túlnyomósos füstmentes lépcsőházba nyíló kétszárnyú ajtók nyitási mechanizmus jelölése látszik.



11. kép – Szimmetrikus és aszimmetrikus szárny kialakítású, szimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt túlnyomásos füstmentes lépcsőházba ajtók, készítette a szerző

Korábbi források is megemlítik, hogy pánikrúddal szerelt ajtóknál a felhasználó ugyan ismeri az működtetés módját, azonban nem tudja melyik oldalt kell megnyomnia. [157, o. 64] Egy kutatás megállapította, hogy vizsgált nyílászáróknál a magasabb emberek az ajtó magasabb részén érintették meg az ajtót, míg mindenki az ajtó középső harmadán vagy az ajtó szabadon lengő oldalán érinti meg az ajtót. [158]

Korlátozott látásviszonyok között a pánikrúddal szerelt ajtó működtetése még nyomáskülönbség nélkül is több időt igényelhet, ha nem ismert a nyitási mechanizmus működése. [159]

Norman szerint a pánikrúddal szerelt ajtók esetében a megfelelően kialakított működtető eszközök, valamint az egyértelmű, vizuálisan jól észlelhető jelölések kulcsszerepet játszanak abban, hogy a felhasználók pánikhelyzetben is a helyes módon és irányban működtessék az ajtókat. [160, o. 60; 133]

New York város építési kódexe szerint azokat az ajtókat, amelyeken a bent tartózkodóknak a menekülés során át kell haladniuk alacsony elhelyezésű, fénykibocsátó vészkijárat szimbólummal kell megjelölni úgy, hogy a jel függőleges középvonala az ajtó középvonalára essen, vagy az ajtónak abban a felében legyen elhelyezve (jobb vagy bal oldalon), ahol a zárszerkezet található. [161, o. 1025.2.6.1]

3.3. Nyitási erő méréséhez használt eszközök

A nyitási erő mérésére két különböző méréshatárú digitális húzó-nyomó erőmérőt alkalmaztam. A kalibrált műszerek méréshatára az FK1K típus esetén 0-1000 N, míg az FK250 típus esetében 0-250 N volt.

Ezen kívül a mérések során a várható erő nagyságának becslésére használtam egy egyszerű, rugós elven működő HMC035 típusú nyomó erőmérőt, melynek méréshatára 0-35 lbs ($\approx$ 0-155 N) közötti. Az alkalmazott műszereket a 12. kép szemlélteti.

Mindkét digitális műszer pontossága a maximális méréshatár $\pm 0,5\%$ -a volt, felbontásuk az FK1K típusú műszer esetén 0,5 N, míg az FK250 esetén 0,1 N volt. Az MSZ EN 12101-13 szabvány szerint az erőmérésre használt műszernek legalább 5%-os pontossággal kell rendelkeznie, a mérendő értékek legfeljebb 150 N tartományára vonatkoztatva. [5, o. 44] Az általam alkalmazott műszer metrológiai jellemzői ezen elvárásoknak megfelel.



12. kép – Nyitási erő mérése kalibrált digitális húzó-nyomó erőmérő alkalmazásával és egyszerű rugós erőmérővel, készítette a szerző [162]

A műszerek B-típusú bizonytalansága a gyári specifikációban megadott adatok alapján a 20. táblázatban ismertetettek szerint foglalható össze.

20. táblázat – Az alkalmazott műszer felbontásából és pontosságából adódó bizonytalanság, szerkesztette a szerző

Komponens	Alkalmazott összefüggés	FK250	FK1K
A műszer standard bizonytalansága	$u_{B,kal} = \frac{a}{\sqrt{3}}$	0,72 N	2,89 N
A felbontásból adódó bizonytalanság	$u_{B,felb} = \frac{i_{felb}}{\sqrt{12}}$	0,029 N	0,14 N
A kombinált standard bizonytalanság	$u_c = \sqrt{u_{B,kal}^2 + u_{B,felb}^2}$	0,72 N	2,90 N
Kiterjesztett bizonytalanság (k=2)	$2 \cdot u_c$	±1,44 N	±5,8 N

Az 1000 N méréshatáru erőmérő műszer kalibrálási bizonyítványa szerint 100 N mérési ponton a kiterjesztett mérési bizonytalanság 0,58% (k=2), ezért $u = \pm 0,58 \text{ N}$ (k=2) mérési bizonytalanság, ezért konzervatív módon, a felső végpontra számítva ez az érték kerül figyelembe vételre 50-100 N közötti tartományra.

A nyomáskülönbség méréseket a 1.3. pontban ismertetett 400 típusjelű műszerrel végeztem az ajtólap alatt átvezetett szilikoncső segítségével.

Hosszúságmérésre az EK 2014/32/EU irányelve szerinti I. pontossági osztályba tartozó 0-3 m tartományú mérőszalagot alkalmaztam. A pontossági osztályra maximálisan megengedett hiba ($\pm 1 \text{ mm/m}$) alapján becsült standard bizonytalanságból származtatott, k=2 lefedettségi tényezővel számított kiterjesztett bizonytalanság $U \approx \pm 0,7 \text{ mm}$ a teljes tartománya.

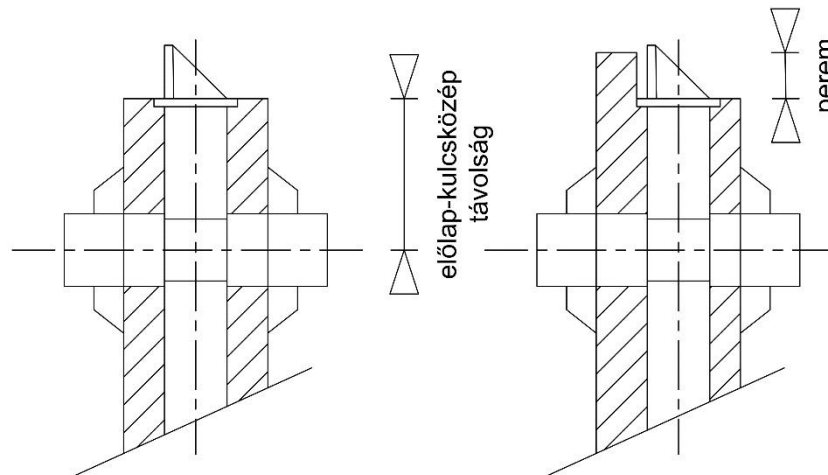
Az alkalmazott műszer felbontása és pontossága megfelel az MSZ EN 12101-13 szabvány elvárásainak.

3.4. Nyitási erő méréséhez alkalmazott módszer

A vizsgálat elvégzése előtt rögzítésre kerültek az ajtólap jellemző geometriai méretei, melyek az alábbiak voltak:

- Az ajtólap túlnyomósos tér felőli oldalán mért szélessége és magassága, mely ütközőperemes ajtók esetén tartalmazza a perem szélességét is.
- Ütközőperemes ajtók esetén a perem szélessége.
- Az ajtólap peremétől – ütközőperemes ajtók esetén a perem szélétől – a pánt forgástengelyének középpontjáig mért távolság.
- A zárszekrény előlapjától a kilincstengely középpontjáig (dió) mért távolság.

- Pánikrúddal szerelt ajtók esetén a pánikrúd hatásos hossza, továbbá a pánikrúd szerkezet ajtólapra rögzítésének pontos elhelyezkedését.



41. ábra – Ütközőperem nélküli és ütközőperemes kialakítás értelmezése, készítette a szerző
[163, o. 119] alapján

A nyitási erő mérése kétféle működtető szerkezeten került elvégzésre a vizsgált ajtókon. Az egyik típus a kilinccsel szerelt ajtók. Ebben az esetben az erő mérése közvetlenül a kilincstengely felett történt. Ez a mérési módszer minimalizálja a kilincs alakjából eredő mérési hiba lehetőségét. [156] Annak érdekében, hogy az egymást követő mérések, továbbá a jellemző hosszmeretek meghatározása során minimalizáljam a hiba lehetőségét a kilincstengely felett, a mérés vonalában, pánikrúddal szerelt ajtók esetén a pánikrúdon meghatározott mérési pontokon, jelölést helyeztem el, melyet a 13. kép szemléltet. Így több mérés során a műszerrel ugyanazon ponton mértem, illetve az előlap-kulcsközéptávolság (előlap-kilincstengely távolság) mérése is ennek megfelelően történt.



13. kép – A mérési pontok jelölése kilinccses és pánikrudas ajtón, készítette a szerző

A másik típus, az MSZ EN 1125 szabvány szerinti pánikrúddal felszerelt ajtók voltak, melyek esetében három helyen végeztem el a méréseket: a rúd zárszekrény felé eső szélén, a rúd hatékony hosszának középpontjában és a rúd pánt felőli végét. Ezen mérési pontokat az előzőekben ismertetettek szerint szintén jelöléssel láttam el. A mérések a zárszerkezet kioldott állapotában történtek, mivel a vizsgálat célja nem a zárszerkezet működtetéséhez szükséges erő kifejtés (nyitás-erő) vizsgálata volt, hanem az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges maximális erő meghatározása.

A vizsgált ajtók valamennyi esetben rendelkeztek önműködő csukószerkezettel, melyek között voltak az MSZ EN 1154 szabvány szerinti csukószerkezetek és az MSZ EN 1935 szabvány szerinti, rugóval egybeépített pántok is. Az ajtó kinyitásához szükséges erő a nyomáskülönbségből és az ajtócsukóból származó erők leküzdéséhez szükséges erők összegéből áll. [164, o. 15]

Egy mérési ponton valamennyi esetben legalább három mért erő átlagával számoltam, mely összhangban van az MSZ EN 1154 szabvánnyal. A nyitási erő mérésével egyidejűleg rögzítettem az ajtólap két oldala közötti nyomáskülönbséget is.

Ha a csukott ajtó magasabb nyomású térbe nyílik, akkor az ajtó nyitásakor, az ajtólap mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés a kezdeti pillanatban a legnagyobb, mivel az ajtó nyitásával egyidejűleg a nyomáskülönbség lecsökken. [42, o. 208] A nyitási erő mérésekor az ajtót olyan kis sebességgel nyitottam ($<1^\circ/\text{s}$), hogy az a nyitási erő értékét lehetőleg ne befolyásolja és ügyeltem rá, hogy az erő végig az ajtólapra merőlegesen adódjon át a műszer tapintócsúcsára. Ez a megoldás összhangban van a szabályozottan működő ajtócsukó eszközök vizsgálati módszerét tartalmazó szabvánnyal. [154] A vizsgálatok során a hőmérséklet normál, szobahőmérsékletű volt, $20-24^\circ\text{C}$ között.

3.5. Ajtószárnyak mozgásba hozásához szükséges erő mérési eredményei

Az alábbiakban bemutatom túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egy- és kétszárnyú ajtón végzett nyitási erő mérés eredményeit.

3.5.1. Egyszárnyú, kilinccsel szerelt ajtó vizsgálata

A vizsgálat során egy két, túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egyszárnyú ajtót vizsgáltam. Az „A” jelű ajtó a közlekedő és lépcsőház előtér között volt beépítve és rendelkezett igazolt tűzállósági teljesítménnyel. A „B” jelű ajtó hagyományos, beltéri ajtó, az előtér és a lépcsőház között került beépítésre. Az ajtók önműködő csukószerkezettel rendelkeztek és a méréseket a nem mért ajtó nyitott állapotában végeztem. Az ajtólapok jellemző geometriai méreteit az 21. számú táblázatban foglaltam össze.

21. táblázat – A vizsgált egyszárnyú ajtók geometriai jellemzői, szerkesztette a szerző

Ajtó jele	W [m]	H [m]	a ₁ [m]	a ₂ [m]	e [m]	f _p [m]	f _z [m]
„A”	1,080	2,142	0,09	0,540	0,015	0,01	0,01
„B”	1,049	2,107	0,07	0,525	0,015	0,00	0,00

Az első mérési sorozatot a túlnyomásos füstmentesítő rendszer működtetése nélkül végeztem. Ekkor ajtónként három-három mérést végeztem és összehasonlítás céljából az egyszerű, rugós erőmérőt is alkalmaztam.

A második mérési sorozatban a túlnyomásos füstmentesítő rendszert működtettem és rögzítettem az ajtó két oldala közötti nyomáskülönbséget. A mérések eredményeit az 22. számú táblázat tartalmazza.

22. táblázat – Az egyszárnyú ajtóknál végzett mérések eredményeinek összefoglaló táblázata, szerkesztette a szerző

Ventilátor	Ajtó jele	Digitális erőmérővel mért nyitási erő (N)				Rugós erőmérővel mért nyitási erő (N)				Mért nyomás- különbség (Pa)
		1.	2.	3.	Átlag	1.	2.	3.	Átlag	
Nem üzemel	„A”	35,5	36,5	35,5	35,8	39	40	40	39,7	-
	„B”	39,0	39,0	39,0	39,0	42	43	44	43,0	-
Üzemel	„A”	107	107	106	106,7	110	110	112	110,7	56,6
	„B”	99,5	102	101	100,8	100	100	100	100,0	54,1

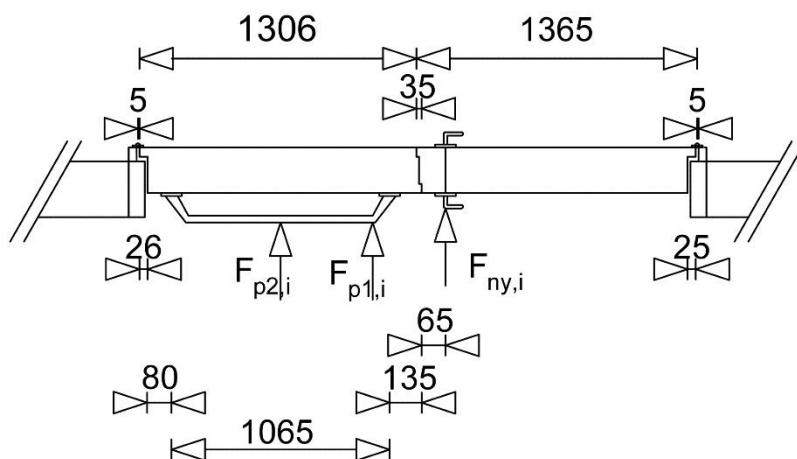
A mérési eredmények alapján a (27) egyenlet felhasználásával megbecsülhetjük a nyitónyomaték értékét, mely tartalmazza a súrlódási és egyéb veszteségekből származó ellenállást is. Ez az „A” jelű ajtó esetén 35,6 Nm, míg a „B” jelű ajtó esetén 38,8 Nm volt digitális erőmérővel mérve. A rugós erőmérővel mért nyitási erők ekkor hozzávetőleg 10%-al voltak nagyobbak, azaz az ajtólap mozgásba hozásához szükséges tényleges erőt túlbecsülte.

Működő túlnyomásos lépcsőházi ventilátor esetén az „A” jelű ajtónál 56,6 Pa átlagos nyomáskülönbséget figyelembe véve a (27) képlettel számított nyitási erő 108,8 N, míg a „B” jelű ajtó esetén 54,1 Pa nyomáskülönbségnél 104,0 N.

Megállapítható a vizsgált ajtók esetében, hogy a mért nyitási erő a túlnyomásos füstmentes lépcsőházi ventilátor működésekor, hozzávetőleg 50+10% Pa relatív nyomáskülönbség esetén az ajtó szélességéhez ajánlott teljesítménykategóriába állított nyomatékú csukószerkezet esetén minimálisan ugyan, de meghaladta az elvárt, legfeljebb 100 N értéket. A mért nyomáskülönbségből számított nyitási erő az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő méréssel meghatározott értékével nagyságrendileg összevethető.

3.5.2. Kétszárnyú, álló szárnyon pánikrúddal szerelt ajtó vizsgálata

A következő kísérletben egy 2,67 m teljes szélességű kétszárnyú ajtót vizsgáltam. Az ajtó a mozgószárnyon kilinccsel volt szerelve, míg az állószárnyon pánikrúddal. A tűzgátló ajtó automata küszöbvel volt felszerelve mindkét szárnyon, a szárnyak magassága a túlnyomásos tér irányából mérve 2,062 m volt. A felmérés alapján meghatározott jellemző geometriai méreteket az 42. számú ábra szemlélteti.



42. ábra – A vizsgált kétszárnyú ajtó geometriai jellemzői, készítette a szerző

Ebben a kísérletben három mérési elrendezést jelöltem ki. Az első mérési sorozatban a túlnyomásos füstmentes lépcsőház ventilátora kikapcsolt állapotban volt, ekkor a nyomáskülönbség hozzávetőleg 0 Pa volt az ajtó két oldala között. Ekkor mérést végeztem a mozgószárny kilincsenél, az állószárnyon lévő pánikrúd közepén és a pánikrúd kilincs felőli végén, attól 100 mm-re. Ezt követően elindítottam a lépcsőházi ventilátort. Mivel a túlnyomáslevezető hiánya, a lépcsőház légtömörsege, továbbá a lépcsőházba nyíló ajtók méretéből adódó nagy gépteljesítmény – 87 500 m³/h, amelyet egy ventilátorral fedeztek – lengéseket hozott létre a második mérési sorozatot a földszinti ajtó nyitott állapotában végeztem.

Megjegyzendő, hogy noha a tervezett túlnyomáslevezető szerkezet nem épült be, több kisebb kapacitású ventilátor alkalmazása lett volna célravezetőbb. Emiatt a kialakult nyomáskülönbséghez alkalmazkodva 6,1 Pa mellett kerültek elvégzésre a mérések, szintén a nyílászárny kilincsenél és a mozgószárny pánikrúdján, a korábban ismertetett helyeken.

A harmadik elrendezésben a földszinti ajtót becsuktam. Ekkor 44-80 Pa közötti nyomáskülönbség alakult ki, azaz az átlagos túlnyomás a kapcsolódó terekhez képest körülbelül 59 Pa volt, 9,29 Pa szórással. Ebben az esetben már a kilincsen is 146 N nyitási erő volt mérhető.

A mérési helyek jelölése a 40. számú ábrán bemutatott jelölésrendszer szerint történik a 23-26. számú táblázatokban.

A $\Delta p=0$ nyomáskülönbség mellett a kilincsen és a pánikrúd két pontján végzett mérések eredményeit tartalmazza az 23. táblázat. Az állószárny nyitónyomatékának számításakor figyelembe lett véve a mozgószárny nyitónyomatékából adódó ellenállás, mely során az átlapolásnál 35 mm távolságot vettem figyelembe.

23. táblázat – Az ajtószárnyak mozgásba hozásához szükséges mért erők, szerkesztette a szerző

Mérés helye	Mért erő (N)				Nyitónyomaték [Nm] (erőkar [m])
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{ny}^{\Delta p=0}$	42,0	43,0	41,5	42,2	53,59 (1,270)
$F_{p,1}^{\Delta p=0}$	111,5	112,5	113,0	112,3	67,43 (1,069)
$F_{p,2}^{\Delta p=0}$	190,1	189,8	191,3	190,4	69,90 (0,6435)
Nyílászárny átlagos nyitónyomatéka					53,59
Állószárny átlagos nyitónyomatéka					68,67

A nyílászárny szélességét figyelembe véve a csukószerkezet teljesítménykategóriája az 5. osztályba esne, azonban az ajtószárny tömege nem ismert. Az ajtón lévő csukószerkezet teljesítménynyilatkozattal igazolt osztálya EN 1-4 volt. Ha a méréssel meghatározott nyitási erők alapján becsült 53,59 Nm nyitónyomatékot veszünk figyelembe, akkor a kilincs tengelyéig mért erőkar ismeretében becsülhető az ajtó nyitásához szükséges erő kifejtés különböző nyomáskülönbség esetén. Jelen esetben az erőkar hossza 1,27 m volt, így 30 Pa illetve 50 Pa differenciálnyomás esetén a becsült nyitási erő a (32) és (33) egyenletek szerint alakul.

$$F_{ny}^{\Delta p=30 \text{ Pa}} = \frac{1,365 \cdot 2,062 \cdot 30 \cdot \left(\frac{1,365}{2} + 0,005\right)}{1,270} + \frac{53,59}{1,270} = 87,91 \text{ N} \quad (32)$$

$$F_{ny}^{\Delta p=50 \text{ Pa}} = \frac{1,365 \cdot 2,062 \cdot 50 \cdot \left(\frac{1,365}{2} + 0,005\right)}{1,270} + \frac{53,59}{1,270} = 118,38 \text{ N} \quad (33)$$

Vagyis ebben a kialakításban az ajtó nyitásához szükséges erő kifejtés már a kilinccsel szerelt nyílászárnyon sem lesz biztosítható 50 Pa relatív nyomáskülönbség mellett. A képlettel számított értékek megerősítéseként az 24. táblázatban foglaltam össze a további két nyomáskülönbség érték mellett végzett nyitási erő mérések eredményeit a mozgószárnyon. A táblázat utolsó oszlopában a differenciálnyomás ismeretében becsült nyitáshoz szükséges erő kifejtés szerepel.

24. táblázat – A mozgószárnyon mért erő 6,1 Pa és 59 Pa nyomáskülönbség esetén, szerkesztette a szerző

Mérés helye	Mért erő (N)				Becsült erő [N] (Mért/becsült)
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{ny}^{\Delta p=6,1 \text{ Pa}}$	53,0	53,5	54,0	53,5	51,49 (1,04)
$F_{ny}^{\Delta p \approx 59 \text{ Pa}}$	145,5	145,5	146,0	145,7	132,09 (1,10)

A 24. számú táblázat alapján elmondható, hogy a számítással becsült nyitási erő nagyságrendileg összehasonlítható a mért nyitási erő értékekkel. A nyomáskülönbség mellett mért nyitási erő értékek függetlenek a becslési eljárásban szereplő értékektől (mivel abban az esetben a mért differenciálnyomásból és nyomáskülönbség nélkül mért nyitási erőkből származó értékek kerülnek figyelembe vételre).

Ha azt feltételezzük, hogy a mozgószárnyra is pánikrúd kerülne elhelyezésre, akkor a rúd zár felé eső végén hozzávetőleg a kilincs erőkar értéke lenne használható, míg a pánikrúd közepén kifejtett erő esetén ez az erőkar hozzávetőleg 0,683 m lenne. Ekkor az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő a pánikrúd közepén 50 Pa nyomáskülönbség mellett körülbelül 220 N lenne, míg 30 Pa esetén 163,5 N adódna.

A vizsgálat következő részében a pánikrúddal szerelt állószárny mozgásba hozásához szükséges erő nagyságát mértem. Ennek a mérési sorozatnak az volt a célja, hogy az előzőekben ismertetett módszer mentén megbecsüljem a szükséges erő nagyságát. Az állószárny csukószerkezetének a nyomáskülönbség nélkül végzett nyitási erőmérések értékeiből becsült átlagos nyitónyomatékát az 25. számú táblázat tartalmazza.

25. táblázat – Az állószárny mozgásba hozásához szükséges erők, szerkesztette a szerző

Mérés helye	Mért nyitási erő (N)				Nyitónyomaték [Nm] (erőkar [m])
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{p,1}^{\Delta p=0}$	111,5	112,5	113,0	112,3	67,43 (1,069)
$F_{p,2}^{\Delta p=0}$	190,1	189,8	191,3	190,4	69,90 (0,644)
Állószárny átlagos nyitónyomatéka					68,67
Ellenőrzés az állószárny nyitónyomatékának mozgószárny nélküli mérésével					
$F_{p,1}^{\Delta p=0}$	60,4	60,9	60,7	60,67	64,86 (1,069)
$F_{p,2}^{\Delta p=0}$	105,6	105,9	109,9	107,13	68,99 (0,644)
Állószárny átlagos nyitónyomatéka					66,84

A 25. számú táblázatban összefoglalt mérési eredmények azt mutatták, hogy a kétféle módon becsült nyitónyomaték értéke nagyságrendileg összevethető. A mozgószárny és az állószárny becsült nyitási nyomatékának ismeretében a korábban ismertetett számítási eljárással megbecsülhető az állószárny nyitására szükséges erő kifejtés nagysága az ajtólap mozgásba hozásához. Ekkor az ajtólap mozgásba hozásának pillanatában az alábbi erőket szükséges kompenzálni: az állószárny csukószerkezetének nyitónyomatéka, a mozgószárny csukószerkezetének nyitónyomatéka, az állószárnyra ható nyomáskülönbségből adódó erő és a mozgó szárnyra ható nyomáskülönbségből adódó erő.

A 42. számú ábrán szereplő modell paramétereiből számított és a méréssel meghatározott, az állószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés nagyságát az 26. táblázat tartalmazza.

26. táblázat – Az állószárny mozgásba hozásához szükséges mért és becsült erő 6,1 Pa nyomáskülönbség esetén, szerkesztette a szerző

Mérés helye	Mért erő (N)				Becsült erő [N] (Mért/becsült)
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{p,1}^{\Delta p=6,1}$	132,0	130,0	129,5	130,5	133,88 (0,98)
$F_{p,2}^{\Delta p=6,1}$	223,5	224,5	223,0	223,7	222,41 (1,01)

Ezen vizsgálat alapján megállapítható, hogy a számítással becsült értékek a ténylegesen mért értékekkel nagyságrendileg összehasonlíthatók. A nyitási erő kifejtés nagysága a mérési pont helyétől jelentősen függ. A nyílószárnyon regisztrált, az ajtószárny mozgásba hozásához

szükséges erő kifejtés a kilincsnél mérve kedvezőbb volt, mint az állószárny pánikrúdján mért nyitási erő értékek. A pánikrúdon mért erő kifejtés mértéke pedig eltérő volt abban a tekintetben, hogy az erőt a rúd mely részén mértem.

A mérés rámutatott arra, hogy az állószárnyon elhelyezett pánikrús nyitási mechanizmusa ugyan nagyobb biztonságot nyújt, mint a mozgószárnyon lévő kilincs, a túlnyomásos füstmentes lépcsőház működése közben azonban a kilincs használatával még a pánikrúdon mért legkedvezőbb erő harmada elegendő volt a szárny mozgásba hozásához.

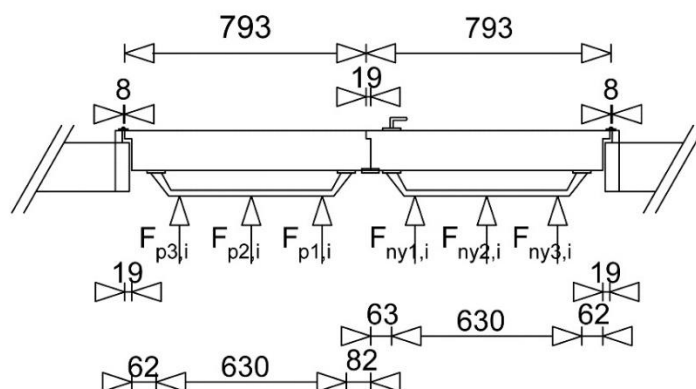
3.5.3. Kétszárnyú, mindkét szárnyon pánikrúddal szerelt ajtó vizsgálata

Ebben a vizsgálatban olyan túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló kétszárnyú ajtókat vizsgáltam, ahol mindkét szárny pánikrúddal volt felszerelve. A szárnyak automatikus csukódását az MSZ EN 1935 szabvány szerinti pántba épített, előfeszített rugó biztosította és alapesetben a beépített tűzjelző berendezés által vezérelt elektromágnesek tartották nyitott pozícióban. Egyes gyakorlati útmutatók nem ajánlják a rugóval ellátott pánt alkalmazását, mivel valószínűtlennek tartják, hogy a teljesítményük elérje az MSZ EN 1154 szabvány szerinti 3. teljesítménykategória követelményeit. [165, o. 36]

A vizsgálatokat két darab kétszárnyú ajtón végeztem el ugyanazon túlnyomásos füstmentes lépcsőházban. Mérésekkel határoztam meg 0 Pa, 48 Pa és 31 Pa nyomáskülönbségek mellett az ajtószárnyak mozgásba hozásához szükséges erőt a mozgószárnyon és az állószárnyon, valamennyi esetben a pánikrudak közepén, továbbá azok két szélén, a pánikrúd végétől mért 55 mm távolságban. A nyomáskülönbséget a lépcsőházi füstmentesítő ventilátorok frekvenciaváltójának állandó fordulatszámom működtetésével (manuális üzemben) állítottam be $50 \pm 10\%$ Pa és $30 \pm 10\%$ Pa határon belül. A 30 Pa-on végzett vizsgálat célja az MSZ EN 12101-13 szabvány által javasolt min. 30 Pa relatív túlnyomás nyitási erőre gyakorolt hatásának meghatározása volt a nyitási erőre.

A ventilátorok indítása első alkalommal manuálisan, „tűztablóról” történt, ugyanakkor fontos észrevétel, hogy a tűztablóról történő indítás esetén az ajtókat nyitott állapotban tartó elektromágnesek feszültség alatt maradtak, így ekkor a lépcsőházi ajtók önműködő csukódása nem volt biztosított, a frekvenciaváltóval szabályozott ventilátorok a névleges fordulatszámom üzemeltek. Beépített tűzjelző berendezés jelére az ajtókat tartó elektromágnesek feszültségmentesítése megtörtént, az ajtók önműködően becsukódtak és a lépcsőházi füstmentesítő rendszer elindult.

A kétszárnyú ajtók magassága 2,37 m volt, a helyszíni felmérésből származó pontos geometriai méreteket, mely alapján a számításokat végeztem a 43. ábra tartalmazza. A mérési helyek jelölése a 40. számú ábrán bemutatott jelölésrendszer szerint történik a 27-28. számú táblázatokban.



43. ábra – Kétszárnyú, szimmetrikus, mindkét szárnyon pánikrúddal szerelt ajtó méretei,
készítette a szerző

A $\Delta p = 0$ nyomáskülönbség mellett végzett mérések eredményeit tartalmazza az „A” és „B” jelű ajtón a 27. táblázat. Az állószárny nyitónyomatékának számításakor figyelembe lett véve a mozgószárny nyitónyomatékából adódó ellenállás, továbbá a 33 mm túlnyúlású takaróléc.

27. táblázat – Az ajtók nyitásához szükséges erő mérésének eredményei kikapcsolt lépcsőházi
füstmentesítő rendszer esetén, szerkesztette a szerző

„A” jelű ajtó – 4. em. felvonóval szemben, jobb oldali					
Mérés helye	Mért erő (N)				Nyitónyomaték [Nm] (erőkar [m])
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{ny,1}^{\Delta p=0}$	10,8	11,8	11,5	11,37	7,55 (0,664)
$F_{ny,2}^{\Delta p=0}$	17,4	18,5	17,3	17,73	7,16 (0,404)
$F_{ny,3}^{\Delta p=0}$	45,9	47,0	45,2	46,03	6,63 (0,144)
Nyílószárny átlagos nyitónyomatéka					7,11
$F_{p,1}^{\Delta p=0}$	20,1	19,9	19,3	19,77	5,03 (0,664)
$F_{p,2}^{\Delta p=0}$	31,2	31,2	31,2	31,20	4,51 (0,404)
$F_{p,3}^{\Delta p=0}$	91,7	92,5	86,8	90,33	4,91 (0,144)
Állószárny átlagos nyitónyomatéka					4,82

„B” jelű ajtó – 4. em. felvonóval szemben, bal oldali					
Mérés helye	Mért erő (N)				Nyitónyomaték [Nm] (erőkar [m])
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{ny,1}^{\Delta p=0}$	11,3	11,2	12,2	11,57	7,68 (0,664)
$F_{ny,2}^{\Delta p=0}$	18,0	17,7	18,2	17,97	7,26 (0,404)
$F_{ny,3}^{\Delta p=0}$	47,8	47,0	47,6	47,47	6,84 (0,144)
Nyílászárny átlagos nyitónyomatéka					7,26
$F_{p,1}^{\Delta p=0}$	21,3	22,0	22,1	21,80	6,02 (0,664)
$F_{p,2}^{\Delta p=0}$	35,0	34,5	35,4	34,97	5,67 (0,404)
$F_{p,3}^{\Delta p=0}$	95,1	97,6	97,9	96,87	5,50 (0,144)
Állászárny átlagos nyitónyomatéka					5,73

Ezt követően a méréseket elvégeztem 48 Pa és 31 Pa nyomáskülönbség mellett a ventilátorok korábban leírtak szerinti szabályozásával (állandó fordulatszámon való működtetésével). A nyitás erő mérésével egyidejűleg került rögzítésre az ajtó két oldala közötti nyomáskülönbség is. A 28. számú táblázat tartalmazza a mérési eredményeket, továbbá az (30-31) számú képlet felhasználásával a differenciálynomásból becsült nyitási erőket.

28. táblázat – Az szárnyak mozgásba hozásához szükséges erő mérésének eredményei
 $\Delta p=50$ Pa és $\Delta p=30$ Pa névleges nyomáskülönbségen működő lépcsőházi füstmentesítő
rendszer esetén, szerkesztette a szerző

„1” jelű ajtó – 4. em. felvonóval szemben, jobb oldali					
Mérés helye	Mért nyitási erő (N)				Becsült nyitóerő [N] (Mért/becsült)
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{ny,1}^{\Delta p=48}$	63,4	62,7	58,5	61,53	65,67 (0,94)
$F_{ny,2}^{\Delta p=48}$	107,3	103,1	107,4	105,93	107,92 (0,98)
$F_{ny,3}^{\Delta p=48}$	302,0	302,5	303,0	302,5	302,78 (0,99)
$F_{p,1}^{\Delta p=48}$	139,4	141,7	143,0	141,37	136,99 (1,04)
$F_{p,2}^{\Delta p=48}$	221,0	225,5	222,0	228,83	225,15 (1,02)
$F_{p,3}^{\Delta p=48}$	>450	>450	>450	>450	621,67 (-)
$F_{ny,1}^{\Delta p=31}$	44,0	44,5	44,2	42,23	46,19 (0,91)
$F_{ny,2}^{\Delta p=31}$	71,7	75,2	73,3	73,40	75,92 (0,97)

$F_{ny,3}^{\Delta p=31}$	195,4	182,4	198,3	192,03	212,99 (0,90)
$F_{p,1}^{\Delta p=31}$	98,2	94,3	97,5	96,67	95,36 (1,01)
$F_{p,2}^{\Delta p=31}$	161,5	165,7	161,7	162,97	156,73 (1,04)
$F_{p,3}^{\Delta p=31}$	444,0	442,5	441,0	442,50	439,72 (1,01)
„2” jelű ajtó – 4. em. felvonóval szemben, bal oldali					
Mérés helye	Mért nyitási erő (N)				Becsült nyitóerő [N] (Mért/beecsült)
	1.	2.	3.	Átlag	
$F_{ny,1}^{\Delta p=48}$	61,9	60,8	61,8	61,50	65,89 (0,93)
$F_{ny,2}^{\Delta p=48}$	105,5	106,4	103,6	105,17	108,29 (0,97)
$F_{ny,3}^{\Delta p=48}$	282,0	291,5	304,0	292,50	303,82 (0,96)
$F_{p,1}^{\Delta p=48}$	135,0	135,5	135,7	135,40	134,64 (1,01)
$F_{p,2}^{\Delta p=48}$	227,4	221,1	230,9	226,47	221,29 (1,02)
$F_{p,3}^{\Delta p=48}$	>450	>450	>450	>450	620,83 (-)
$F_{ny,1}^{\Delta p=31}$	45,0	45,0	46,7	45,57	46,43 (0,98)
$F_{ny,2}^{\Delta p=31}$	72,5	73,9	70,5	72,30	76,31 (0,95)
$F_{ny,3}^{\Delta p=31}$	200,3	208,9	200,6	203,27	214,10 (0,95)
$F_{p,1}^{\Delta p=31}$	92,1	93,5	92,4	92,67	97,27 (0,95)
$F_{p,2}^{\Delta p=31}$	160,7	159,2	156,1	158,67	159,88 (0,99)
$F_{p,3}^{\Delta p=31}$	397,0	399,5	398,0	397,18	448,54 (0,89)

A mérés eredménye alapján megállapítható, hogy a becsült és a mért erők konzisztens értékeket adtak. Megjegyzendő azonban, hogy a becsülő eljárás során a csukószerkezetek nyitónyomatékát és az ajtó geometriai méreteit, jellemzőit nagy pontossággal kell ismerni.

A vizsgált ajtók vonatkozásában a nyitáshoz szükséges erő kifejtés mérésének eredményei jól mutatják, hogy a nyílászárnyon lévő pánikrúd közepén 1,59-1,74-szer nagyobb nyitási erő kifejtése szükséges a szárny mozgásba hozásához, mint ugyanazon rúd zár felé eső szélén. Ha a menekülő személy – a szimmetriából adódóan – az álló szárnyon elhelyezett pánikrudat működteti, akkor a nyílászárnyon mért értékekhez képest 2,0- 2,3-szor nagyobb erőt kell kifejtenie.

A vizsgált ajtók csukószerkezetének nyitónyomatéka a mérés tartományában csekély értékeket adott, nem érték el az MSZ EN 1154 szabvány szerinti 3. ajtócsukó teljesítménykategória értékét. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a rugós pántok nem az MSZ EN 1154 szabvány szerinti csukószerkezetek. A nyomatékok alacsony értéke egyebekben rávilágít arra is, hogy az elektromágnessel üzemszerűen nyitva tartott ajtók esetén az állandó erőhatásnak kitett rugók rugóállandója csökkenhet, kis nyitási szögek esetén nem garantálható, hogy az ajtó becsukásához szükséges erőt biztosítani tudja.

100 N-nál kisebb nyitási erőt 48 Pa nyomáskülönbség esetén csak a nyíló szárnyon lévő pánikrúd zár felőli végén lehetett regisztrálni. Az MSZ EN 12101-13 szabvány által javasolt 30 Pa nyomáskülönbség esetén a nyílászárnyon lévő pánikrúd közepén és zár felőli végén, továbbá az állószárny zár felőli végén is 100 N alatti nyitási erők voltak mérhetők.

Fentiek alapján javasolható, hogy amennyiben az egy- vagy kétszárnyú, szimmetrikus kialakítású ajtó túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyílik, úgy az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés szempontjából legoptimálisabb része kerüljön megjelölésre a nyitó szerkezetnek.

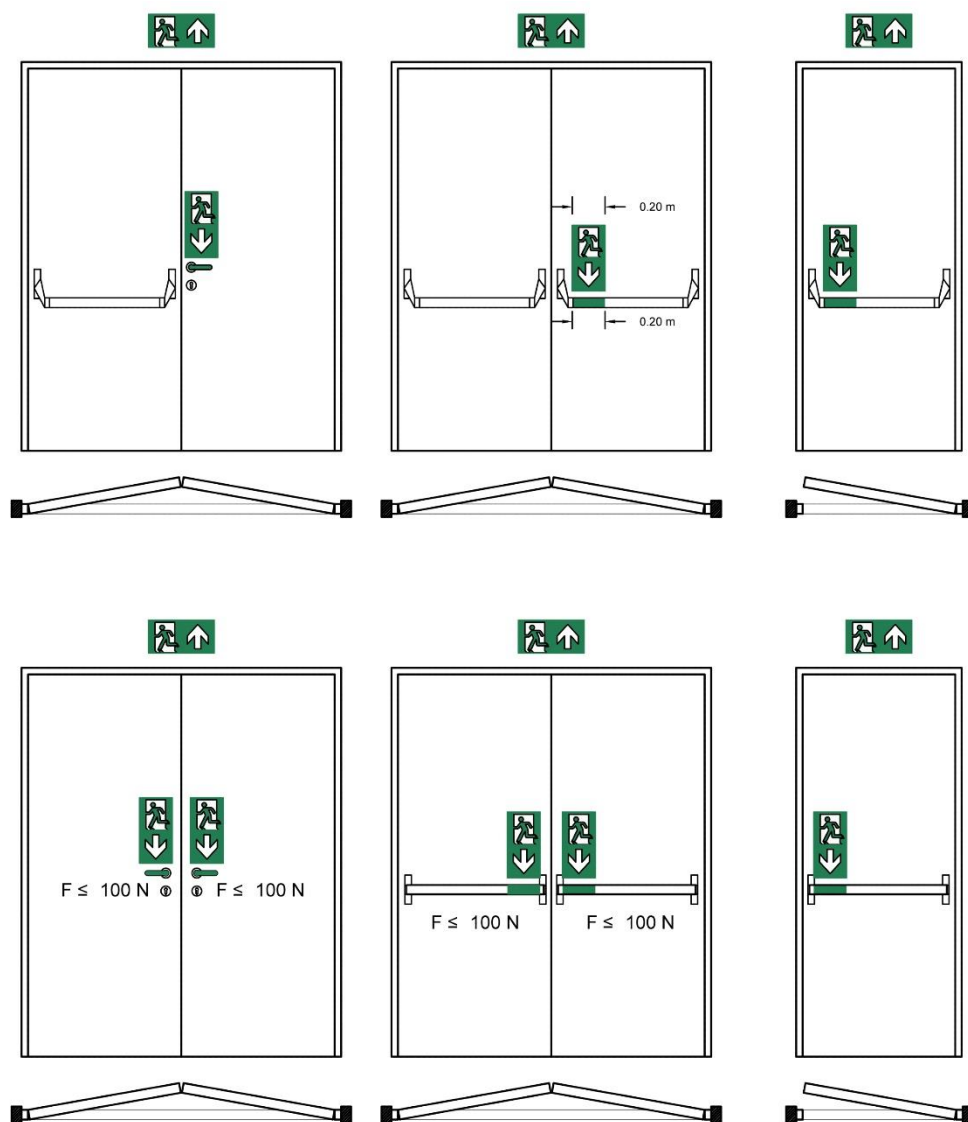
A nyitási mechanizmus szimmetrikus jelölése a mérési eredmények alapján nem okozhat gondot az ajtó nyitása során mindaddig, amíg a túlnyomásos füstmentesítő rendszer nem lép működésbe.

Amikor a lépcsőházban, csukott nyílászáróknál az elvárt túlnyomás kialakul, akkor az ajtószárnyak mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés helye már számottevően befolyásolhatja a megengedett legnagyobb nyitási erő követelményének teljesülését.

Ez nem jelenti azt, hogy a pánikrúddal szerelt ajtó kevésbé lenne biztonságosnak tekinthető a kilincssel szerelt ajtókhoz képest, hiszen pánikhelyzetben, a menekülő személyek egymásra gyakorolt nyomása miatt az ajtó nyitása biztosított. Ugyanakkor nem szabad megfeledkezni arról a tényről sem, hogy egy tömegtartózkodás követelményeit kielégítő menekülési útvonalon egy építmény nem minden használati ciklusában lehet tömegtartózkodásra számítani. Ezekben az esetekben fontos támogatni a menekülő személyeket a nyílászárók hatékony működtetése érdekében.

A korábbi szakirodalmak és nemzetközi ajánlások figyelembe vételével javaslatot lehet megfogalmazni olyan jelölési rendszerre, amely kifejezetten a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba illetve túlnyomásos füstmentes előterekbe nyíló ajtók nyitásmechanizmusának működtető szerkezeten történő jelölésére terjed ki, annak az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés szempontjából legoptimálisabb részén, a menekülő személyek támogatása érdekében.

A jelölés tervezésénél fontos szempont volt, hogy lehetőleg már ismert menekülési jelek, illetve azok kombinációja kerüljön alkalmazásra, melyek jelentését a menekülő személyek vélhetően nagyobb valószínűséggel ismerik. Pánikhelyzetben a pánikrudak jelentik a legnagyobb biztonságot az ajtószárny mozgásba hozása szempontjából is.



44. ábra – Túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtók nyitási mechanizmus jelölés javaslatai, készítette a szerző

A 44. ábra túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló olyan kétszárnyú ajtókon mutat példákat a javasolt MSZ EN ISO 7010 szabványból származtatott menekülési jelekkel, ahol mindkét szárny figyelembe van véve a kiürítés tervezése során. Az ábrázolt működtető mechanizmusok az MSZ EN 179 szabvány szerinti kilincsek, továbbá az MSZ EN 1125 szabvány szerinti *A típusú* (lenyomás) illetve *B típusú* (benyomás) pánikrudak.

Egyszárnyú ajtók esetén a szimmetrikusan elhelyezkedő pánikrúd zár felőli oldalán javasolt a jelölés elhelyezése. Kétszárnyú ajtók esetén törekedni kell arra, hogy lehetőség szerint az állószárnyra szerelt pánikrúd mozgószárny felőli végén is biztosítható legyen a legfeljebb 100 N nagyságú nyitási erő. Ebben az esetben a jelölés elhelyezése mindkét szárnyon javasolt. Amennyiben ez nem biztosítható, akkor javasolt a mozgó szárny hangsúlyosabb megjelölése az állószárnyhoz képest.

Az 44. ábrán javasolt jelölés alapján legyártott menekülési jelet szemlélteti a 14. számú kép, melyen a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló kétszárnyú ajtón jól láthatóan megjelölésre került a nyíló szárnyon lévő pánikrúd azon vége, melyen legoptimálisabb a nyitáshoz szükséges erő kifejtés mértéke. A jelölés az MSZ EN ISO 7010 szabvány szerinti, egyenként 200x200 mm méretű menekülési jelekből, és a pánikrúd színjelölésével valósult meg.

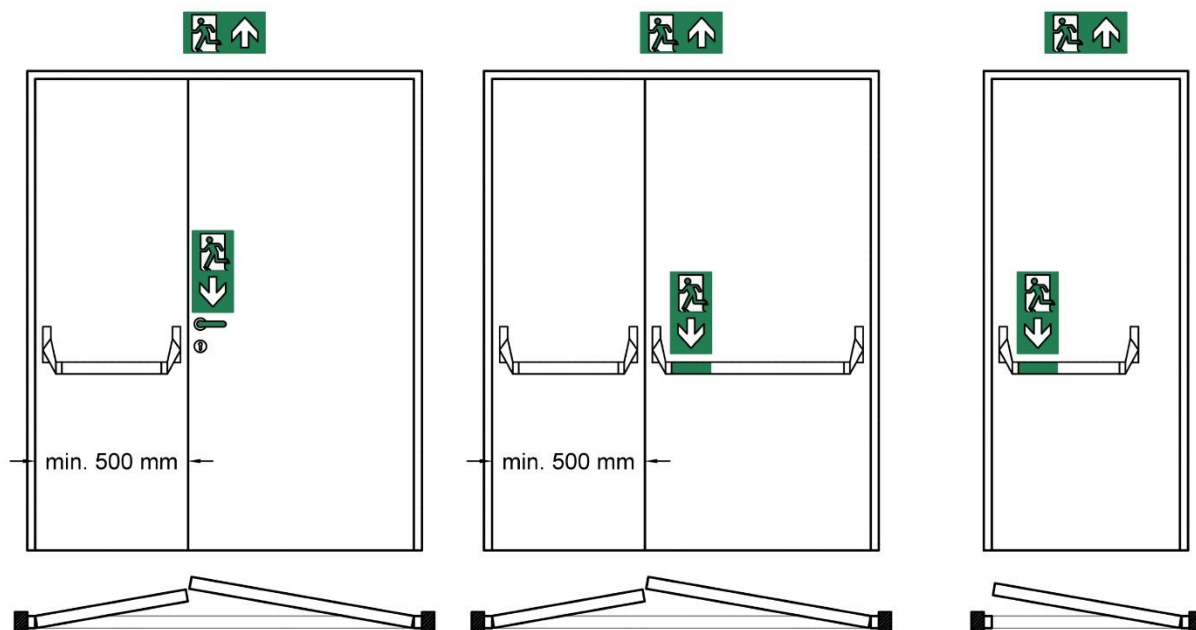


14. kép – túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtó nyitást elősegítő jelölése, készítette a szerző

Ennek a jelölésnek az előnye, hogy már meglévő, üzemelő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén is alkalmazhatók és aránytalan költségráfordítás nélkül alkalmas lehet a biztonság növelésére.

Az 45: ábra további példát jelenít meg abban az esetben, ha a kétszárnyú ajtó aszimmetrikus, azaz a mozgó- és állószárnyak szélessége nem azonos nagyságrendbe esik. Ebben az esetben a korábban ismertetettek szerint javasolt az állószárny minimális szélességét rögzíteni, továbbá a javasolt kiegészítő jelet csak azokon a helyeken elhelyezni, ahol a megengedett nyitási erő értékét a tényleges nem haladja meg.

Egyszárnyú, aszimmetrikus elrendezésű pánikrúddal szerelt ajtó esetén is javasolható, hogy a rúd zárszerkezet felé eső vége megjelölésre kerüljön, optimalizálva ezzel az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő mértékét.



45. ábra – Javasolt jelölési rendszer további elrendezéseknél, aszimmetrikus kialakítás esetén, készítette a szerző

3.6. Részkövetkeztetések

1. A kutatási célkitűzésemmel összhangban a fejezet első részében áttekintettem a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba nyíló ajtók megengedett legnagyobb nyitási erő kifejtésére vonatkozó hazai és nemzetközi előírásokat, ajánlásokat.

Részletesen elemeztem a kiürítésre szolgáló egy- és kétszárnyú nyílászárók felépítését, az azokra vonatkozó nemzeti követelményeket. Főbb következtetéseim az alábbiak voltak:

a) Megállapítható, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba nyíló ajtók mozgásba hozásához megengedett legnagyobb erő kifejtés mértéke a hazai és nemzetközi előírások, ajánlások alapján 100-133 N közötti érték, de több alkalommal fordul elő a 100 N, mint maximális érték.

b) Tervezés során szükségessé válhat a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba vezető ajtók esetében is az egy mozdulattal történő nyithatóság követelménye, emiatt az MSZ EN 1125 szabvány szerinti zárszerkezet és pánikrúd kerülhet alkalmazásra. Az ily módon kialakított ajtók lehetnek egy- vagy kétszárnyúak. A tervezés során minden esetben választható kedvezőbb nyitási mechanizmusú nyílászáró.

c) Az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés nagysága nem csupán az ajtó két oldala közötti nyomáskülönbségtől és a csukószerkezet nyitónyomatékától, hanem egyéb tényezőktől (pl. a nyitási mechanizmus, szárnyak aszimmetriája, stb.) is függ.

2. Foglalkoztam továbbá meglévő, túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egyszárnyú és kétszárnyú ajtók nyitási erőmérésével. Ennek során különböző vasalatokkal ellátott ajtókat vizsgáltam, mely során az alábbi megállapításokra jutottam:

a) A nyitási erő mérése elvégezhető nagy pontosságú digitális műszerrel vagy egyszerű, rugós erőmérő segítségével is. Az egyszerű módszer a ciklikus karbantartás során alkalmas lehet a nyitási erő nagyságának ellenőrzésére. A mérési hiba lehetősége csökkenthető, ha az ismételt méréseket a szárnyon megjelölt helyen, azonos pozícióban végzik el.

b) A kilinccsel szerelt egyszárnyú ajtó mozgásba hozásához szükséges erő a túlnyomásos füstmentes lépcsőházi ventilátor működésekor, hozzávetőleg $50+10\%$ P_a relatív nyomáskülönbség mellett minimálisan ugyan, de meghaladta az elvárt, legfeljebb 100 N értéket.

c) A kétszárnyú, mozgószárnyon kilinccsel, állószárnyon pánikrúddal szerelt illetve mindkét szárnyon pánikrúddal szerelt ajtók esetén a nyitáshoz szükséges erő nagyságában jelentős eltérés mutatkozott attól függően, hogy a mozgószárnyon vagy az állószárnyon fejtik-e ki az erőt.

d) Az ajtólap mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés nagysága nem azonos nagyságú a pánikrúd mentén. A pánikrúd forgásponthoz közelebbi végén nagyobb erő kifejtés szükséges, melyet a túlnyomásos füstmentes lépcsőház működéséből eredő nyomáskülönbség és az önműködő csukószerkezet nyitónyomatéka tovább növel.

e) A mérésekből és a mechanikai modellből levezetett kockázatcsökkentő beavatkozás egyik lehetősége a túlnyomásos füstmentesítéssel védett térbe nyíló ajtók piktogrammal történő jelölés lehet. Ez a megoldás már beépített ajtók esetén is alkalmazható és nem okoz aránytalan költségfordítást.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

I. A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai mérésekkel támogatott vizsgálata területén

1. Részletesen bemutattam a lépcsőházakra vonatkozó differenciálnyomás és térfogatáram követelményeket az engedélyezés időpontjának függvényében. Megállapítottam, hogy a létesítés időpontjától függően a lépcsőházakra vonatkozó nyomáskülönbség és légsebesség követelmények eltérőek, mely megalapozza azt a megállapítást, hogy a lépcsőházak nyomáskülönbség és légsebesség megfelelőségének értékelése komplex követelményrendszer szerint vizsgálható.

2. Kidolgoztam a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak nyomáskülönbség és légsebesség értékének megfelelőségértékeléséhez alkalmazható táblázatot. Megállapítottam, hogy a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak jelentős hányada nem felel meg a létesítéskor rá vonatkozó követelményeknek a rendszeres felülvizsgálatok és karbantartások ellenére sem.

3. Meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai mérése során részletes méréseken keresztül arra a következtetésre jutottam, hogy a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak 44%-a legalább egy nyílászáró esetén nem tudta teljesíteni a relatív túlnyomásra vonatkozó követelményt, 71%-a legalább egy nyílászáró esetén nem tudta teljesíteni a légsebességre vonatkozó követelményt. A vizsgált összesen 157 db túlnyomásos füstmentes lépcsőház 15%-a együttesen teljesíteni a rá vonatkozó differenciálnyomás és légsebesség követelményeket.

4. Rész kutatásaimban foglalkoztam a biztonsági szint és az üzembiztonság növelésének lehetőségeivel, definiáltam a fokozott üzembiztonságú füstmentes lépcsőházat, mely alapján bizonyos kockázatnövelő tényező figyelembe vételével a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak a jelenleg elvárt biztonsági szintnél magasabb védelmet nyújthatnak. Javaslatot tettem a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak időszakos műszaki felülvizsgálatára, mely a füstmentesítő ventilátorokon túlmenően a füstmentes lépcsőházakat komponensenként és komplex módon vizsgálja tűzvédelmi, építészeti, gépészeti és épületvillamossági szempontból is.

Az előzőekben leírtak alapján ***igazoltnak látom az 1. hipotézisemben foglaltak teljesülését, valamint megalapoztam az 1. számú tudományos eredményt.***

II. A füstgátló ajtók résvesztésének becslése túlnyomásos füstmentesítő rendszerek tervezése során

1 Áttekintettem és részletesen bemutattam – elsődlegesen túlnyomásos lépcsőházak vonatkozásában – az ajtók szivárgási felületének és fajlagos légáteresztési tényezőjének szakirodalomban becsült értékeit, mely alapján megállapítottam, hogy a nemzetközi gyakorlatban az egyszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtókat $0,01 \text{ m}^2$, míg az egyazárnyú, túlnyomásos térből nyíló ajtókat $0,02 \text{ m}^2$ nagyságú szivárgási felülettel javasolt figyelembe venni a számítások során.

2. Összehasonlító méréseket végeztem blower door műszerrel valamint szárnykerek aneométerrel felszerelt mérőtölcsérrel egy meglévő előtérben. A mérőtölcsér esetében a levegőellátást az épület saját szellőzőrendszere biztosította. Az összehasonlító mérések során nem volt statisztikailag kimutatható különbség a kétféle mérési módszerrel végzett mérés között a vizsgált előtér esetén. Ezen vizsgálat alapján a szárnykerek aneométerrel felszerelt mérőtölcséres mérések eredményeit a túlnyomásos füstmentes előterek további méréseihez használhatónak ítéltam.

3. Nyomáskülönbség és térfogatáram méréseket végeztem a túlnyomásos füstmentes előterek határoló szerkezetein, valamint a beépített ajtókon. A levegő mennyiségének és a nyomáskülönbség ismeretében az ajtók szivárgási felületeit meghatároztam. Az ezekből a mérésekből származó eredmények alapján javaslatot tettem az MSZ EN 12101-13 „A” melléklete szerinti számítási eljárás során $0,005 \text{ m}^2$ szivárgási felület figyelembe vételét az egyszárnyú füstgátló ajtók esetén, függetlenül attól, hogy azok a túlnyomásos térbe vagy a túlnyomásos térből nyílnak-e.

4. Nyomáskülönbség és térfogatáram méréseim alapján meghatározott fajlagos légáteresztési tényező alapján javaslatot tettem a TvMI-ben szereplő réstényezőnél nagyobb érték alkalmazására vagy biztonsági tényezővel való növelésére.

5. Összehasonlító mérést végeztem füstgátló teljesítménnyel nem rendelkező, egyszárnyú tűzgátló ajtón, továbbá különböző anyagú ragasztószalagok légzáróképességének egymáshoz való viszonyát vizsgáltam, mely alapján megállapítottam, hogy a vizsgált, füstgátlási teljesítménnyel nem rendelkező tűzgátló ajtó mérésekkel meghatározott részmérete az MSZ EN 12101-13 szabvány által javasolt értékkel közel megegyező. A veszteségek szempontjából az ajtó alatti rés mérete dominált. A vizsgált különböző anyagú ragasztószalagok légzárása között nem volt statisztikailag kimutatható szignifikáns eltérés.

Az előzőekben leírtak alapján ***igazoltnak látom az 2. hipotézisemben foglaltak teljesülését, valamint megalapoztam az 2. számú tudományos eredményt.***

III. A zárszerkezetek kialakításának hatása az ajtónyitáshoz szükséges erőre túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban

1. Áttekintettem és részletesen elemeztem a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba nyíló ajtók megengedett legnagyobb nyitási erő kifejtésére vonatkozó hazai és nemzetközi előírásokat, ajánlásokat. Megállapítottam, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba nyíló ajtók mozgásba hozásához megengedett legnagyobb erő kifejtés mértéke a hazai és nemzetközi előírások, ajánlások alapján 100-133 N közötti érték, de jellemzően 100 N

2. Megállapítottam, hogy a tervezés során szükségessé válhat a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba vezető ajtók esetében is az egy mozdulattal történő nyithatóság követelménye, amely miatt pánikrúd kerülhet alkalmazásra válhat szükségessé az ajtószárnyon illetve ajtószárnyakon. Kidolgoztam a kétszárnyú ajtók esetén a mozgószárny illetve az állószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés számításának modelljét ábrákon és képleteken keresztül. Arra a következtetésre jutottam, hogy mechanikai szempontból az aszimmetrikusan elhelyezett pánikrúd kedvezőbbnek bizonyult és az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés nagysága a nyitási mechanizmus kialakításától és szárnyak aszimmetriájától is függ.

3. Mérésekkel vizsgáltam meglévő, túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló egyszárnyú és kétszárnyú ajtók mozgásba hozásához szükséges erő nagyságát különböző kialakítású zárszerkezetek esetén nagy pontosságú digitális műszerrel. Megállapítottam, hogy nyitási erő mérésére szolgáló egyszerű rugós erőmérő a ciklikus karbantartások során alkalmas lehet a nyitási erő nagyságának ellenőrzésére. A mérési hiba lehetősége csökkenthető, ha az ismételt méréseket a szárnyon megjelölt helyen, azonos pozícióban végzik el.

4. Javaslatot tettem a mérésekből és a mechanikai modellből levezetett kockázatcsökkentő beavatkozásra, mely beépített ajtók esetén is alkalmazható aránytalan költségfordítást nélkül. Az ennek keretében bemutatott jelölés az MSZ EN ISO 7010 szabványban alkalmazott jelek kombinálásával került létrehozásra, mely alkalmas egy- és kétszárnyú ajtók esetén az erő kifejtés szempontjából legoptimálisabb részek kiemelésére, melynek demonstrálására különböző ajtó konfigurációkra készítettem szemléltető ábrákat. Javaslatot tettem továbbá arra vonatkozóan, hogy kétszárnyú ajtók esetén lehetőség szerint törekedni kell mindkét szárny esetén a legfeljebb 100 N nagyságú erő korlátozására és az állószárny megengedett legkisebb szélességének korlátozására.

Az előzőekben leírtak alapján ***igazoltnak látom az 3. hipotézisemben foglaltak teljesülését, valamint megalapoztam az 3. számú tudományos eredményt.***

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban való légtechnikai mérésekkel **megállapítottam**, hogy a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak több, mint 80%-a nem felel meg a létesítéskori légtechnikai paramétereknek. **Kidolgoztam** a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak elvárt differenciálnyomás és légsebesség értékeinek értékelésére vonatkozó táblázatokat és **javaslatot tettem** a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak időszakos műszaki felülvizsgálatára vonatkozó eljárásra.
2. Validált mérési módszert **dolgoztam ki**, amely alkalmas a túlnyomásos füstmentes előterek határoló szerkezetébe épített füstgátló ajtók szivárgási felületének meghatározására. A szárnykerekesszondával és mérőtölcsérrel végzett vizsgálat alkalmazható túlnyomásos füstmentes előterek légtömörtségének meghatározására. Figyelembe véve az MSZ EN 12101-13 szabvány által alkalmazott biztonsági tényezőket **javaslatot tettem** a szabványban szereplő számítási eljárásban $0,005 \text{ m}^2$ szivárgási felület alkalmazására egyszárnyú füstgátló ajtók esetén, függetlenül attól, hogy a túlnyomásos térbe vagy a túlnyomásos térből nyílnak-e.
3. Mechanikai modellel és méréseken alapuló vizsgálatokkal alátámasztva **megállapítottam**, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtók esetén a nyitási mechanizmus kialakításától függően az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő nagysága eltérő, ami pánikrúd alkalmazása esetén kedvezőtlenebb lehet, különös tekintettel a túlnyomásból származó többleterőre. **Javaslatot tettem** túlnyomásos füstmentes térbe nyíló ajtók vonatkozásában olyan jelölés bevezetésére, amely a menekülő személyeket támogatja a pánikrúd erő kifejtés szempontjából legoptimálisabb részének kiemelésével.

AZ ÉRTEKEZÉS AJÁNLÁSAI

Az értekezésem következtetéseinek és tudományos eredményeinek felhasználására a tervezőknek, jogalkotóknak és a komplex tűzvédelem szereplőinek az alábbi ajánlásokat teszem:

1. Az újonnan tervezésre kerülő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak mellett hazánkban jelentős mennyiségben üzemelnek korábbi előírások szerint létesült rendszerek. A kutatások rámutattak arra, hogy a jogszabályban meghatározott felülvizsgálati és karbantartási feladatok nem garantálják teljes körűen a túlnyomásos füstmentesítés megfelelő működését, ezért javasolt a meglévő rendszerekre vonatkozó időszakos műszaki felülvizsgálat bevezetése, mely során a túlnyomásos füstmentes lépcsőházat, mint komplex rendszert kell kezelni.

2. A nyomáskülönbség elvén működő rendszerek tervezésének egyik kritikus paramétere a csukott ajtók résein keresztül a túlnyomás alatt álló térből kiáramló levegő mennyiségének pontos becslése. A kapott eredmény az MSZ EN 12101-13 szabvány szerinti méretezési eljárásban alkalmazható, mellyel együtt valamennyi tervezőt biztatok az európai szabvány ajánlásainak megfelelő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezésére hazánkban.

3. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezése során kapcsolatot kell teremteni a tűzvédelmi, épületgépészeti és építészeti elvárások között. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban, túlnyomásos füstmentes előterekben beépített ajtók kiürítéshez szükséges geometriai méreteit, a nyitási mechanizmus kialakításának követelményeit a füstmentesítő rendszer nyomáskülönbség és térfogatáram követelményeivel összhangban kell kezelni, az elvárt biztonsági szintet kielégítő működés csak a szakági tervezők szoros együttműködése révén valósulhat meg.

A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA

A kutatómunka eredményeit az alábbiak szerint javaslom felhasználni:

1. Az értekezés egyes részei felhasználhatók a túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezése során, mérnöki szemléleten alapuló műszaki eljárások fejlesztésében.
2. Az értekezés eredményei felhasználhatók az európai szabvány mellékletében szereplő számítási eljárás támogatására.
3. Az értekezés egyes részei alkalmasak lehetnek a tűzvédelmi műszaki irányelvekbe történő adaptálásra, továbbá a műszaki felülvizsgálat vonatkozásában a jogi szabályozás kiegészítésére.
4. Az értekezés eredménye felhívja a figyelmet arra, hogy a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak füstmentesítő ventilátorainak ciklikus felülvizsgálata és karbantartása hamis biztonságérzetet kelthet, egy túlnyomásos füstmentes lépcsőház megfelelőségét komplex módon kell értékelni, megfelelő szakmai kompetenciával rendelkező független szakember által.
5. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtók nyitásának optimalizálását elősegítő jelölés alkalmazása új és meglévő rendszerek esetén is alkalmazható műszaki megoldás, mely nem igényel aránytalan költségráfordítást.
6. Az értekezés egyes részei – megfelelő átdolgozást követően – alkalmasak oktatási célra történő felhasználásra a BSc. és MSc. szintű műszaki mérnöki képzésekben résztvevők, továbbá a hő- és füstelvezető rendszerek felülvizsgálatát és karbantartását végző szakemberek részére.

Budapest, 2026. január 31.

.....
Mihály István

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- [2] 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
- [3] 53/2014. (XII. 5.) BM rendelet a Tűzvédelmi Műszaki Bizottság létrehozásának, összetételének, feladatkörének és működésének részletes szabályairól.
- [4] Review of European Standards, BOSS CEN. Elérés: 2026. január 21. [Online]. Elérhető: <https://boss.cen.eu/maintenance/reven/pages/>
- [5] 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.
- [6] MSZ EN 12101-6 Füst- és hőszabályozó rendszerek. 6. rész: Nyomáskülönbség elvén működő rendszerek műszaki előírása. Szerelvények. Magyar Szabványügyi Testület, 2022.
- [7] TvMI 3.6:2025.02.01. Hő és füst elleni védelem Tűzvédelmi Műszaki Irányelv. 2025. Elérés: 2025. február 5. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2024-12/84963.pdf>
- [8] TvMI 2.6:2024.02.01. Kiürítés Tűzvédelmi Műszaki Irányelv. 2024. Elérés: 2025. február 5. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2023-12/82903.pdf>
- [9] Lay, Simon: Pressurization systems do not work & present a risk to life safety, *Case Studies in Fire Safety*, 1, pp. 13–17. (2014). <https://doi.org/10.1016/j.csfs.2013.12.001>
- [10] Déry Attila: *Történeti szerkezettan*. Budapest, TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., 2002, 304 p.
- [11] Papp Ferenc: *Tűzrendészeti közigazgatás kézikönyve*. Szeged, Endrényi Lajos nyomda- és hírlapkiadó vállalat részvénytársaság, 1928, 480 p.
- [12] Kelemen László: Az építmények tűzrendészeti követelményei. In *Megelőző tűzrendészeti ismeretek I.*, köt. 1, 2 köt., Budapest, Belügyminisztérium Országos Tűzrendészeti Parancsnoksága, 1959, 430 p.
- [13] Usemann, Klaus W.: *Brandschutz in der Gebäudetechnik*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2003, 516 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19001-8>
- [14] Butcher, Edward Gordon – Parnell, Alan Charles: *Smoke control in fire safety design*. London, Spon, 1979, 178 p.
- [15] BM TOP 5—65 Középmagas és magasépületek tűzrendészeti előírásai. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1965.

- [16] MSZ 595/4-74 Építmények tűzvédelme. Középmagas és magasépület. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1974.
- [17] ME 108-74 Könnyűszerkezetes épületek tervezésének, kivitelezésének és karbantartásának tűzvédelmi szabályozása. Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, Budapest, 1974.
- [18] Magyar, János – Fehér Miklós – Horváth Kázmér: SOTE elméleti tömb. *Magyar Építőipar*, 25(3), pp. 140–148, 1976.
- [19] Kuthi Barna: Füstmentes lépcsőház alkalmazása magasépületben. Egy hazai kísérleti mérés ismertetése. In *Építmények tűzvédelme szimpozion előadásai, Budapest, 1982. november 8-10.*, Budapest, Gépipari Tudományos Egyesület, 1982, pp. 291–300.
- [20] MSZ 595/4-79 Építmények tűzvédelme. Középmagas és magasépületek. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1979.
- [21] ME-04-132-84 Füstmentes lépcsőházak követelményei. Építésügyi Szabványosítási Központ, 1984.
- [22] Bérczi László – Badonszki Csaba: A tűzvédelmi tervezés fő tartópillérei a tűzvédelmi műszaki irányelvek. *Védelem Tudomány*, 6(2), pp. 66–96, 2021.
- [23] Kátai-Urbán Maxim – Cimer Zsolt: A veszélyes anyagot tároló raktárcsarnokok tervezésének tűzvédelmi és iparbiztonsági aspektusai. In *II. Iparbiztonsági hatósági nap*, Paks: Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 2021, pp. 55–61. [Online]. Elérhető: <https://tolna.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-01/76988.pdf>
- [24] *Muster-Hochhaus-Richtlinie - MHHR. Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern. Techn. Ber. Bauministerkonferenz, Fassung April 2008.* Elérés: 2023. január 4. [Online]. Elérhető: <https://is-argebau.de/Dokumente/42310703.pdf>
- [25] *Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) Ausgabe 2023/1.* Deutsches Institut für Bautechnik, 2023. [Online]. Elérhető: [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische Bestimmungen/MVV_TB_2023-1.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVV_TB_2023-1.pdf)
- [26] *OIB-Richtlinie 2.3. Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m.* Österreichisches Institut für Bautechnik, 2023. [Online]. Elérhető: https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_2.3_ausgabe_mai_2023.pdf
- [27] International Code Council, 2024 International Building Code (IBC). Washington, D.C., International Code Council, 2024.
- [28] Clay, Will: NFPA 92 guides smoke control system design. *Consulting-Specifying Engineer*, köt. 55, pp. 34–39, 2018.

- [29] AS 1668.1:2015 The use of ventilation and air conditioning in buildings, Part 1: Fire and smoke control in buildings. Standards Australia Limited, 2015.
- [30] NFPA 92: Standard for Smoke Control Systems. National Fire Protection Association, 2024.
- [31] TvMI 12.5:2022.06.13. Ellenőrzés, felülvizsgálat és karbantartás Tűzvédelmi Műszaki Irányelv. 2022. Elérés: 2025. február 5. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78649.pdf>
- [32] VDMA 24188:2011-06 Rauchschutzmaßnahmen in Treppenträumen – Rauchableitung, Rauchverdünnung, Rauchfreihaltung. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA), Frankfurt/Main, 2011.
- [33] TRVB 112 S Technische Richtlinien Vorbeugender Brandschutz. Druckbelüftungsanlagen (DBA). Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, 2019, 2021.
- [34] Tamura, George T. – Wilson, A. Grant: Natural venting to control smoke movement in buildings via vertical shafts. *ASHRAE Transactions*, 76(2), pp. 279–289, 1972. Elérés: 2023. szeptember 19. [Online]. Elérhető: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=b7997028-e9f8-43c9-83a4-08189c1250c8>
- [35] Butcher, Edward Gordon – Fardell, P. J. – Clarke, J. J.: Pressurization as a Means of Controlling the Movement of Smoke and Toxic Gases on Escape Routes. Fire Research Note No. 704. Fire Research Station, Borehamwood, 1968. Elérés: 2025. április 19. [Online]. Elérhető: https://publications.iafss.org/publications/frn/704/-1/view/frn_704.pdf
- [36] Achakji, G. Y.: NRCC Experimental Fire Tower for Studies on Smoke Movement and Smoke Control in Tall Buildings. Internal Report No. 512. National Research Council of Canada, 1987. 61 p. Elérés: 2023. január 2. <https://doi.org/10.4224/20338144>
- [37] Hobson, P. J. – Stewart, L. J.: Pressurization of Escape Routes in Buildings; Fire Research Note No. 958. Heating and Ventilating Research Association, Bracknell, UK, 1972 Elérés: 2024. november 20. [Online]. Elérhető: https://publications.iafss.org/publications/frn/958/-1/view/frn_958.pdf
- [38] Benjamin, Irwin A. – Klotz, John H.: Stairwell Pressurization Systems. National Bureau of Standards Department of Commerce, Washington, DC 20234, 1979. 27 p. Elérés: 2022. december 10. [Online]. Elérhető: <http://dx.doi.org/10.6028/NBS.IR.79-1747>
- [39] Klotz, John H. – Milke, James A.: *Design of smoke management systems*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; Society of Fire Protection Engineers Atlanta, GA, 1992. 223 p.

- [40] Klote, John H. – Milke, James A.: *Principles of smoke management*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Atlanta, GA, 2002. 377 p.
- [41] Klote, J. H. – Milke, J. A. – Turnbull, P. G. – Kashef, A. – Ferreira, M. J.: *Handbook of Smoke Control Engineering*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2012. 484 p.
- [42] Klote, John H. – Milke, James A. – Turnbull, Paul G. – Kashef, Ahmed – Phillips, Duncan A. – Evans, Douglas H. – Webb, William A. – Roth, Michael J.: *Handbook of Smoke Control Engineering*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2024. 723 p.
- [43] AS 1668, Part 1 — 1974 SAA Mechanical Ventilation and Air Conditioning Code. Part 1 - Fire Precautions in Buildings with Air-handling Systems. Standards Association of Australia, 1974.
- [44] Loughheed, Gary – Ko, Yoon J.: RP-1447 Performance of Stairwell Pressurization System with Open Doors. ASHRAE Research Project Report RP-1447. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2016. 77 p.
- [45] Klote, John H.: RP-1203 Tenability and Open Doors in Pressurized Stairwells. ASHRAE Research Project Report RP-1203. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2002. 270 p.
- [46] Padányi József: *Kihívások, kockázatok, válaszok. Az éghajlatváltozás okozta kihívások és azok hatása a katonai erőre*. Ludovika Egyetemi Kiadó, Budapest, 2022. 224 p.
- [47] Kirovne Rácz Réka Magdolna: The Correlation of Climate Change and the Disasters due to Precipitation in Hungary. *Védelem Tudomány*, 6(3), pp. 452–458, 2021.
- [48] International Code Council, 2024 International Fire Code (IFC). International Code Council, Washington, D.C., 2024. Elérés: 2026. január 25. [Online]. Elérhető: <https://codes.iccsafe.org/content/IFC2024P1>
- [49] Zitzelsberger, Jörg – Ostertag, Dieter – Kuhn Josef: *Rauchfreihaltung/Entrauchung von Räumen und Gebäuden Grundlagenermittlung für die Erstellung bauaufsichtlicher Richtlinien. Band B. Überdrückungsanlagen für Sicherheitstreppenräume in Hochhäusern*. Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, 2003. Elérés: 2023. január 2. [Online]. Elérhető: <https://www.baufachinformation.de/mobil/forschungsbericht/entrauchung-grundlagen/218820>
- [50] Klote, John H.: Smoke Control. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Hurley, Morgan J., Ed.; Society of Fire Protection Engineers, Gaithersburg, MD, USA, 2016. pp. 1785–1823 <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>

- [51] Wagner Károly: Füstmentesebb lépcsőházak. tuzfal.com. Elérés: 2018. január 26. [Online]. Elérhető: <http://tuzfal.com/index.php?cont=cikk&cikk=27&rov=2>
- [52] Takács Lajos Gábor: Középmagas panel lakóépületek tűzvédelmi hiányosságai. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 14(4), pp. 15–22, 2007.
- [53] Kéry Tamás: A Multifunkcionális épület hő- és füstelvezetése. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 8(4), pp. 14–15, 2001.
- [54] Takács Lajos Gábor – Mészáros János – Wágner Károly: Kiegészítő szabályok a kiürítési számításokhoz. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 16(5), pp. 49–50, 2009.
- [55] MSZ 9386:1993 Ajtók műszaki követelményei. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1993.
- [56] Kamarás László: Tűzgátló nyílászáró szerkezetek alkalmazása. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 4(2), pp. 9–10, 1997.
- [57] Keszthelyi István: Légtechnikai megoldások füstmentes lépcsőházakban. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 9(5), pp. 38–39, 2002.
- [58] Mihály István – Bérczi László – Varga Ferenc: The Development of Pressurised Smoke-free Staircases in Hungary. In *International Disaster Management Scientific Conference - Focus on Changes in the Fire Safety Situation*, Magyar Tűzvédelmi Szövetség, Budapest, 2024, pp. 91–98.
- [59] Bereczk L., „Füstmentes lépcsőházak, lépcsőházak füstmentesítése”, *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, köt. 12, sz. 3, o. 14–15, 2005.
- [60] Bereczk László: Tervezési javaslatok hő- és füstelvezetéshez. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 10(1), pp. 21, 2003.
- [61] Keszthelyi István: A füstmentesítés műszaki megoldásai a Főnix csarnokban. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 13, (4), pp. 14, 2006.
- [62] Ambrus István – Bellus László – Csuba Bendegúz – Hídvégi Dénes – Pócsik Attila – Tolnai László: Módosulások a hő- és füstelvezetésben. *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 13(2), pp. 11–12, 2006.
- [63] Vágvolgyi László: Mit tartalmazzon a tűzvédelmi műszaki leírás? II., *Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle*, 15(4), pp. 48–50, 2008.
- [64] 28/2011. (IX. 6.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.
- [65] Komjáthy László: Középmagas és magas épületek tűzvédelmi sajátosságai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 21(különszám), pp. 70–87, 2011.
- [66] Bérczi László: Tűzvédelmi műszaki irányelv szerepe a hő és füst elleni védelemben. *Védelem Tudomány*, 6(3), pp. 32–42, 2021.

- [67] Mihály István – Bérczi László – Bognár Balázs – Kátai-Urbán Maxim – Tóth Levente – Kátai-Urbán Lajos – Vass Gyula – Varga Ferenc: Experimental Study to Determine the Leakage Area of Single-Leaf Smoke Control Doors in the Design of Pressure Differential Systems. *Fire*, 8, 5, 2024, <https://doi.org/10.3390/fire8010005>
- [68] Mihály István: Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezése. *Hadmérnök*, 18(3), pp. 83–102, 2023, <https://doi.org/10.32567/hm.2023.3.7>
- [69] Mihály István – Varga Ferenc: An Experimental Study of Smoke Movement in a Pressurised Smoke-Free Staircase. *Hadmérnök*, 18(4), pp. 79–96, 2023, <https://doi.org/10.32567/hm.2023.4.6>
- [70] MSZ 595/1-74 Építmények tűzvédelme. Fogalommeghatározások. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1974.
- [71] 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzat kiadásáról.
- [72] Mihály István: Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai méréseinek tapasztalatai I. rész. *Védelem Tudomány*, 7(4), pp. 69–93, 2022.
- [73] Recknagel, Hermann – Eberhard, Sprenger – Albers, Karl-Josef: *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Brauchwassererwärmung und Kältetechnik 2023/2024,1, Band 1: einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte*, 81. Auflage. ITM InnoTech Medien GmbH, München, Oldenbourg DIV, Dt. Industrie-Verl. Kleinaitingen, 2022.
- [74] Recknagel, Hermann – Eberhard, Sprenger – Albers, Karl-Josef: *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. Band 2*”, 82. Auflage, 2025/2026., Kleinaitingen: ITM InnoTech Medien GmbH, Oldenbourg DIV, Dt. Industrie-Verl. Kleinaitingen, 2024.
- [75] Érces Gergő: Az építmények tűzvédelmi fejlesztésének lehetőségei a komplex tűzvédelem elemei valós egymásra hatásának mérnöki módszerekkel történő elemzésével. PhD disszertáció, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2019. <https://doi.org/10.17625/NKE.2019.021>
- [76] MSZ 9113:2003 Felvonók létesítése. A felvonók épülettűzzel kapcsolatos kiegészítő követelményei. Magyar Szabványügyi Testület, 2003.
- [77] MSZ EN 81-72:2020 Felvonók szerkezetének és beépítésének biztonsági előírásai. A személy- és személy-teher felvonók különleges alkalmazásai. 72. rész: Tűzoltófelvonók. Magyar Szabványügyi Testület, 2020.
- [78] Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). ISO/IEC, 2008.

- [79] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. Elérés: 2026. január 28. [Online]. Elérhető: <https://www.bipm.org/doi/10.59161/JCGM100-2008E>
- [80] Kemény Sándor – Deák András – Lakné Komka Kinga – Kunovszki Péter: *Kísérletek tervezése és értékelése*, Bővített, Javított kiadás. Budapest: Typotex, Budapest, 2017, 412 p.
- [81] MSZ EN 12599:2013 Épületek szellőztetése. Vizsgálati és mérési módszerek beszerelt szellőztetési és légkondicionálási rendszerek átvételéhez. Magyar Szabványügyi Testület, 2013.
- [82] Mihály István – Bérczi László – Varga Ferenc: Túlnyomásos füstmentesítés vizsgálatának tapasztalatai. *Nemzetközi Tudományos Konferencia a Katasztrófák Csökkentésének Világnapja alkalmából*, Budapest, 2023. november 30. Elérés: 2023. december 27. [Online]. Elérhető: <https://kvi.uni-nke.hu/hirek/2023/12/01/nemzetkozi-tudomanyos-konferencia-a-katasztrofak-csokkentese-nek-vilagnapja-alkalmabol>
- [83] Fryda Marcin – Brzezińska, Dorota – Dziubiński, Marek: High rise buildings stairwells pressure differential systems tests and improvement solutions. *Building Services Engineering Research and Technology*, 42(1), pp. 112–124, 2021, <https://doi.org/10.1177/0143624420964313>.
- [84] MSZ EN ISO 21805:2023 Útmutató és ajánlások szellőzőnyílások tervezéséhez, kiválasztásához és telepítéséhez a gázzal oltó rendszerekkel védett zárt terek szerkezeti integritásának megőrzésére (ISO 21805:2023). Magyar Szabványügyi Testület, 2023.
- [85] Mihály István – Bérczi László: Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai méréseinek tapasztalatai II. *Védelem Tudomány*, 8(1), pp. 47–64, 2023.
- [86] Mihály István: Füstmentesítő rendszerek vizsgálata. *Polgári Védelmi Szemle*, 16(különszám), pp. 366–378, 2024.
- [87] Mihály István – Bérczi László – Zólyomi Géza – Varga Ferenc: Stairwell Pressurisation – Opportunities to Improve Safety. *Polgári Védelmi Szemle*, 11(különszám), pp. 278–287, 2024.
- [88] MSZ 13207:2020 0,6/1 kV-tól 20,8/36 kV-ig terjedő névleges feszültségű villamosenergia-kábelek és jelzőkábelek kiválasztása, fektetése és terhelhetősége. Magyar Szabványügyi Testület, 2020.
- [89] MSZ HD 60364-4-42:2015 Kisfeszültségű villamos berendezések. 4-42. rész: Biztonság. Hőhatások elleni védelem (IEC 60364-4-42:2010, módosítva). Magyar Szabványügyi Testület, 2015.

- [90] MSZ HD 60364-4-42:2011/A11:2022 Kisfeszültségű villamos berendezések. 4-42. rész: Biztonság. Hőhatások elleni védelem. Magyar Szabványügyi Testület, 2022.
- [91] 2015. évi CCXI. törvény a kéményseprő-ipari tevékenységről.
- [92] 21/2016. (VI. 9.) BM rendelet a kéményseprő-ipari tevékenység ellátásának szakmai szabályairól.
- [93] Beda László: Gondolatok az épületek tűzbiztonságáról. *Magyar Építőipar*, 56(3), pp. 94–98, 2011.
- [94] Beda László – Kerekes Zsuzsanna: *Égés- és oltáselmélet II.* Budapest: Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, 2006. 95 p.
- [95] Blume, G. – Hegger, T. F.: Rauch- und Wärmeabzug. In *Bauphysik Kalender 2021*, Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften GmbH & Co. KG: Berlin, Germany, 2021, pp. 459–499.
<https://doi.org/10.1002/9783433610572.ch19>
- [96] Younes, Chadi – Abi Shdid, Caesar – Bitsuamlak, Girma: Air infiltration through building envelopes: A review. *Journal of Building Physics - J BUILD PHYS*, 35(3), pp. 267–302, 2012, <https://doi.org/10.1177/1744259111423085>
- [97] Gross, Daniel: Estimating air leakage through doors for smoke control. *Fire Safety Journal*, 17(2), pp. 171–177, 1991, [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(91\)90040-6](https://doi.org/10.1016/0379-7112(91)90040-6)
- [98] Gross, Daniel: A review of measurements, calculations and specifications of air leakage through interior door assemblies. National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, NBS IR 81-2214, 1981. <https://doi.org/10.6028/NBS.IR.81-2214>
- [99] MSZ 595/1-79 Építmények tűzvédelme. Fogalommeghatározások. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1979.
- [100] MSZ 595/1-86 Építmények tűzvédelme. Fogalommeghatározások. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1986.
- [101] MSZ 595/3-86 Építmények tűzvédelme. Épületszerkezetek tűzállósági követelményei. Magyar Szabványügyi Hivatal, 1986.
- [102] MSZ-04-311/1-85 Ajtók teljesítmény jellemzői. Teljesítmény fokozatok. Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, Budapest, 1985.
- [103] MSZ EN 13501-2:2004 Épületszerkezetek és építési termékek tűzvédelmi osztályozása. 2. rész: Osztályba sorolás a tűzállósági vizsgálatok eredményeinek felhasználásával, a szellőzőberendezések kivételével. Magyar Szabványügyi Testület, 2004.
- [104] MSZ EN 1634-3:2005 Ajtók és nyílászáró szerkezetek tűzállósági vizsgálata. 3. rész: Füstgátló ajtók és nyílászárók. Magyar Szabványügyi Testület, 2005.

- [105] MSZ EN 13501-2:2023 Fire classification of construction products and building elements. Part 2: Classification using data from fire resistance and/or smoke control tests, excluding ventilation services. CEN European Committee for Standardization, 2023.
- [106] Majorosné Lublőy Éva Eszter – Major Zoltán – Szép János – Hlavička Viktor – Biró András: *Méretezés tűzterherre az Eurocode szerint Vasbeton, acél-, fa, falazott és öszvérszerkezetek tervezése*. TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., Budapest, 2023. 210 p.
- [107] Klote, John H.: An Overview of Smoke Control Technology. National Bureau of Standards U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD Elérés: 2023. január 2. [Online]. Elérhető: <http://dx.doi.org/10.6028/NBS.IR.87-3626>
- [108] Barrett, Richard E. – Locklin, David W.: A computer technique for predicting smoke movement in tall buildings. *Fire Technology*, 5(4), pp. 299–310, 1969, <https://doi.org/10.1007/BF02600417>
- [109] Bedford, T. – Chrenko, F. A.: *Bedford's basic principles of ventilation and heating*, 3rd ed. H. K. Lewis, London, 1974. 535 p.
- [110] Tamura, George. T.: Computer analysis of smoke movement in tall buildings. Research Paper No. 452. *ASHRAE TRANSACTIONS*, 75(2), pp. 81–92, 1970, <https://doi.org/10.4224/40000451>
- [111] BS 5588-4:1978 Fire precautions in the design and construction of buildings — Part 4: Code of practice for smoke control in protected escape routes using pressurization. British Standards Institute, 1978.
- [112] BS 5588-4:1998 Fire precautions in the design and construction of buildings — Part 4: Code of practice for smoke control in protected escape routes using pressurization. British Standards Institute, 1998.
- [113] Gross, D. – Haberman, W.: Analysis And Prediction Of Air Leakage Through Door Assemblies. *Fire Safety Science*, Vol 2, pp. 169–178, 1989, <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.2-169>
- [114] MSZ EN 12101-6 Füst- és hőszabályozó rendszerek. 6. rész: Nyomáskülönbség elvén működő rendszerek műszaki előírása. Szerelvények. Magyar Szabványügyi Testület, 2005.
- [115] Szloboda Tiborné – Hack Frigyes – Fried Katalin – Wintsche Gergely: *Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok matematika, informatika, fizika, csillagászat, földrajz, kémia*, 2., jav. kiadás, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2008. 368 p.
- [116] Baumann Mihály: Épületek légforgalma. *17th Building Services, Mechanical and Building Industry days International Conference*, Debrecen, 2011. október 13.

- Elérés: 2025. január 27. [Online]. Elérhető: https://www.e-gepesz.hu/files/cikk9422_EUG_Baumann.pdf
- [117] 30/2019. (VII. 26.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról szóló 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet módosításáról.
- [118] Bérczi László: Új kihívások és alternatív megoldások a tűzoltásban. *Tűzvédelem*, 32(2) pp. 19–23, 2025.
- [119] Lis, Piotr – Lis, Anna: The Required Amount of Ventilation Air for the Classroom and the Possibility of Air Infiltration through the Windows. *Energies*, 14, 7537, 2021, <https://doi.org/10.3390/en14227537>
- [120] Recknagel, Hermann – Sprenger, Eberhard – Schramek, Ernst-Rudolf: *Fűtés- és klimatechnika 2000 I. kötet*, köt. 1, 2 köt. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 2000. 1051 p.
- [121] Várfalvi János: Ablakszerkezetek légátreresztése. Elérés: 2025. január 27. [Online]. Elérhető: http://152.66.45.150/EPFIZ/Ablakszerkezetek_legatreresztese.pdf
- [122] Barna Lajos: Tüzelőberendezések égési levegő ellátása. *A szén-monoxid mérgezések hatékony megelőzése Országos szakmai konferencia*, Budapest, 2015. március 5. Elérés: 2025. január 25. [Online]. Elérhető: <http://www.vedelem.hu/files/UserFiles/File/aktualis/20150403/04.pdf>
- [123] Gábor László – Zöld András: *Energiagazdálkodás az építészetben*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981, 327 p.
- [124] Liddament, Martin W.: *Air Infiltration Calculation Techniques - An Applications Guide*. The Air Infiltration and Ventilation Centre, Bracknell, Berkshire, 1986, Elérés: 2025. február 4. [Online]. Elérhető: <https://www.aivc.org/resource/air-infiltration-calculation-techniques-applications-guide>
- [125] Cho, Heejin – Liu, Bing – Gowri, Krishnan: *Energy Saving Impact of ASHRAE 90.1 Vestibule Requirements: Modeling of Air Infiltration through Door Openings*. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington 99352, 2010, <https://doi.org/10.2172/1017117>
- [126] MSZ EN ISO 9972 Épületek hőtechnikai viselkedése. Épületek légáteresztő képességének meghatározása. Túlnyomásos eljárás (ISO 9972:2015). Magyar Szabványügyi Testület, 2015.
- [127] Kronvall, Johnny: *Airtightness: measurements and measurement methods*. Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, 1980, 64 p.

- [128] Sherman, Max: The Use of Blower-Door Data. *Indoor Air*, 5, pp. 215–224, 1995, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1995.t01-1-00008.x>
- [129] Ridley, I. – Fox, J. – Oreszczyn, T. – Hong, S. H.: The Impact of Replacement Windows on Air Infiltration and Indoor Air Quality in Dwellings. *International Journal of Ventilation*, 1(3), pp. 209–218, 2003, <https://doi.org/10.1080/14733315.2003.11683636>
- [130] Klems, J. H.: Methods of estimating air infiltration through windows. *Energy and Buildings*, 5(4), pp. 243–252, 1983, [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(83\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0378-7788(83)90012-9)
- [131] Zheng, Xiaofeng – Wood, Christopher J.: On the power law and quadratic forms for representing the leakage-pressure relationship – Case studies of sheltered chambers. *Energy and Buildings*, 226, 110380, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110380>
- [132] Shermanm, M. H. – Wilson, D. J. – Kiel, D. E.: Variability in residential air leakage. ASTM Symposium on Measured Air Leakage Performance of Buildings, Philadelphia, PA, 1984. április, Elérés: 2024. november 16. [Online]. Elérhető: <https://www.aivc.org/resource/variability-residential-air-leakage>
- [133] Mihály István: Estimating the Air Leakage Rate of Smoke Control Doors for Calculations Procedures, Part 1. *Hadmérnök*, (megjelenés alatt)
- [134] MSZ EN 1634-1:2009 Ajtók, redőnyök, nyitható ablakok és vasalataik tűzállósági és füstzárási vizsgálatai. 1. rész: Ajtók, redőnyök és nyitható ablakok tűzállósági vizsgálatai. Magyar Szabványügyi Testület, 2009.
- [135] MSZ EN 13501-2:2008 Épületszerkezetek és építési termékek tűzvédelmi osztályozása. 2. rész: Osztályba sorolás – a szellőzési rendszerek kivételével – a tűzállósági vizsgálatok eredményeinek felhasználásával. Magyar Szabványügyi Testület, 2008.
- [136] MSZ EN 14600:2006 Tűzálló és/vagy füstgátló tulajdonságú ajtók, kapuk és nyitható ablakok. Követelmények és osztályba sorolás. Magyar Szabványügyi Testület, 2006.
- [137] MSZ EN 1935:2004 Zárak és épületvasalatok. Egytengelyű ajtó- és ablakpántok. Követelmények és vizsgálati módszerek. Magyar Szabványügyi Testület, 2004.
- [138] Kronvall, Johnny: Air flows in building components. Doctoral Thesis (monograph), Division of Building Physics, Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola, 1980.
- [139] Martin, P. L. (szerk.): *IHVE Guide Book A 1970*. The Institution of Heating and Ventilating Engineers, London, 1970.
- [140] Baumann Mihály: Tüzelőberendezések légellátása. *Magyar Installateur*, 15(10–11), pp. 28–30, 2005.
- [141] Mainka, Georg-Wilhelm – Winkler, Heiko: Influence of New External Protective Glazing on Historic Painted Windowpanes in Medieval Churches. *ASHRAE 2010 Buildings*

- XI Conference*, 2011, Elérés: 2025. február 4. [Online]. Elérhető: http://eprints.sparaochbevara.se/610/1/31_Mainka%5B1%5D.pdf
- [142] Owen, Mark S. (szerk.): *2017 ASHRAE Handbook: Fundamentals*, si ed. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 2017.
- [143] Bland. J. Martin – Altman, Douglas G.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), pp. 307–310, 1986, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)
- [144] Field, Andy: *Discovering statistics using SPSS: and sex and drugs and rock'n'roll*, 3. ed., Repr. Sage, Los Angeles, 2012. 821 p.
- [145] Mihály István: Estimating the Air Leakage Rate of Smoke Control Doors for Calculations Procedures, Part 2. *Hadmérnök* (megjelenés alatt)
- [146] TvMI 3.2:2017.12.01. Hő és füst elleni védelem Tűzvédelmi Műszaki Irányelv. 2017.
- [147] TvMI 3.3:2020.01.22. Hő és füst elleni védelem Tűzvédelmi Műszaki Irányelv. 2020.
- [148] NFPA 101, Life Safety Code. National Fire Protection Association: Quincy, MA, USA,
- [149] AS/NZS 1668.1:1998 The use of ventilation and airconditioning in building. Part 1: Fire and smoke control in multi-compartment buildings. Australian/New Zealand Standard, 1998.
- [150] *ASHRAE Handbook - HVAC Applications (SI) 2017*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), Atlanta, GA, 2017.
- [151] Klote, John H. – Fothergill, J. W.: *Design of smoke control systems for buildings*. National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, NBS HB 141, 1983. <https://doi.org/10.6028/NBS.HB.141>
- [152] MSZ EN 179:2008 Zárak és épületvasalatok. Menekülőutak kilinccsel vagy nyomólappal működtetett vészkijáratok zárai. Követelmények és vizsgálati módszerek Magyar Szabványügyi Testület, 2008.
- [153] MSZ EN 1125:2008 Zárak és épületvasalatok. Menekülőutak pánikajtózárak vízszintes működtetőráddal. Követelmények és vizsgálati módszerek. Magyar Szabványügyi Testület, 2008.
- [154] MSZ EN 1154:1999 Zárak és épületvasalatok. Szabályozottan működő ajtócsukó eszközök. Követelmények és vizsgálati módszerek. Magyar Szabványügyi Testület, 1999.
- [155] Guideline No 2:2022 F; Panic & emergency exit devices. Confederation of Fire Protection Associations (CFPA) Europe, Copenhagen, Denmark, 2022. [Online]. Elérhető: https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_02_2022_F.pdf

- [156] Klote, John H.: A New Look at Door-Opening Forces and Smoke Control. 2018 ASHRAE Annual Conference, *ASHRAE Transactions*, 124(2), 2018.
- [157] Wickens, Christopher D. – Gordon, Sallie E. – Liu, Yili: *An introduction to human factors engineering*. Addison Wesley Longman, New York, 2002. 636 p.
- [158] Chang, Shih-Kai – Drury, Colin G.: Task demands and human capabilities in door use. *Applied Ergonomics*, 38(3), pp. 325–335, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.023>
- [159] Son, Jong-Yeong – Bae, Young-Hoon – Kim, Young-Chan – Oh, Ryun-Seok – Hong, Won-Hwa – Choi, Jun-Ho: Consideration of the Door Opening Process in Pedestrian Flow: Experiments on Door Opening Direction, Door Handle Type, and Limited Visibility. *Sustainability*, 12, 8453, 2020, <https://doi.org/10.3390/su12208453>
- [160] Norman, Donald A.: *The design of everyday things*, Rev. and Expanded edition. Basic Books, New York, 2013. 347 p.
- [161] *New York City Administrative Code (Current through Local Law 2026/049, enacted January 17, 2026)*, Title 28: New York City Construction Codes, Chapter 7: New York City Building Code. Elérés: 2026. január 25. [Online]. Elérhető: <https://codelibrary.amlegal.com/codes/newyorkcity/latest/NYCAAdmin/0-0-0-174233>
- [162] Mihály István: Hinged Doors Opening Force in Pressurized Stairwells. *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials*, (megjelenés alatt)
- [163] Kákonyi Gyula: *Zárak, lakatok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986, 213 p.
- [164] Klote, John H. – Zile, Richard. H.: Smoke Movement and Smoke Control on Merchant Ships., NIST Interagency/Internal Report (NISTIR). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1981. Elérés: 2026. január 15. [Online]. Elérhető: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C13-b4da454dfcaf7ec205b4bbdc9dd11cb0/pdf/GOVPUB-C13-b4da454dfcaf7ec205b4bbdc9dd11cb0.pdf>
- [165] Code of Practice: Hardware for Fire and Escape Doors. Issue 5. Door and Hardware Federation (DHF) and Guild of Architectural Ironmongers (GAI), hely nélkül, 2024. Elérés: 2026. január 20. [Online]. Elérhető: https://firecode.org.uk/Code_of_Practice_hardware_for_fire_and_escape_doors_issue_5.pdf

A TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

LEKTORÁLT SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK (ON-LINE IS)

Magyar nyelvű mértékadó folyóiratban idegen nyelven

- [1] Mihály István, Varga Ferenc: An Experimental Study of Smoke Movement in a Pressurised Smoke-Free Staircase. HADMÉRNÖK 18 : 4 pp. 79–96., 18 p. (2024) (<https://doi.org/10.32567/hm.2023.4.6>)
- [2] Mihály István: Estimating the Air Leakage Rate of Smoke Control Doors for Calculations Procedures, Part 1. HADMÉRNÖK, megjelenés alatt, 1–14.
- [3] Mihály István: Estimating the Air Leakage Rate of Smoke Control Doors for Calculations Procedures, Part 2. HADMÉRNÖK, megjelenés alatt, 1–12.

Magyar nyelvű mértékadó folyóiratban magyar nyelven

- [4] Mihály István: Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai méréseinek tapasztalatai I. rész. VÉDELEM TUDOMÁNY 7 : 4 pp. 69–93., 24 p. (2022)
- [5] Mihály István, Bérczi László: Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak légtechnikai méréseinek tapasztalatai II. VÉDELEM TUDOMÁNY 8 : 1 pp. 47–64., 17 p. (2023)
- [6] Mihály István: Túlnyomásos füstmentes lépcsőházak tervezése. HADMÉRNÖK 18 : 3 pp. 83–102., 19 p. (2023) (<https://doi.org/10.32567/hm.2023.3.7>)
- [7] Mihály István: Füstmentesítő rendszerek vizsgálata. POLGÁRI VÉDELMI SZEMLE 16 : Különszám pp. 366–378., 13 p. (2024)
- [8] Mihály István, Bérczi László, Zólyomi Géza, Varga Ferenc: Stairwell Pressurisation – Opportunities to Improve Safety. POLGÁRI VÉDELMI SZEMLE 11 : Különszám pp. 278–287., 10 p. (2024)

Q1-Q2 KATEGÓRIÁS KÖZLEMÉNY

- [9] Mihály István, Bérczi László, Bognár Balázs, Kátai-Urbán Maxim, Tóth Levente, Kátai-Urbán Lajos, Vass Gyula, Varga Ferenc: Experimental Study to Determine the Leakage Area of Single-Leaf Smoke Control Doors in the Design of Pressure Differential Systems. FIRE 2025, 8(1), 5. (<https://doi.org/10.3390/fire8010005>)

Q3-Q4 KATEGÓRIÁS KÖZLEMÉNY

- [10] Mihály István: Hinged Doors Opening Force in Pressurized Stairwells. ÉPÍTŐANYAG – JOURNAL OF SILICATE BASED AND COMPOSITE MATERIALS, megjelenés alatt, 1–7.

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYBAN MEGJELENT (ON-LINE IS)

Lektorált magyar nyelvű előadás

- [11] Mihály István, Bérczi László, Varga Ferenc: Túlnyomásos füstmentesítés vizsgálatának tapasztalatai. In: Bodnár László, Hábermayer Tamás (szerk.) Nemzetközi Tudományos Konferencia a Katasztrófák Csökkentésének Világnapja alkalmából: Védelem Tudomány, Budapest, 2023.11.30. pp 337–343. 7 p. (2023)

Lektorált idegen nyelvű előadás

- [12] Mihály István, Bérczi László, Varga Ferenc: The Development of Pressurised Smoke-free Staircases in Hungary. In: Lestyán Mária, Bodnár László, Érces Gergő, Varga Ferenc (szerk.) International Disaster Management Scientific Conference - Focus on Changes in the Fire Safety Situation, Magyar Tűzvédelmi Szövetség, Budapest, 2024.05.23. pp 91–98. 8 p. (2024)

MELLÉKLETEK

1. Fogalmak

2. Alkalmazott rövidítések jegyzéke

3. Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke

4. Mérések során alkalmazott műszerek jellemzői

5. Kohéziós táblázat

1. Fogalmak

többszintes épület (az értekezés alkalmazásában)	Olyan épület, amelyben a legfelső építményszint szintmagassága – az engedélyezésekor hatályos előírástól függően – a 13,60/13,65 m -t nem éri el. Ha a legfelső két szint egy rendeltetési egységet alkot, úgy a szintmagasság megállapításakor az alsó szint szintmagasságát kell figyelembe venni. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak követelményeinek összehasonlíthatósága végett ide tartoznak azon épületek is, ahol a legfelső építményszint szintmagassága a 14,0 métert nem éri el.
középmagas épület (az értekezés alkalmazásában)	Olyan épület, amelyben a legfelső építményszint szintmagassága – az engedélyezésekor hatályos előírástól függően – 13,60/13,65 m és 29/30 m között van. Ha a legfelső két szint egy rendeltetési egységet alkot, úgy a szintmagasság megállapításakor az alsó szint szintmagasságát kell figyelembe venni. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak követelményeinek összehasonlíthatósága végett ide tartoznak azon épületek is, ahol a legfelső építményszint szintmagassága a 14,0 és 30,0 m között van.
magasépület (az értekezés alkalmazásában)	Olyan épület, amelyben a legfelső építményszint szintmagassága – az engedélyezésekor hatályos előírástól függően – a 29/30 m-t meghaladja. Ha a legfelső két szint egy rendeltetési egységet alkot, úgy a szintmagasság megállapításakor az alsó szint szintmagasságát kell figyelembe venni. A túlnyomásos füstmentes lépcsőházak követelményeinek összehasonlíthatósága végett ide tartoznak azon épületek is, ahol a legfelső építményszint szintmagassága – a létesítés időpontjától függetlenül – a 30,0 m-t meghaladja.
zártávolság	előlap-kulcsközép távolság: [Dornmaß/backset] – A zárszekrény előlapjától a kilincstengely (dió) középpontjáig mért távolság.
füstmentesítés	A védett helyiségbe a füst menekülésre nézve veszélyes mértékű bejutását meggátoló megoldások összessége
füstmentes lépcsőház	az olyan lépcsőház, amelybe az épülettűz alkalmával képződött füst és mérgező égésgázok bejutásának lehetősége oly mértékben van korlátozva, hogy a lépcsőház az épület biztonságos kiürítésére és a mentésre meghatározott ideig alkalmas marad
hő és füst elleni védelem	a tűz esetén fejlődő hő és füst terjedését korlátozó, az elvezetését és a füstmentesítést biztosító megoldások összessége
füstgátló nyílászáró	szerkezet, amely beépítve, csukott állapotban a füstnek és a tűz esetén képződő toxikus gázoknak az általa elválasztott térrész egyik oldaláról a másik oldalára való áttérjedését meghatározott mértékben és ideig korlátozza

átmeneti védett tér	helyiség, helyiségcsoport vagy tér, amely kialakításával tűz esetén az oda menekülő vagy menekített személyek biztonságát átmenetileg, a mentés vagy a további menekülés végrehajtásáig biztosítja
biztonsági felvonó	az épülettűz alatt is működtethető felvonó, amely lehet tűzoltó felvonó vagy menekülési felvonó
összefüggő tömeggel járó tömegtartózkodás	személyek 300 főt meghaladó létszámú csoportja, ideértve a nézőteret is, amelyen belül a fajlagos létszámsűrűség meghaladja szabadtéren a 0,5 fő/m ² -t, épületen, valamint épület helyiségében az 1,0 fő/m ² -t
pánikajtózár	Az EN 1125 szerinti pánikajtózár, amely úgy van kialakítva, hogy kis erőfeszítéssel lehetséges legyen a biztos és hatékony kijövetel az ajtón keresztül anélkül, hogy a pánikajtózár működését ismernénk, akkor is, ha az ajtó nyomás alatt áll, pl. ha emberek nyomják a menekülési iránnyal ellentétesen.
pánikrúd	A pánikajtózárnak az a vízszintes része, amely a szerkezetet nyomás hatására működésbe hozza.
vészkijárat	Az MSZ EN 179 szerinti vészkijárat olyan vészhelyzetek esetére, ahol a pánikhelyzet nem valószínű, amely egyetlen mozdulattal lehetővé teszi a biztos és hatékony kijövetelt az ajtón keresztül anélkül, hogy a zár működésének előzetes ismeretére szükség lenne
menekülésben korlátozott személy	olyan személy, aki életkora, értelmi vagy fizikai-egészségi állapota alapján, esetleg külső korlátozás miatt önálló menekülésre nem képes
hő- és füstelvezető rendszer	hő- és füstelvezető, légpótló szerkezetek, berendezések és azok működtetését, valamint a füstszakaszolást biztosító megoldások és rögzítéseik összefüggő rendszere, a beépített tűzjelző berendezés kivételével
beépített tűzjelző berendezés	az építményben vagy szabadtéren elhelyezett, helyhez kötött, a tűz kifejlődésének korai szakaszában észlelést, jelzést és megfelelő tűzvédelmi intézkedést önműködően végző olyan berendezés, amely rendelkezik a tűzvédelmi hatóság használatbavételi engedélyével, vagy amelynek használatbavétel iránti bejelentését a tűzvédelmi hatóság tudomásul vette
hő- és füstelvezetés tűzoltósági vezérlőablója	a hő és füst elleni védelem valamennyi eszközének egy központi helyről való, a tűzoltóság általi távműködtetését biztosító kezelőfelület
biztonsági tápforrás	a normál tápforrás kiesése esetén a tűzeseti fogyasztókat előírt ideig ellátó tápforrás
menekülési útvonal	a menekülő személyek által igénybe vett közlekedési útvonal, amely kialakításával tűz esetén a kiürítés második szakaszában – tömegtartózkodásra szolgáló helyiség esetén a helyiség kiürítésére szolgáló nyílászárót követő

	útvonalon – biztosítja a menekülő személyek biztonságát a meneküléshez szükséges időtartamig
mértékadó kockázati osztály	az építmény, az önálló épületrész egészére vonatkozó besorolás, amely megegyezik a kockázati egységek kockázati osztályai közül a legszigorúbbal
nyithatóság	kiürítésre szolgáló nyílászáró zárt állapotának oldására és a nyílászáró kézzel való kitérítésére, nyitott állapotba mozgatására való alkalmasság
kiürítésre szolgáló útvonal	az építmény bármely részén tartózkodó személy által a kiürítés folyamata közben tervezetten bejárt útvonal, amely magába foglalja a kiürítés első szakaszának útvonalát (a menekülési útvonal elérését, egy helyiség, illetve helyiségcsoport elhagyását) és a kiürítés második szakaszának útvonalát (a menekülési útvonalat)
felülvizsgálat	a jogosult személy által végzett mindazon intézkedések, tevékenységek összessége, amelyek célja az érintett műszaki megoldás működőképességéről, hatékonyságáról, az üzemeltetői ellenőrzés, a karbantartás és a javítás megtörténtéről való meggyőződés, valamint ezek írásban történő dokumentálása
karbantartás	mindazon intézkedések, tevékenységek összessége, amelyek célja az érintett műszaki megoldás működőképességének, hatékonyságának biztosítása, meghibásodásának megelőzése, valamint ezek dokumentálása
kijárat szint	az az építményszint, amelyen a benttartózkodó személyek a menekülés során elhagyják az épületet, speciális építményt, és a csatlakozó terepszintre távoznak
kiürítés	az épületben, épületen, speciális építményben, szabadtéren tartózkodó személyek átmeneti védett térbe vagy biztonságos térbe jutását célzó haladás folyamata
kockázati osztály	a tűz esetén a veszélyeztetettséget, a bekövetkező kár, veszteség súlyosságát, a tűz következtében fellépő további veszélyek mértékét kifejező besorolás
tűzgátló előtér	tűzgátló építményszerkezetekkel határolt előtér, amely önálló szellőztetéssel rendelkezik, ajtószervezeteinek mérete biztosítja a gyors menekülés lehetőségét, és ajtószervezetei önműködő csukószerkezettel ellátottak
tűzgátló nyílászáró	a tűzgátló ajtó, ablak, kapu, függönykapu, redőnykapu, zsalu és a technológiai szállítópálya átvezető nyílását lezáró tűzgátló lezárás, amely csukott állapotban a tűz áttérjedését meghatározott ideig meggátolja
állószárny	Az egy irányba nyíló, ütközőperemes, kétszárnyú nyílóajtó utoljára nyíló és elsőnek csukódó ajtószárnya.
mozgó szárny	Az egy irányba nyíló, ütközőperemes, kétszárnyú nyílóajtó először nyíló és utolsónak csukódó ajtószárnya.
kétszárnyú ajtó	Olyan építő elemcsoport, amely egy tokban elhelyezkedő két nyílószárnyból áll.

nyitónyomaték	Az ajtó használója által annak nyitásakor az ajtószárnyra kifejtett nyomaték Nm-ben.
csukónyomaték	Az ajtócsukón keresztül az ajtószárnyra a becsukódás során ható forgatónyomaték Nm-ben.

2. Alkalmazott rövidítések jegyzéke

OTSZ	54/2014. (XII. 5.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat
TvMI	Tűzvédelmi Műszaki Irányelv
Tvt.	1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
CCMC	CEN-CENELEC Management Centre
PDS	Pressure differential systems
MHHR	Muster-Hochhaus-Richtlinie
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
MVV TB	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
IBC	International Building Code
IFC	International Fire Code
ICC	International Code Council
NFPA	National Fire Protection Association
NCC	National Construction Code
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
TRVB	Technische Richtlinien Vorbeugender Brandschutz
GUM	Guide to the expression of uncertainty in measurement
JCGM	Joint Committee for Guides in Metrology
SPSS®	Statistical Package for the Social Sciences
PPV	Positive Pressure Ventilation
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
TMMK	tűzvédelmi műszaki megfelelőségi kézikönyv
CFPA-E	Confederation of Fire Protection Associations Europe (CFPA-Europe)

3. Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke

Ábrák

1. ábra – A nyomáskülönbség elvén működő rendszerekre vonatkozó aktuális európai szabványok és a magyarországi TvMI, forrás: [5], [6], [7].....	5
2. ábra – A vizsgált lépcsőházak kialakítása szerinti megoszlás, készítette a szerző.....	30
3. ábra – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőház az előtérhez kapcsolódó tűzoltó felvonóval, készítette a szerző.....	32
4. ábra – Az építmények magasság szerinti megoszlása, készítette a szerző.....	32
5. ábra – A vizsgált épületek rendeltetés szerinti megoszlása, készítette a szerző.....	33
6. ábra – A vizsgált lépcsőházak ajtóinak szivárgási réshosszainak jellemző értékei, készítette a szerző.....	34
7. ábra – A vizsgált levegőbevezetés pozíciója szerinti megoszlása, készítette a szerző.....	35
8. ábra – A lépcsőházakhoz kapcsolódó közlekedők hő- és füstelvezetése, készítette a szerző.....	36
9. ábra – A vizsgált túlnyomásos lépcsőházak nyomásszabályozásának módja, készítette a szerző.....	37
10. ábra – A frekvenciaváltóval szabályozott túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban alkalmazott nyomástávadók számának megoszlása, készítette a szerző.....	38
11. ábra – A nyílászáró szabad keresztmetszetében felvett mérési pontok száma és elhelyezkedése a vizsgálatok során 90/210 nyílásméret esetén, készítette a szerző [72].....	45
12. ábra – A nyitott ajtók szabad keresztmetszetében rögzített légsebesség értékek m/s-ban az első és a második mérési sorozat során, készítette a szerző [68]	46
13. ábra – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőház vizsgálatához kapcsolódó felmérési terv, készítette a szerző [82]	48
14. ábra – Túlnyomásos előtérrel kialakított lépcsőház jellemző helyiségkapcsolata általános emeleti szinten [82]	49
15. ábra – Nyomáskülönbség követelmény teljesülésének megoszlása a vizsgált lépcsőházak esetében, készítette a szerző	50
16. ábra – Differenciálnyomásmérés grafikus ábrázolása az idő függvényében, készítette a szerző Testo Comfort – Software X35 programmal	52
17. ábra – Regisztrált differenciálnyomások különböző nyílászáróknál 25-75 Pa közötti tartományokban, készítette a szerző.....	53

18. ábra – Regisztrált differenciálnyomások különböző nyílászáróknál $50\pm 10\%$ Pa tartományokban, készítette a szerző.....	54
19. ábra – Differenciálnyomás-karakterisztika értelmezése, készítette a szerző	55
20. ábra – Differenciálnyomás-karakterisztika, differenciálnyomás mérése lépcsőház előtéri ajtón keresztül, készítette a szerző Testo Comfort – Software X35 programmal [85]	57
21. ábra – regisztrált átlagos légsebességek különböző tartományokban, készítette a szerző .	59
22. ábra – Egy L4 légzárású ajtó szivárgási vesztesége különböző nyomáskülönbségek esetén, készítette a szerző [55, o. 3–4]	70
23. ábra – a rés módszer és az MSZ EN 12101-13 által ajánlott számítási módszer eredményeinek összehasonlítása, készítette a szerző	74
24. ábra – A mérés elvi elrendezése mérőtölcsér alkalmazásával, készítette a szerző [67]	79
25. ábra – vizsgált előtér alaprajzi elrendezése, készítette a szerző [67]	84
26. ábra – mérési eredmények összehasonlítása, készítette a szerző [67].....	90
27. ábra – eredmények ábrázolása Bland-Altman-féle ábrán, készítette a szerző SPSS Statistic szoftverrel.....	92
28. ábra – Mért differenciálnyomás és térfogatáram értékek, valamint becsült szivárgási felületek az „A” oldal 6. emeleti előterében, készítette a szerző [67].....	96
29. ábra – Mann-Whitney teszthez tartozó kettős hisztogram a szivárgási felületek eloszlásának szemléltetésére a két csoportban, készítette a szerző SPSS Statistic programmal	98
30. ábra – A vizsgált ajtók becsült résvesztesége a nyomáskülönbség függvényében, készítette a szerző [67]	99
31. ábra – Mann-Whitney teszthez tartozó kettős hisztogram a fajlagos légáteresztési tényezők eloszlásának szemléltetésére a két csoportban, készítette a szerző SPSS Statistic programmal	101
32. ábra – Mérések alapján becsült fajlagos légáteresztési tényező és a TvMI által javasolt érték, készítette a szerző [145]	102
33. ábra – légveszteség együtthatók, készítette a szerző [145]	102
34. ábra – Légtechnikai mérések eredményei a vizsgált előtérben, készítette a szerző	105
35. ábra – különböző anyagú szalagok alkalmazásával végzett légtechnikai mérések eredményei, készítette a szerző	108
36. ábra – Kétszárnyú ajtók kialakításának lehetőségei vészkijáratok illetve pánik működtető berendezéssel, készítette a szerző.....	115

37. ábra – Az ajtónyitáshoz szükséges erő értelmezése a túlnyomásos térbe nyíló, egyszárnyú, kilinccsel vagy fogógommbal, készítette a szerző	117
38. ábra – Nyitási erő értelmezése szimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt, egyszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén, készítette a szerző	119
39. ábra – Nyitási erő értelmezése aszimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt, egyszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén, készítette a szerző	120
40. ábra – Nyitási erő értelmezése szimmetrikusan elhelyezett pánikrúddal szerelt, kétszárnyú, túlnyomásos térbe nyíló ajtó esetén a mozgásba hozás pillanatában, készítette a szerző	121
41. ábra – Ütközőperem nélküli és ütközőperemes kialakítás értelmezése, készítette a szerző [163, o. 119] alapján.....	127
42. ábra – A vizsgált kétszárnyú ajtó geometriai jellemzői, készítette a szerző	130
43. ábra – Kétszárnyú, szimmetrikus, mindkét szárnyon pánikrúddal szerelt ajtó méretei, készítette a szerző.....	135
44. ábra – Túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtók nyitási mechanizmus jelölés javaslatai, készítette a szerző.....	139
45. ábra – Javasolt jelölési rendszer további elrendezéseknél, aszimmetrikus kialakítás esetén, készítette a szerző.....	141

Táblázatok

1. táblázat – Előtér nélkül kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető légtechnikai követelményeinek változásai legfeljebb középmagas épületekben, szerkesztette a szerző.....	24
2. táblázat – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető légtechnikai követelményeinek változásai legfeljebb középmagas épületekben, szerkesztette a szerző	25
3. táblázat – Előtérrel kialakított túlnyomásos füstmentes lépcsőházak alapvető légtechnikai követelményeinek változásai magasépületekben, szerkesztette a szerző.....	27
4. táblázat – Az alkalmazott műszer felbontásából és pontosságából adódó bizonytalanság, szerkesztette a szerző	41
5. táblázat – Az alkalmazott érzékelő felbontásából és pontosságából adódó bizonytalanság, szerkesztette a szerző	44
6. táblázat – Különböző forrásokból származó egyszárnyú ajtók réstényezőjének összehasonlítása, szerkesztette a szerző	76

7. táblázat – a mérőtölcsérrel végzett mérések során alkalmazott műszerek jellemzői, szerkesztette a szerző	82
8. táblázat – Az előterek esetén figyelembe vett geometriai és légtömörség adatok, szerkesztette a szerző	85
9. táblázat – paraméterek bizonytalanságának becslése, szerkesztette a szerző	91
10. táblázat –A határoló szerkezetek mérésekkel meghatározott szivárgási felülete, szerkesztette a szerző	94
11. táblázat – A túlnyomásos térbe nyíló, egyszárnyú füstgátló ajtók szivárgási felülete a mérések alapján, szerkesztette a szerző.....	97
12. táblázat – A túlnyomásos térből nyíló, egyszárnyú füstgátló ajtók szivárgási felülete a mérések alapján, szerkesztette a szerző.....	97
13. táblázat – becsült résveszteség tényezők a túlnyomásos térbe nyíló ajtók esetén a mérési eredmények alapján, szerkesztette a szerző	100
14. táblázat – becsült résveszteség tényezők a túlnyomásos térből nyíló ajtók esetén a mérési eredmények alapján, szerkesztette a szerző	100
15. táblázat – az előtér esetén figyelembe vett geometriai és légtömörség adatok, szerkesztette a szerző.....	104
16. táblázat – a túlnyomásos lépcsőházak ajtóinak megengedett legnagyobb nyitási erejének javasolt értékei különböző források szerint, szerkesztette a szerző	113
17. táblázat – Szabályozott ajtócsukókra vonatkozó követelmények 3-7 teljesítmény-kategória esetén az EN 1154 szerint, szerkesztette a szerző [154, o. 8]	114
18. táblázat – A mozgó- illetve az állószárnyra szerelt pánikrúd közepére kifejtett, az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges elméleti erők példája, szerkesztette a szerző	122
19. táblázat – az ajtószárnyak nyitásához szükséges elméleti erők, szerkesztette a szerző ...	123
20. táblázat – Az alkalmazott műszer felbontásából és pontosságából adódó bizonytalanság, szerkesztette a szerző	126
21. táblázat – A vizsgált egyszárnyú ajtók geometriai jellemzői, szerkesztette a szerző.....	129
22. táblázat – Az egyszárnyú ajtóknál végzett mérések eredményeinek összefoglaló táblázata, szerkesztette a szerző	129
23. táblázat – Az ajtószárnyak mozgásba hozásához szükséges mért erők, szerkesztette a szerző.....	131
24. táblázat – A mozgószárnyon mért erő 6,1 Pa és 59 Pa nyomáskülönbség esetén, szerkesztette a szerző	132
25. táblázat – Az állószárny mozgásba hozásához szükséges erők, szerkesztette a szerző ...	133

26. táblázat – Az állószárny mozgásba hozásához szükséges mért és becsült erő 6,1 Pa nyomáskülönbség esetén, szerkesztette a szerző.....	133
27. táblázat – Az ajtók nyitásához szükséges erő mérésének eredményei kikapcsolt lépcsőházi füstmentesítő rendszer esetén, szerkesztette a szerző	135
28. táblázat – Az szárnyak mozgásba hozásához szükséges erő mérésének eredményei $\Delta p=50$ Pa és $\Delta p=30$ Pa névleges nyomáskülönbségen működő lépcsőházi füstmentesítő rendszer esetén, szerkesztette a szerző	136

Képek

1. kép – Nyomáskülönbség mérés és regisztrálás csukott lépcsőházi ajtón keresztül, szerző felvétele	43
2. kép – Áramlás vizsgálata „smoke pen” használatával, készítette a szerző [86].....	58
3. kép – Az ajtókeretbe szerelt blower door műszer a mérés közben, készítette a szerző	78
4. kép – A légszelep kézzel történő állításával az előtérbe bevezetett levegő mennyisége szabályozható, készítette a szerző	80
5. kép – A levegő mennyiségének mérése mérőtölcsérrel és szárnykerekesszondával, készítette a szerző [133]	82
6. kép – DG-1000 digitális nyomás- és áramlásmérő felszerelt állapotban, készítette a szerző	83
7. kép – a nyitott ajtó tokjába épített blower door műszer mérés közben, készítette a szerző [67]	89
8. kép – Mérésre előkészített ajtó a lineáris rések leragasztott állapotában, készítette a szerző	93
9. kép – a vizsgált ajtó csukott állapotban és a zárszerkezet, készítette a szerző.....	103
10. kép – szálerősítésű, alumínium és PVC szalaggal lezárt rések, készítette a szerző	106
11. kép – Szimmetrikus és aszimmetrikus szárny kialakítású, szimmetrikusan elhelyezett pánikrudal szerelt túlnyomásos füstmentes lépcsőházba ajtók, készítette a szerző	124
12. kép – Nyitási erő mérése kalibrált digitális húzó-nyomó erőmérő alkalmazásával és egyszerű rugós erőmérővel, készítette a szerző [162].....	125
13. kép – A mérési pontok jelölése kilincses és pánikrudas ajtón, készítette a szerző	127
14. kép – túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtó nyitást elősegítő jelölése, készítette a szerző	140

4. Mérések során alkalmazott műszerek jellemzői

Ssz.	Műszer típusa	Mért jellemző	Mérési tartomány / felbontás	Pontosság	Kalibrálási bizonyítvány száma	Sorozat-szám	Megjegyzés
1.	Alapműszer 435-4 0977 4350	differentiál nyomás	0... 25 hPa / 0,01 hPa	$\pm 0,02$ hPa (0... +2 hPa) $\pm 1\%$ a mért értéknek (maradék tartomány)	1857312_2* 2608201* 3025568* 3918425*	02670018	Használatban: 2022. november 18-ig
2.	Alapműszer 400 0560 0400	differentiál nyomás	0-200 hPa / $\pm 0,001$ hPa	$\pm(0,3$ Pa + mérési érték 1%-a) ± 1 digit (0 ... 25 hPa) $\pm(0,1$ Pa + mérési érték 1,5%-a) ± 1 digit (25,001 ... 200 hPa)	4740014* 5279660* 6187656_2*	63824962	Használatban: 2022. november 21-től
		abszolút nyomás	+700 ... +1100 hPa / $\pm 0,1$ hPa	3 hPa $\pm$	6187565_1*		
3.	Hődrótos érzékelő 0635 1025 Hődrótos érzékelő 0635 1025	hőmérséklet	-20...+70°C/ 0,1°C	$\pm 0,3^\circ\text{C}$	160003****	10288578	
		légssebesség	0-20 m/s / 0,01 m/s	$\pm 0,03$ m/s +5%	160002****		
4.	Hődrótos érzékelő 0635 1025 Hődrótos érzékelő 0635 1025	hőmérséklet	-20...+70°C/ 0,1°C	$\pm 0,3^\circ\text{C}$	190841**** 211059****	10377054	
		légssebesség	0-20 m/s / 0,01 m/s	$\pm 0,03$ m/s +5%	190840**** 211060****		
5.	Hődrótos érzékelő 0635 1570	hőmérséklet	-20 ... +70°C / 0,1°C	$\pm 0,8^\circ\text{C}$ (-20 ... 0°C) ± 1 digit $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (0 ... 70°C) ± 1 digit	224648**** 234791**** 250975**	21046910	
		légssebesség	0 ... +50 m/s / 0,01 m/s	$\pm(0,03$ m/s mérési érték +4%-a) ± 1 digit (0 ... 20 m/s) $\pm(0,5$ m/s mérési érték +5%-a) $\pm$ 1 digit (20,01 ... 30 m/s)	224649**** 234792**** 250976**		
		páratartalom	5 ... 95%RP / 0,1 %RP	$\pm 3,0\%$ RP ± 1 digit (10%RP ... 35%RP) $\pm 2,0\%$ RP ± 1 digit (35%RP ... 65%RP) $\pm 3,0\%$ RP ± 1 digit (65%RP ... 90%RP) $\pm 5\%$ RP ± 1 digit (mar. t.) Hiszterézis: $\pm 1,0\%$ RP	234790**** 250974**		

6.	Hődrótos érzékelő 0635 1026	hőmérséklet	-20 ... +70°C / 0,1 °C	±0,5°C (0 ... 70°C) ± 1 digit	250977**	63215122	
		légssebesség	0 ... +20 m/s / 0,01 m/s	±0,03 m/s +5%	250978**		
7.	60 mm-es szárnykerekesszonda 0635 9335	légssebesség	0,25-20 m/s / 0,01 m/s	±0,1 m/s +1,5%	190842*** 211061***	10376953	Használatban: 2022. november 18-ig
8.	100 mm-es szárnykerekesszonda 0635 9430	légssebesség	0,3 ... 35 m/s / 0,01 m/s	±(0,1 m/s + mérési érték 1,5%- a) (0,3 ... 20 m/s) ±(0,2 m/s + mérési érték 1,5%- a) (20,01 ... 35 m/s)	224647*** 234789*** 250973**	21052146	
9.	100 mm-es szárnykerekesszonda 0635 9430	légssebesség	0,3 ... 35 m/s / 0,01 m/s	±(0,1 m/s + mérési érték 1,5%- a) (0,3 ... 20 m/s) ±(0,2 m/s + mérési érték 1,5%- a) (20,01 ... 35 m/s)	240197***	21274683	Használatban: 2025.március 17-ig
10.	608-H2 0560 6082	hőmérséklet	-10 ... +70°C / 0,1°C	±0,5°C (+25°C-on)	224651***	83790974/ I 0000 10924	
		páratartalom	10 ... 95%RP / 0,1%RP	±2%RP (+25°C-on)	224650***		
11.	Prandtl cső 0635 2145	légssebesség	1-100 m/s	alapszerrel megegyező	190843***	-	
12.	Prandtl cső 0635 2045	légssebesség	1-100 m/s	alapszerrel megegyező	-	-	
13.	Prandtl cső 0635 2345	légssebesség	1-100 m/s	alapszerrel megegyező	250979**	15053252 / 16132420	
14.	Mérőtölcsér készlet 417	térfogatáram	0 ... +440 m³/h 0,1 ... +220 m³/h 0,1 ... 100 m³/h / 0,1 m³/h (0 ... 99 m³/h) 1 m³/h (100 ... 440 m³/h)	alapszerrel megegyező	-	-	
15.	zsebmérőszalag PRO-TM 3 m	hosszúság	3000 mm / 1 mm	Class 1 (0,4 mm 3,0 méter hossz)	-	-	

16.	FK1K húzó-nyomó erőmérő	nyitási erő	0-1000 N/ 0,5 N	±0,5%	295/037/19 11523/21	ISWD 1800357	Kalibrálta: Métisz-Q Kft. Kalibrálta: Materialteszt Kft.
17.	FK 250 húzó-nyomó erőmérő	nyitási erő	0-250 N/ 0,1 N	±0,5%	24742/25	ISWD 1800357	Kalibrálta: Materialteszt Kft.
18.	HMC035 erőmérő	nyitási erő	0 ...35 lbs 1 lbs	nincs adat	-	-	
19.	Lakatfogó multiméter DCM-032	feszültség	0 ... 600 V AC / 1V	±(a mért érték 1,5%-a +5 digit)	K/60817	1121231472	Kalibrálta: Kalibra 59 Bt.
		áramfelvétel	0 ... 200 A AC / 0,1A	±(a mért érték 1,5%-a +5 digit)			
20.	Lakatfogó multiméter DCM-032A	feszültség	4 ... 600 V AC	±(1,2%+5)	CD55432/2019	H170480874	Kalibrálta: C+D Automatika Kft.
		áramfelvétel	40 ... 600 A AC	±(2,5%+8) (0 ... 40 A) ±(2,5%+5) (0 ... 600 A)			
21.	Teljesítmény-mérő F405	feszültség	0,15 ... 99,99 V AC 100,0 ... 999,9 V AC / 0,01 V 0,1 V	± (mért érték 1%-a+ 10 egység) (0.15V ... 9.99) ± (mért érték 1%-a+ 3 egység) (10,00V ... 99.99) További tartományban ± (mért érték 1%-a+ 3 egység)	CD52396/2017	123068QDC	Kalibrálta: C+D Automatika Kft.
		áramfelvétel	0,15 ... 99,99 A / 0,01 A	± (mért érték 1%-a+ 10 egység)			
		teljesítmény	5 ... 9999 W 10,00 kW ... 999,9 kW / 1 W 10 W	1000A-ig ± (mért érték 2%-a +10 egység) (5 ... 9999W) 1000A-ig ± (mért érték 2%-a +3 egység) (10,00 kW ... 999,9 kW)			

* Kalibrálást végezte: Testo Industrial Services GmbH

** Kalibrálást végezte: Testo Industrial Services Kft.

*** Kalibrálást végezte: Testo Kft.

Megjegyzés: A táblázatban közölt pontosságok az adott műszer műszerkönyvéből származó, gyártó által megadott pontossági értékek.

5. Kohéziós táblázat

TUDOMÁNYOS PROBLÉMA	HIPOTÉZIS	KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS	KUTATÁSI MÓDSZER	KÖVETKEZTETÉS	HIPOTÉZIS IGAZOLÁSA/ ELVETÉSE	ÚJ Tudományos EREDMÉNY
A meglévő hazai túlnyomásos füstmentes lépcsőházak elvárt légtechnikai paramétereinek való megfelelés nem ismert. A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak megfelelőségének értékeléséhez nincs egységes útmutatás kidolgozva.	Feltételezésem szerint a hazánkban meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak az esetek döntő többségében nem teljesítik a létesítéskor elvárt légtechnikai paramétereket, azaz a csukott nyílászárók esetén teljesítendő nyomáskülönbség és a nyitott ajtók esetén elérendő minimális légsebesség értékeket. A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak elvárt légtechnikai követelményeire vonatkozó korábbi szabályozások komplexitásának következtében egységes iránymutatás kidolgozása szükséges a létesítéskor elvárt nyomáskülönbség és légsebesség követelményeknek való megfelelésértékeléséhez.	Célkitűzésem tudományos igényességű mérésekkel támogatva vizsgálni a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban kialakuló differenciálynomás és légsebesség értékeket, amelynek keretében analízálom a csukott nyílászárók mellett kialakuló relatív túlnyomás és előírt darabszámú nyitott nyílászáró esetén a nyílászáró szabad keresztmetszetében kialakuló légsebesség mértékét. Táblázatokat dolgozok ki annak érdekében, hogy a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban mért differenciálynomás és légsebesség értékek megfelelőse egységesen megítélhető legyen.	Tanulmányozom és összehasonlító elemzéssel értékelem a hazai és nemzetközi szakirodalmat, valamint a különböző szabványokat és irányelveket. Meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban végzek tudományos igényességgel légtechnikai méréseket, majd elemzem a meglévő állapotot és összevetem a létesítéskor elvárt differenciálynomás és légsebesség követelményekkel.	A szakirodalmi és szabályozási környezet elemzése, valamint a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban végzett légtechnikai mérések alapján megállapítható, hogy a differenciálynomás és légsebesség követelmények a létesítés időpontjától függően eltérnek, ezért a megfelelésértékelése komplex követelményrendszer szerint végezhető. A mérések igazolták, hogy a vizsgált lépcsőházak döntő többsége nem teljesíti egyidejűleg az előírt légtechnikai paramétereket, így az időszakos felülvizsgálat önmagában nem garantálja a megfelelő működést.	A meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban végzett tudományos igényességű légtechnikai mérések és azok elemzése alapján megállapítható, hogy a vizsgált lépcsőházak több mint 80%-a nem felel meg a létesítéskor elvárt légtechnikai paramétereknek, azaz a csukott nyílászárók esetén előírt nyomáskülönbség, valamint a nyitott nyílászáróknál elvárt minimális légsebesség követelményeknek. A szabályozási környezet időbeli változásának komplexitása indokoltta teszi egy egységes, táblázatos megfelelőségértékelési módszer kidolgozását. Az eredmények alapján az 1. hipotézisben megfogalmazott feltételezések igazoltnak tekinthetők.	A szakirodalmi és szabályozási környezet elemzése, valamint a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban végzett légtechnikai mérések eredményeinek alapján megállapítottam, hogy a vizsgált túlnyomásos füstmentes lépcsőházak több, mint 80%-a nem felel meg a létesítéskori légtechnikai paramétereknek. Ennek figyelembevételével kidolgoztam a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak elvárt differenciálynomás és légsebesség értékeinek értékelésére vonatkozó módszert, továbbá az erre épülő túlnyomásos füstmentes lépcsőházak időszakos műszaki felülvizsgálati eljárását a biztonságos működési feltételek garantálása érdekében.

TUDOMÁNYOS PROBLÉMA	HIPOTÉZIS	KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS	KUTATÁSI MÓDSZER	KÖVETKEZTETÉS	HIPOTÉZIS IGAZOLÁSA/ ELVETÉSE	ÚJ Tudományos EREDMÉNY
A már meglévő túlnyomásos füstmentes előtereket határoló füstgátló ajtók résveszteségének meghatározása és értékelése. Túlnyomásos füstmentes előtereket határoló szerkezetekbe beépített nyílászárók tényleges szivárgási jellemzői kevésbé ismertek, a jelenlegi előírások túl-, vagy alábecsülhetik a tényleges értékeket.	Feltételezésem alapján a méréseken alapuló tudományos vizsgálat megalapozhatja annak lehetőségét, hogy a túlnyomásos füstmentes előtéri ajtók szivárgási vesztesége a túlnyomásos előtér saját légellátó rendszerével meghatározható legyen. Feltételezem továbbá, hogy az előtéri túlnyomásos szellőzés méretezésekor az ajtókon keresztül távozó légmennyiség számítása során az MSZ EN 12101-13 szabvány által ajánlott résfelület csökkenthető a füstgátlási teljesítménnyel is rendelkező ajtók esetében.	Célom a túlnyomásos füstmentes előtér légtömörség mérésének eredményeinek összehasonlítása a célműszer, illetve a saját légellátó rendszer és hagyományos műszerek alkalmazásával annak érdekében, hogy megállapítsam ezek alkalmazhatóságát légtömörség mérés érdekében. Vizsgálom a meglévő túlnyomásos füstmentes előterekben füstgátló ajtók résveszteségét, annak érdekében, hogy javaslatot tegyek a füstgátló ajtók részmeret értékére az európai szabvány mellékletének ajánlásával összhangban.	Tanulmányozom és összehasonlító elemzéssel értékelem a hazai és nemzetközi szakirodalmat, valamint a különböző szabványokat és irányelveket. Meglévő túlnyomásos füstmentes előterekben végzek tudományos igényességgel légtechnikai méréseket, majd elemzem a meglévő állapotot és összevetem az MSZ EN 12101-13 szabvány által javasolt szivárgási felület és a hő és füst elleni védelem TvMI által javasolt résveszteségtényező értékével.	A szakirodalmi áttekintés és a meglévő túlnyomásos füstmentes előterekben végzett összehasonlító légtechnikai mérések alapján megállapítható, hogy a füstgátló ajtók tényleges szivárgási jellemzői a jelenlegi szabványi ajánlásokhoz képest alacsonyabb értéket mutatnak. A mérések igazolták, hogy a túlnyomásos füstmentes előterek saját légellátó rendszere alkalmas lehet a légtömörség meghatározására, valamint hogy az egyszárnyú füstgátló ajtók szivárgási felülete nyitási iránytól függetlenül, egységesen kezelhető. Az eredmények indokolják a vonatkozó európai szabvány és irányelvi értékek pontosítását.	A túlnyomásos füstmentes előterekben végzett mérések és azok elemzése alapján megállapítható, hogy a füstgátló ajtók szivárgási vesztesége az előtér saját légellátó rendszerének alkalmazásával meghatározható lehet. Az összehasonlító vizsgálatok igazolták, hogy a mérőtölcsérrel és szárnykerekesszondával végzett mérések eredményei statisztikailag nem térnek el a blower door mérések eredményeitől. A mérések alapján az MSZ EN 12101-13 szabványban javasolt szivárgási felület értéke egyszárnyú füstgátló ajtók esetében csökkenthető. A 2. hipotézis igazoltnak tekinthető.	A hazai és nemzetközi szabványok és irányelvek áttekintése, valamint a meglévő túlnyomásos füstmentes előterekben végzett összehasonlító légtechnikai mérések alapján meghatároztam, hogy a füstgátló ajtók tényleges szivárgási jellemzői a jelenlegi szabványi ajánlásokhoz képest alacsonyabb értéket mutatnak. Ennek megfelelően kidolgoztam a túlnyomásos füstmentes előterekbe épített füstgátló ajtók szivárgási felületének - szárnykerekesszondával és mérőtölcsérrel végzendő – meghatározására alkalmas validált mérési módszert, amelynek bevezetése képes hatékonyan biztosítani a menekülési feltételeket.

TUDOMÁNYOS PROBLÉMA	HIPOTÉZIS	KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS	KUTATÁSI MÓDSZER	KÖVETKEZTETÉS	HIPOTÉZIS IGAZOLÁSA/ ELVETÉSE	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNY
A túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba és túlnyomásos füstmentes előterekbe nyíló eltérő működtetőberendezéssel ellátott ajtók nyitásához szükséges erő kifejtés meghatározására nem áll rendelkezésre egységes módszertan.	Feltételezem, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló eltérő működtetőberendezéssel ellátott ajtók esetén a nyitáshoz szükséges erő kifejtés nem azonos ugyanazon geometriai jellemzőkkel rendelkező vasalatok esetén. Feltételezem továbbá, hogy az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtókon alkalmazandó kiegészítő jelölésekkel optimalizálható.	Célkitűzésem, hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló kilincses illetve pánikrudas vasalatokkal biztosított ajtók nyitásához szükséges erő nagyságának becslését és mérését elvégezzem, továbbá megvizsgáljam annak lehetőségét, hogy az ajtón elhelyezett nyitási mechanizmus jelölés pozicionálásával optimalizálható-e a nyitási erő a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba és túlnyomásos füstmentes előtérbe nyíló ajtók esetén.	Tanulmányozom és összehasonlító elemzéssel értékelem a hazai és nemzetközi szakirodalmat, valamint a különböző szabványokat és irányelveket. Meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakba nyíló ajtókon végzek tudományos igényességgel nyitási erő méréseket.	A szakirodalmi elemzés, a mechanikai modell és a meglévő túlnyomásos füstmentes lépcsőházakban végzett nyitási erő mérések alapján megállapítható, hogy az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő kifejtés nem kizárólag a nyomáskülönbség függvénye, hanem jelentős mértékben befolyásolja a nyitási mechanizmus kialakítása és annak geometriai elhelyezkedése is. A pánikrudas ajtók esetén a nyitási erő a rúdon belül sem egyenletes, ezért a megfelelően pozicionált jelölés alkalmazása alkalmas a nyitási erő optimalizálására és a menekülés biztonságának növelésére.	A mechanikai modellen és méréseken alapuló vizsgálataim igazolták, hogy azonos geometriai jellemzők mellett a kilincses és pánikrudas vasalatokkal szerelt ajtók nyitásához szükséges erő kifejtés eltérő, különösen túlnyomásos füstmentes lépcsőházak esetén. A mérések alátámasztották továbbá, hogy a pánikrúd mentén az erő kifejtés nem egyforma, és az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő a nyitási mechanizmus jelölésének optimalizálásával csökkenthető. Az eredmények alapján a 3. hipotézis igazoltnak tekinthető.	Mechanikai modellen és méréseken alapuló vizsgálatokkal alátámasztva megállapítottam , hogy a túlnyomásos füstmentes lépcsőházba nyíló ajtók esetén a nyitási mechanizmus kialakításától függően az ajtószárny mozgásba hozásához szükséges erő nagysága eltérő, ami pánikrúd alkalmazása esetén kedvezőtlenebb lehet, különös tekintettel a túlnyomásból származó többleterőre. A mérések alapján meghatároztam a túlnyomásos füstmentes térbe nyíló ajtószárny mozgásba hozásához szükséges nyitási erőre vonatkozó jelölést, amelynek bevezetése a menekülő személyeket támogatja a pánikrúd erő kifejtés szempontjából legoptimálisabb részének kiemelésével.